

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**DEGRADACIÓN DEL COLORANTE NARANJA DE METILO
POR FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA
(TRABAJO DE INVESTIGACIÓN)**

PRESENTADO POR:

Br. Jaydi Cruz Charahuayta

Br. Nuria Sanchez Andia

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

ASESOR:

Dr. Antonio Ramiro Jesús Bueno Lazo

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: "DEGRADACIÓN DEL COLORANTE NARANJA DE METILO POR FOTOCATALISIS HETEROGÉNEA" (TRABAJO DE INVESTIGACIÓN)

presentado por: JAYDI CRUZ CHARAHUAYTA con DNI Nro.: 77489645 presentado por: NURIA SANCHEZ ANDIA con DNI Nro.: 72179586 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO QUÍMICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 1%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 26 de JUNIO de 2024

Dr. Antonio Ramiro Jesús Bueno Lazo
CIP 46142

Post firma.....

Nro. de DNI 23878096

ORCID del Asesor 0000-0002-6415-3028

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:363119450

NOMBRE DEL TRABAJO

DEGRADACIÓN DEL COLORANTE NARANJA DE METILO POR FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA

AUTOR

Nuria Sanchez Jaydi Cruz

RECUENTO DE PALABRAS

19800 Words

RECUENTO DE CARACTERES

110375 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

142 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

10.5MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 26, 2024 9:33 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 26, 2024 9:35 AM GMT-5

● 1% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 1% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente

Presentación

Señor Decano de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Señores miembros del jurado.

De conformidad con el Estatuto Universitario y el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de Procesos vigente a la fecha, se pone a consideración el trabajo de Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Químico titulado:

“DEGRADACIÓN DEL COLORANTE NARANJA DE METILO POR FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA” (TRABAJO DE INVESTIGACIÓN)

Los estudios y pruebas se realizaron en el Laboratorio de Hidrocarburos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, donde se establecieron las condiciones óptimas para la degradación del colorante naranja de metilo (MO) por fotocatalisis heterogénea.

Atte.

Br. CRUZ CHARAHUAYTA, Jaydi

Br. SANCHEZ ANDIA, Nuria

Dedicatorias

A mis padres Celedonio y Paula por forjarme en los principios de los valores. A mi novio Juan Carlos por sus consejos y apoyo incondicional, a mi familia y a todos los que me apoyaron para poder concluir este trabajo de tesis.

Br. CRUZ CHARAHUAYTA, Jaydi

A mi querida madre, Cirila: tu amor incondicional, tus sacrificios y tu apoyo constante han sido el motor que impulsa mis sueños. Este trabajo lleva impreso el fruto de tu amor y tus sueños.

A mi padre José (en memoria): en cada página de este trabajo, siento tu presencia, tu sabiduría y tu amor infinito. Aunque te fuiste físicamente, tu legado vive en mí y en cada logro que alcanzo. Este trabajo es un homenaje a tu memoria y a la luz que sigues siendo en mi vida.

A Roger: tu amor, paciencia y apoyo incondicional han sido mi mayor fortaleza en este viaje y por creer en mí incluso cuando yo dudo.

Br. SANCHEZ ANDIA, Nuria

Agradecimientos

A Dios, por darnos salud, fuerza y guiarnos en esta vida.

A nuestros padres y familiares, por su apoyo total e incondicional, que han sido un pilar fundamental en nuestra existencia. Su amor inquebrantable, paciencia y comprensión han sido un regalo preciado que nos ha acompañado en cada paso de nuestro viaje. Su influencia ha sido fundamental en la formación de nuestra personalidad y valores, y por eso les debemos un agradecimiento eterno.

A nuestros asesores Dr. Antonio Ramiro Jesús Bueno Lazo y Mgt. Washington Julio Lechuga Canal; por sus consejos, sus orientaciones y su apoyo incondicional han sido fundamentales en el desarrollo y éxito de este trabajo de investigación. Y permitirnos trabajar parte de la investigación en el laboratorio de hidrocarburos de nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Química.

Así mismo agradecemos a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, por los conocimientos impartidos durante nuestra estadía en la universidad. Sus enseñanzas y mentorías han sido la base sobre la cual hemos construido nuestro camino como profesionales y como seres humanos. Su compromiso con la educación ha dejado una marca en nuestra formación.

Por último, expresamos nuestra gratitud a todas las personas que, de manera directa e indirecta, han contribuido a la realización de este trabajo de investigación. Sus aportes, consejos apoyo y aliento han sido esenciales para alcanzar nuestros objetivos.

Br. CRUZ CHARAHUAYTA, Jaydi

Br. SANCHEZ ANDIA, Nuria

Índice general

Presentación.....	ii
Dedicatorias.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice general.....	v
Lista de tablas.....	x
Lista de figuras.....	xi
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
Nomenclatura.....	xv
Capítulo I.....	1
1. Generalidades.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Formulación de objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Justificación de la investigación.....	4

Capítulo II	6
2. Fundamento teórico	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Aguas residuales textiles	12
2.3. Procesos de oxidación avanzada.....	12
2.4. Fotocatalizadores	15
2.4.1. Dióxido de titanio (TiO ₂).....	15
2.4.2. Estructuras de TiO ₂	16
2.4.3. Fotocatálisis.....	18
2.4.4. Fotocatálisis heterogénea con TiO ₂	19
2.4.5. Parámetros operacionales que afectan a la fotocátalisis heterogénea	21
2.4.6. Colorantes azoicos	22
2.4.7. Naranja de metilo (MO).....	23
2.5. Diseño factorial 3 ^k	25
2.6. Tipos de reactores	26
2.6.1. Reactores intermitentes (batch)	27
2.6.2. Reactores de flujo continuo.....	27
2.6.3. Biorreactores	27
2.7. Cinética.....	27
Capítulo III	29
3. Metodología	29

3.1. Tipo de investigación	29
3.2. Muestra simulada.....	29
3.3. Materiales	30
3.3.1. Equipos.....	30
3.3.2. Instrumentos	30
3.3.3. Reactivos.....	30
3.3.4. Materiales de vidrio y otros	30
3.4. Métodos.....	31
3.4.1. Espectrofotometría UV-Vis.....	31
3.4.2. Longitud de onda máxima.....	31
3.4.3. Curva de calibración	32
3.4.4. Pruebas preliminares para determinar la cantidad de catalizador	32
3.4.5. Montaje del fotorreactor	32
3.4.6. Proceso de fotocátalisis heterogénea	33
3.4.7. Proceso experimental	35
3.4.8. Evaluación del proceso fotocatalítico	38
Capitulo IV	39
4. Resultados y discusión.....	39
4.1. Longitud de onda máxima del colorante MO	39
4.2. Curva de calibración	39
4.3. Pruebas preliminares para determinar la cantidad de catalizador	41

4.4. Pruebas experimentales del proceso fotocatalítico	43
4.5. Análisis estadístico del diseño factorial	44
4.5.1. Análisis de varianza (ANOVA)	48
4.5.2. Efectos estimados para la degradación fotocatalítica del colorante MO	52
4.5.3. Efecto de la cantidad de catalizador en el proceso de degradación	53
4.5.4. Influencia de la temperatura en el proceso de degradación	54
4.5.5. Cálculo del modelo cinético	56
4.5.6. Influencia del H ₂ O ₂ en el proceso de degradación	59
Conclusiones	62
Recomendaciones	63
Referencias bibliográficas	64
Apéndices	81
Apéndice I: réplicas del barrido espectral del colorante MO	82
Apéndice II: Replicas de la curva de calibración del colorante MO	83
Apéndice III: Tiempo de degradación del colorante MO hasta el equilibrio	84
Apéndice IV: Fotografías del proceso fotocatalítico	85
Apéndice V: Cálculo del estadístico de Durbin-Watson	87
Anexos	88
Anexo I: Certificado de análisis del colorante naranja de metilo	89
Anexo II: Ficha técnica del colorante naranja de metilo	90

Anexo III: Certificado de análisis del peroxido de hidrogeno	101
Anexo IV: Ficha técnica del peroxido de hidrogeno.....	102
Anexo V: Certificado de análisis del dióxido de titanio.....	116
Anexo VI: Ficha técnica del dióxido de titanio	117

Lista de tablas

Tabla 1 Propiedades fisicoquímicas del dióxido de titanio	16
Tabla 2 Propiedades fisicoquímicas del MO	24
Tabla 3 Modelos cinéticos	28
Tabla 4 Factores y niveles	34
Tabla 5 Diseño del plan experimental.....	35
Tabla 6 Curva de calibración del colorante MO	40
Tabla 7 Resultados del proceso de degradación del colorante MO	44
Tabla 8 Resultados del análisis de varianza	48
Tabla 9 Coeficiente de la regresión	49
Tabla 10 Datos calculados del modelo cinético	56

Lista de figuras

Figura 1 Clasificación de los procesos de oxidación avanzada	14
Figura 2 Estructura cristalina de la anatasa.....	17
Figura 3 Estructura cristalina del rutilo	17
Figura 4 Estructura cristalina de la brookita.....	18
Figura 5 Diagrama conceptual de la fotocatalisis heterogénea.....	20
Figura 6 Estructura naranja de metilo.....	23
Figura 7 Mecanismo de degradación del naranja de metilo.....	25
Figura 8 Combinaciones de tratamientos en un diseño 3^2	26
Figura 9 Fotorreactor.....	33
Figura 10 Procedimiento experimental	37
Figura 11 Barrido espectrofotométrico UV-Vis del colorante MO.....	39
Figura 12 Soluciones de MO a concentraciones de 1 a 18 ppm.....	40
Figura 13 Curva de calibración del colorante MO.....	41
Figura 14 Pruebas preliminares de la cantidad de catalizador.....	42
Figura 15 Prueba de normalidad	45
Figura 16 Residuales	46
Figura 17 Homogeneidad de varianzas.....	47
Figura 18 Superficie de respuesta estimada	50

Figura 19 Contornos de la superficie de respuesta estimada	51
Figura 20 Diagrama de Pareto para %D _{MO}	52
Figura 21 Efecto de la cantidad de TiO ₂	53
Figura 22 Tiempo promedio de reacción fotocatalítica hasta el equilibrio	55
Figura 23 Ajuste de los modelos cinéticos.....	57
Figura 24 Residuales modelo cinético Langmuir-Hinshelwood	58
Figura 25 Efecto del H ₂ O ₂	60

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo degradar el colorante naranja de metilo (MO) por fotocátalisis heterogénea. Las pruebas experimentales se realizaron en un reactor batch isotérmico de 2L, con una lámpara ultravioleta C (UVC) de 32 W, con agitación constante de 600 rpm, concentración de H_2O_2 de 240 ppm y concentración inicial de 15 ppm de Naranja de metilo; empleando un diseño factorial 3^2 de tres niveles y con una réplica, con dos variables independientes: temperatura de la solución (20, 30 y 40 °C) y dosis de TiO_2 (0.05, 0.10 y 0.15 g/L). Los resultados mostraron que la cantidad de catalizador adecuado en el proceso de degradación fotocatalítica del naranja de metilo es de 0.05 g/L TiO_2 . También, se observó un incremento considerable al adicionar 240 ppm H_2O_2 en la degradación del naranja de metilo del 51.26% para 0.15 g/L de TiO_2 , 63.05% para 0.1 g/L de TiO_2 y 71.49% para 0.05 g/L de TiO_2 . La variación de la temperatura entre 20, 30 y 40 °C influyó en el tiempo necesario para lograr una degradación completa del MO, siendo de 114.17 min, 125 min y 120 min respectivamente. Se observó que la degradación del MO fue más rápida a 20°C. Por último, el proceso de degradación del MO se ajusta mejor a un modelo cinético de Langmuir – Hinshelwood de pseudo primer orden.

Palabras clave: degradación, fotocátalisis heterogénea, TiO_2 , UVC, MO y H_2O_2 .

Abstract

The present research aimed to degrade methyl orange (MO) dye through heterogeneous photocatalysis. Experimental tests were conducted in a 2L isothermal batch reactor, equipped with a 32 W ultraviolet C (UVC) lamp, constant agitation at 600 rpm, 240 ppm H₂O₂ concentration, and an initial concentration of 15 ppm of methyl orange. A 3² factorial design with three levels and one replicate was employed, with two independent variables: solution temperature (20, 30, and 40 °C) and TiO₂ dosage (0.05, 0.10, and 0.15 g/L).

The results showed that the appropriate catalyst amount for the photocatalytic degradation of methyl orange is 0.05 g/L of TiO₂. Additionally, a considerable increase was observed by adding 240 ppm H₂O₂ in the degradation of methyl orange, reaching 51.26% for 0.15 g/L of TiO₂, 63.05% for 0.1 g/L of TiO₂, and 71.49% for 0.05 g/L of TiO₂. The variation in temperature between 20, 30, and 40 °C influenced the time required to achieve complete degradation of MO, being 114.17 min, 125 min, and 120 min, respectively. It was observed that MO degradation was faster at 20°C. Finally, the MO degradation process fits better with a pseudo-first-order Langmuir–Hinshelwood kinetic model.

Keywords: degradation, photocatalysis heterogeneous, TiO₂, UVC, MO, H₂O₂.

Nomenclatura

POAs	Procesos de oxidación avanzada	pH	Potencial de hidrógeno
UV	Ultravioleta	ppm	Partes por millón
UVC	Ultravioleta C	min	Minutos
eV	Electronvoltio	h	Hora
e ⁻	Electrón	L	Litros
h ⁺	Hueco	ml	Mililitros
VB	Banda de valencia	DBO	Demanda biológica de oxígeno
CB	Banda de conducción	DQO	Demanda química de oxígeno
hν	absorción de fotones de luz UV	nm	Nanómetros
E _g	banda de energía	M	Molaridad
MO	Naranja de metilo	TiO ₂	Dióxido de titanio
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrógeno		

Capítulo I

1. Generalidades

1.1. Introducción

Los colorantes sintéticos son productos usados en diferentes industrias, principalmente en la industria gráfica, del cuero, del papel, textil y en la industria del embalaje de cartón (Pei & Zhao, 2016). Según estudios realizados, anualmente se producen en todo el mundo más de 100 000 variedades de colorantes disponibles comercialmente, lo que representa la producción de 700 000 toneladas de colorantes, de los cuales aproximadamente el 60-70% son colorantes azoicos (Alaguprathana et al., 2022). El colorante naranja de metilo es uno de los colorantes azoaniónicos más peligrosos utilizados, que a menudo se emplea en la industria textil, impresión, alimentaria, farmacéutica y además como un indicador ácido-base. El naranja de metilo es un colorante dañino para el medio ambiente y los organismos vivos, por lo que debe tratarse de manera inocua antes de que pueda descargarse (Valizadeh et al., 2022).

La fotocatalisis heterogénea emplea catalizadores que poseen una eficacia ampliamente demostrada para eliminar o degradar diferentes colorantes. Contrastado con otros fotocatalizadores, el dióxido de titanio (TiO_2) es más prometedor y más frecuentemente utilizado debido a que es estable, no corrosivo, ecológico, abundante, rentable, naturaleza inerte y fotoestabilidad. La fotocatalisis heterogénea se aplica para la mineralización completa de contaminantes orgánicos indeseables a CO_2 , H_2O y constituyentes inorgánicos. (Nakata & Fujishima, 2012).

Los tratamientos convencionales de efluentes textiles no son eficaces debido a que no mineralizan el contaminante en componentes estables. Por ello los procesos de oxidación avanzada (POAs) son los métodos prometedores para el tratamiento de contaminantes presentes en el agua (Pelayo Torices, 2018). Las investigaciones realizadas por Riaz et al.

(2020) y Sun et al. (2008) corroboran la mineralización completa por fotocátalisis heterogénea de los colorantes azoicos. También lo demuestran investigaciones realizadas por Belayachi et al. (2019) y Secundino-Sánchez et al. (2022) empleando colorante azoico obteniendo la mineralización completa en CO₂ y H₂O.

1.2. Planteamiento del problema

El número de colorantes empleados actualmente en la industria textil es de unos 10.000. Entre estos colorantes, los colorantes azoicos constituyen la clase más grande e importante de colorantes comerciales y la liberación de estos colorantes al medio ambiente provoca graves problemas ecológicos (Neamtu et al., 2002). El colorante naranja de metilo es un colorante azo aniónico o ácido sintético que es orgánico, sulfonado, heterocíclico y tiene una alta solubilidad en agua, es uno de los tintes aniónicos empleados en la industria textil, papelera, alimentaria y farmacéutica (el Amri et al., 2022). La concentración de colorantes azoicos en efluentes residuales textiles varía de 10 a 250 ppm (O'Neill et al., 1999). La presencia de colorantes azoicos en los cuerpos de agua causa problemas estéticos y obstruye la penetración de la luz y la transferencia de oxígeno al agua, lo que afecta la vida acuática (W. Zhang et al., 2012).

En la región Cusco y en el país el colorante naranja de metilo (MO) se emplea mayormente en la industria textil, como indicador en laboratorios de control de calidad y en los laboratorios de la Universidad; en la investigación científica y en la enseñanza de química y biología; la contaminación del agua por el colorante MO afecta la estética de los cuerpos de agua y reduce la penetración de la luz solar en las aguas superficiales, impidiendo así que ocurra la fotosíntesis, lo cual afecta la fauna y la flora de los cuerpos de agua (Sánchez & Plazas, 2022).

Los métodos convencionales de tratamiento que se aplican en las aguas residuales textiles no son eficaces, por ello los procesos de oxidación avanzada (POAs) son una técnica prometedora para tratar y eliminar los tintes textiles debido a su bajo costo, operación a baja temperatura y capacidad para convertir contaminantes orgánicos en (H_2O) y (CO_2) (Hegazey et al., 2020), uno de los procesos de oxidación avanzada (POAs); la fotocatalisis heterogénea empleando dióxido de titanio TiO_2 como fotocatalizador demostró ser un método efectivo en la degradación de diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos (Calle Pérez & Arias Yepes, 2012).

1.2.1. Problema general

¿Cómo disminuir la concentración del colorante naranja de metilo por fotocatalisis heterogénea?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto de la cantidad de catalizador en el proceso de degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo?
- ¿Cuál es la influencia de la temperatura en el proceso de degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo?
- ¿Cuál es el modelo cinético que se ajusta a los datos experimentales del proceso de degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo?
- ¿Cuál es la influencia del peróxido de hidrogeno en el proceso de degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo?

1.3. Formulación de objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

Degradar el colorante naranja de metilo por fotocátalisis heterogénea.

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Estudiar el efecto de la cantidad de catalizador en el proceso de degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo.
- Estudiar la influencia de la temperatura en el proceso de degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo.
- Determinar el modelo cinético que se ajusta a los datos experimentales del proceso de degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo.
- Determinar la influencia del peróxido de hidrogeno en el proceso de degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo.

1.4. Justificación de la investigación

La eliminación de los efluentes textiles vertidos indiscriminadamente en el agua es un problema significativo ya que tienen graves efectos sobre los seres vivos y el medio ambiente, en la región Cusco, en el país y en todo el mundo. En los últimos años es más crítico debido al incremento de la demanda de agua potable (Srinivasan & Sadasivam, 2021). Las industrias textiles manipulan una gran cantidad de tintes sintéticos que dan como resultado la descarga de aguas residuales coloreadas (Imran et al., 2015; Singh & Singh, 2015). Los colorantes azoicos representan aproximadamente el 70% de todos los colorantes comerciales utilizados en las industrias textiles de todo el mundo, El colorante naranja de metilo (MO) es un contaminante orgánico frecuentemente encontrado en los efluentes de diferentes industrias, y

su descarga a los cuerpos de agua superficiales trae efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud pública (Phugare et al., 2011).

Los procesos de oxidación avanzada (POAs) tiene una demanda creciente en los últimos años debido al aumento de la contaminación del agua, ya que es difícil de tratar debido a su estructura compleja de los contaminantes. Este método se basa en el uso de óxidos semiconductores con irradiación ultravioleta o solar para generar radicales hidroxilos altamente reactivos. Según pruebas realizadas a nivel de laboratorio realizada por los investigadores (Oyetade et al., 2022) muestran la degradación eficiente de colorantes azoicos mediante fotocatalisis heterogénea con TiO_2 , logrando oxidación parcial y/o completa, sin crear subproductos secundarios nocivos para el medio ambiente (Saravanan et al., 2022).

Con la presente investigación se busca dar una alternativa de solución para efluentes generados por la industria textil.

Capítulo II

2. Fundamento teórico

2.1. Antecedentes

Kader et al. (2022), en su investigación “Enhanced photodegradation of methyl orange dye under UV irradiation using MoO_3 and Ag doped TiO_2 photocatalysts” evaluaron la degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo bajo irradiación UV usando TiO_2 . Las pruebas experimentales se desarrollaron en un reactor de borosilicato (BG) de capacidad de 250 ml con 150 ml de solución de colorante naranja de metilo con las siguientes condiciones de operación: concentración inicial del colorante naranja de metilo 10 ppm, TiO_2 inmovilizado 0.12 g, pH 7, 5 lámparas de 20 W UV y un lapso de 5.5 horas de reacción. Lograron el 59.5% de degradación del colorante naranja de metilo bajo las condiciones mencionadas. También evaluaron el efecto del peróxido de hidrogeno H_2O_2 (30%) en la degradación del naranja de metilo con dosis de 0.1 y 0.25 ml de H_2O_2 en la solución, 0.12 g Ag/Mo/ TiO_2 , 5 lámparas 20 W por 5.5 horas de reacción fotocatalítica. Observaron que la eficiencia de degradación del colorante naranja de metilo para una solución de 10 ppm se incrementó al 99%, para una concentración de colorante de 30 ppm y adición de 0.1 y 0.25 ml H_2O_2 en el reactor la degradación fue del 84.67% y 94.57%, de la misma forma para una concentración de colorante de 50 ppm y adición de 0.1 y 0.25 ml H_2O_2 en el reactor la degradación fue del 70.22% y 81.86%.

Cheng et al. (2022), en su artículo científico “Photocatalytic Treatment of Methyl Orange Dye Wastewater by Porous Floating Ceramsite Loaded with Cuprous Oxide” realizaron una investigación para degradar el colorante naranja de metilo con óxido cuproso (Cu_2O). Los experimentos de degradación fotocatalítica realizaron bajo las siguientes condiciones de trabajo: concentración inicial del colorante naranja de metilo de 10, 20, 30, 40, 50 mg/L,

respectivamente, Cu_2O de 2%, 4%, 6%, 8% y 10% respectivamente, pH 2, 4, 6, 8 y 10, respectivamente, dosis de ceramsita flotante porosa cargada con óxido cuproso (PFCC) de 5, 10, 15, 20 y 25 g/l y lámpara fluorescente de 8 W (230–280 nm). De acuerdo con la evaluación de los datos experimentales, se observó que el modelo cinético que mejor se adaptó a la degradación del colorante MO fue el modelo de Langmuir-Hinshelwood. Los resultados que obtuvieron muestran que la máxima tasa de degradación del colorante MO fue del 92.05% cuando las condiciones experimentales fueron las siguientes: tasa de carga de Cu_2O del 8%, dosis de PFCC de 20 g/L, tiempo de reacción fotocatalítica de 2 h, valor de pH de 8 y concentración inicial MO de la solución de 30 mg/L.

Bento & Pillis (2018), en su artículo científico “Titanium Dioxide Films for Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Dye” realizaron la degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo con películas de nanopartículas de dióxido de titanio soportados en borosilicato. Las pruebas experimentales se realizaron en un reactor tubular de 40 ml de capacidad, con las siguientes condiciones de operación: concentración de naranja de metilo 5 ppm, pH 2, potencia de luz UV 15 W (2 lámparas) durante 300 min de reacción fotocatalítica. En conclusión, el mejor resultado fotocatalítico obtuvieron para una película de 468 nm de espesor, logrando un 69% de degradación del tinte en 300 min de reacción.

Copete et al. (2018), en su investigación “Decolorization of Reactive Black 5 Dye by Heterogeneous Photocatalysis with TiO_2/UVC ” realizaron una investigación para degradar el colorante negro remazol B mediante fotocatalisis heterogénea (TiO_2/UVC). La experimentación realizó en un fotoreactor de aluminio provisto con cinco lámparas de 30 W con los siguientes parámetros de operación dosis de TiO_2 (0,1; 0,175 y 0,25 g/L), y RB5 (50, 75 y 100 ppm) y el pH (3, 7 y 11) por un periodo de 14 horas de reacción fotocatalítica. Lograron un 98.44% de decoloración RB5 después de 10 horas de reacción con las siguientes condiciones de reacción fotocatalítica (0,25 g/L de TiO_2 , 50 ppm de RB5, y pH 7), logrando una decoloración completa

en 14 horas de reacción con los siguientes parámetros de operación (0.175 g/L de TiO_2 , 50 ppm de RB5, y pH 3). Los investigadores encontraron las condiciones adecuadas del proceso de fotocatalisis heterogénea (TiO_2/UVC), logrando una decoloración del 99.51% de RB5 en 10 horas de reacción catalítica con los siguientes parámetros de operación (0,5 g/L de TiO_2 , 50 ppm del colorante RB5 y un pH de 3).

Gao et al. (2016), en su trabajo de investigación "Kinetics Study on Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Catalyzed by Sea Urchin-Like Cu_2O " evaluaron la degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo (MO) con óxido cuproso (Cu_2O). Las pruebas experimentales desarrollaron bajo las siguientes condiciones: lámpara fluorescente (FSL) de 24 W, concentración inicial de MO 20, 30, 40, 50 y 60 respectivamente, dosis de Cu_2O de 0.5 g/L y la distancia entre la lámpara y la superficie de la solución fue de 15 cm. Los resultados mostraron que la tasa de degradación del colorante MO primero aumenta y luego disminuye con el aumento de la concentración del colorante MO de 20 mg/L a 60 mg/L. Y la tasa de degradación del colorante MO después de 25 min de reacción fotocatalítica alcanzó el 90.9%, 92.23%, 94.37%, 91.48% y 35.35%, respectivamente. Y según la evaluación de los datos experimentales, observaron que el modelo cinético que mejor se adaptó a la degradación del colorante MO fue el modelo de Langmuir-Hinshelwood y pertenece a la reacción de primer orden. En conclusión, la mejor tasa de degradación del colorante MO obtuvieron para 40 mg/L de OM y 0.5 g/L de Cu_2O en un lapso de 25 minutos de reacción fotocatalítica.

Chong et al. (2015), en su trabajo de investigación "Evaluation of Titanium dioxide photocatalytic technology for the treatment of reactive Black 5 dye in synthetic and real greywater effluents" evaluaron la degradación fotocatalítica del colorante reactivo Black 5 (RB5) en efluentes de aguas grises sintéticas y reales. Los experimentos se realizaron en un fotoreactor UV equipado con un agitador magnético, bomba peristáltica para recirculación y un depósito de aguas grises tratadas; evaluaron los efectos de los siguientes parámetros en la

cinética de degradación del RB5 dosis de TiO_2 (0.1 a 2 g/L), pH (5, 7 y 9), concentraciones iniciales del colorante RB5 (1, 5 y 10 ppm). Todas las reacciones se realizaron en un lapso de 150 min. En conclusión los investigadores encontraron las condiciones óptimas de operación del fotorreactor con los siguientes condiciones de operación (dosis de TiO_2 de 0.1 g/L, pH 5, concentración inicial de RB5 de 1 ppm y sin suministro de aire comprimido) logrando una eliminación del 97% de RB5 luego de 150 min de reacción fotocatalítica en efluentes de aguas grises sintéticas, una vez encontrado las condiciones óptimas de operación del fotorreactor para el tratamiento de efluente simulado procedieron a la experimentación de degradación de efluentes de aguas grises reales logrando una remoción del 75% incluso después de 330 min de reacción fotocatalítica. La baja degradación en los efluentes reales se debe a la presencia de otros contaminantes en el efluente.

Niu (2013), en su artículo científico "Photocatalytic degradation of methyl orange in aqueous TiO_2 suspensions" realizó un estudio de la degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo con TiO_2 en suspensión acuosa. Las pruebas experimentales realizo en un reactor con 100 ml de solución de naranja de metilo con los siguientes parámetros de operación: concentración naranja de metilo 20 ppm, concentración de TiO_2 de 0.2 a 4 g/L, pH 2.0, 5.8 y 10, potencia lampara de mercurio de 300 W y periodo de reacción fotocatalítica de 40 min. En conclusión, el investigador logro el porcentaje de degradación del naranja de metilo del 98.31% a pH 2 y 2 g/L de TiO_2 . También observó que la degradación del naranja de metilo se incrementa a medida que la dosis del catalizador aumenta de 0.2 a 2 g/L de 71.41 a 97.91%, pero al incrementar a 4 g/L de TiO_2 no observo ningún incremento en la degradación. Así mismo observo que la tasa de degradación del naranja de metilo es más alta en medio acido.

Hernández et al. (2012), en su trabajo de investigación "Estudio cinético de la fotodegradación del naranja de metilo en presencia de TiO_2 : Efecto de la fuente de radiación UV, concentración del azo-colorante y del catalizador" investigaron la degradación fotocatalítica

del colorante naranja de metilo en soluciones acuosas con dióxido de titanio P-25 Degussa bajo irradiación luz UV. Efectuaron experimentos para estudiar el efecto de variables de operación como, concentración del colorante naranja de metilo, potencia luz y concentración del catalizador TiO_2 , todos los experimentos se desarrollaron en un reactor cilíndrico semi - batch de 1 L con recirculación con las siguientes condiciones de operación: dosis de TiO_2 0.25, 0.5 y 1 g/L, concentración inicial del colorante naranja de metilo 20, 35, 50, 65 y 80 ppm y potencia lámpara UV 150 W. Lograron una degradación del colorante naranja de metilo del 100% con 0.5 g/L TiO_2 en un lapso de reacción fotocatalítica de 75 min, 175 min, 225 min, 325 min y 425 min aproximadamente. En conclusión, los investigadores observaron que la velocidad y eficiencia de la reacción fotocatalítica disminuyen con el incremento de la concentración del colorante, además encontraron la dosis adecuada de catalizador siendo de 0.25 g/L.

Soutsas et al. (2010), en su artículo científico "Decolorization and degradation of reactive azo dyes via heterogeneous photocatalytic processes" los autores evaluaron la degradación de cuatro colorantes azo reactivos (Remazol Red RR, Remazol Yellow RR, Procion Crimson H-exl y Procion Yellow H-exl) a través de procesos fotocatalíticos heterogéneos (TiO_2 /UV y TiO_2 /UV/ H_2O_2). Observaron que la decoloración y la degradación de los colorantes azoicos dependen en gran medida de los parámetros de operación del sistema (dosis de TiO_2 , concentración inicial de colorante y dosis de H_2O_2 y pH). Los investigadores encontraron que la eficiencia de degradación aumenta considerablemente al incrementar la carga de TiO_2 , hasta 1 g/L, a 50 ppm de colorante y pH 3, lograron una decoloración > 90% de todos los tintes en lapso de periodo de reacción de 15 min; sin embargo, al adicionar H_2O_2 lograron una decoloración de Remazol Red RR del 97.9% en un periodo de reacción de 12 min con una concentración inicial de H_2O_2 de 0,5% p/p y pH 3).

Razali et al. (2009), en su investigación "Photodegradation of methyl orange dye using titanium dioxide photocatalyst" evaluaron la fotodegradación del colorante naranja de metilo

empleando fotocatalizador dióxido de titanio y agente oxidante (H_2O_2). Las pruebas experimentales se realizaron en un reactor batch de 150 ml de capacidad con las siguientes condiciones de trabajo: cantidad de TiO_2 0.01 g, concentración inicial de la solución de naranja de metilo de 20 ppm en 100 ml de agua destilada y lámpara UV de 6W. Luego de un período de tiempo específico, se extrajo una pequeña cantidad de la suspensión y se filtró a través de un filtro de membrana milipore ($0.2 \mu\text{m}$) para eliminar las partículas de catalizador. Luego, analizaron la absorbancia del tinte en las muestras usando un espectrofotómetro UV-Visible. Lograron una degradación del 80% del colorante naranja de metilo cuando se añadieron una cantidad 0.01 g de TiO_2 a la solución, en presencia de luz ultravioleta después de 180 min de reacción fotocatalítica; así mismo cuando agregaron H_2O_2 en el sistema de reacción, aumenta la reacción fotocatalítica con una degradación completa del naranja de metilo en 150 min de reacción fotocatalítica y por último cuando añadieron iones metálicos Cu^{2+} , observaron un incremento significativo en la degradación del naranja de metilo con una degradación del 100% en 90 min. Los investigadores indican que este fenómeno se debió a la capacidad del ion metálico para capturar electrones y huecos positivos para evitar la recombinación de pares de electrones y huecos positivos.

Muruganandham et al. (2006), en su artículo científico “Solar assisted photocatalytic and photochemical degradation of Reactive Black 5” realizaron un estudio de degradación fotocatalítica y fotoquímica asistida por energía solar del colorante negro reactivo 5. Todos los experimentos realizaron en días soleados entre las 11 am y 2 pm, emplearon un recipiente de borosilicato de 50 ml de capacidad, realizaron equilibrio adsorción – desorción durante 30 min oscuridad y durante la reacción extrajeron alícuotas de 1 a 2 ml. Lograron una degradación completa de la solución de colorante RB5 3.85×10^{-4} M bajo la irradiación solar en 3.5 h.

Guettaï y Amar (2005a), en su investigación “Photocatalytic oxidation of methyl orange in presence of titanium dioxide in aqueous suspension” realizaron una investigación para la

degradación del colorante naranja de metilo en presencia de dióxido de titanio en suspensión acuosa. Con las siguientes condiciones de operación en un reactor batch 1 L a temperatura ambiente: concentración inicial del naranja de metilo de 5 a 75 ppm, dosis de catalizador TiO_2 0.8 g/L, pH 3, dos lampara UV-A de 15 W por un periodo de reacción de 1 a 5 h. Según el análisis de los datos experimentales la cinética de degradación del colorante MO se ajustó mejor al modelo de pseudo primer orden de Langmuir-Hinshelwood. En conclusión, los investigadores lograron la degradación del colorante naranja de metilo alrededor del 48.5 al 96 % en las condiciones de operación mencionadas.

2.2. Aguas residuales textiles

Los tintes utilizados en la industria textil se consideran tóxicos y crean problemas de contaminación cuando se liberan al medio ambiente sin los tratamientos adecuados (Madhushika et al., 2019) y tienen un alto valor de pH, alta concentración de sólidos en suspensión, cloruros, nitratos, metales como manganeso, sodio, plomo, cobre, cromo, hierro y alto valor de DBO y DQO (Pal, 2017). La industria textil, es uno de los sectores industriales que más consume agua y genera grandes volúmenes de aguas residuales que contienen diferentes tipos de patógenos, sustancias que demandan oxígeno y compuestos orgánicos e inorgánicos (Serejo et al., 2020).

2.3. Procesos de oxidación avanzada

Los procesos de oxidación avanzada (POAs) son métodos prometedores e innovadores y atractivos para el tratamiento de diversos contaminantes en los cuerpos de aguas residuales debido a que es una tecnología química verde y respetuosas con el medio ambiente; cuando no son biodegradables e incluyen compuestos orgánicos tóxicos y compuestos orgánicos persistentes en el agua (Kanafin & Collinson, 2022), debido a la capacidad de oxidar y eliminar los compuestos orgánicos que oxidan de manera eficiente compuestos orgánicos hasta

productos inorgánicos inocuos; y pueden producir la mineralización completa de los contaminantes a dióxido de carbono, agua y compuestos inorgánicos, o al menos su transformación en productos más inocuos (Krystynik, 2021).

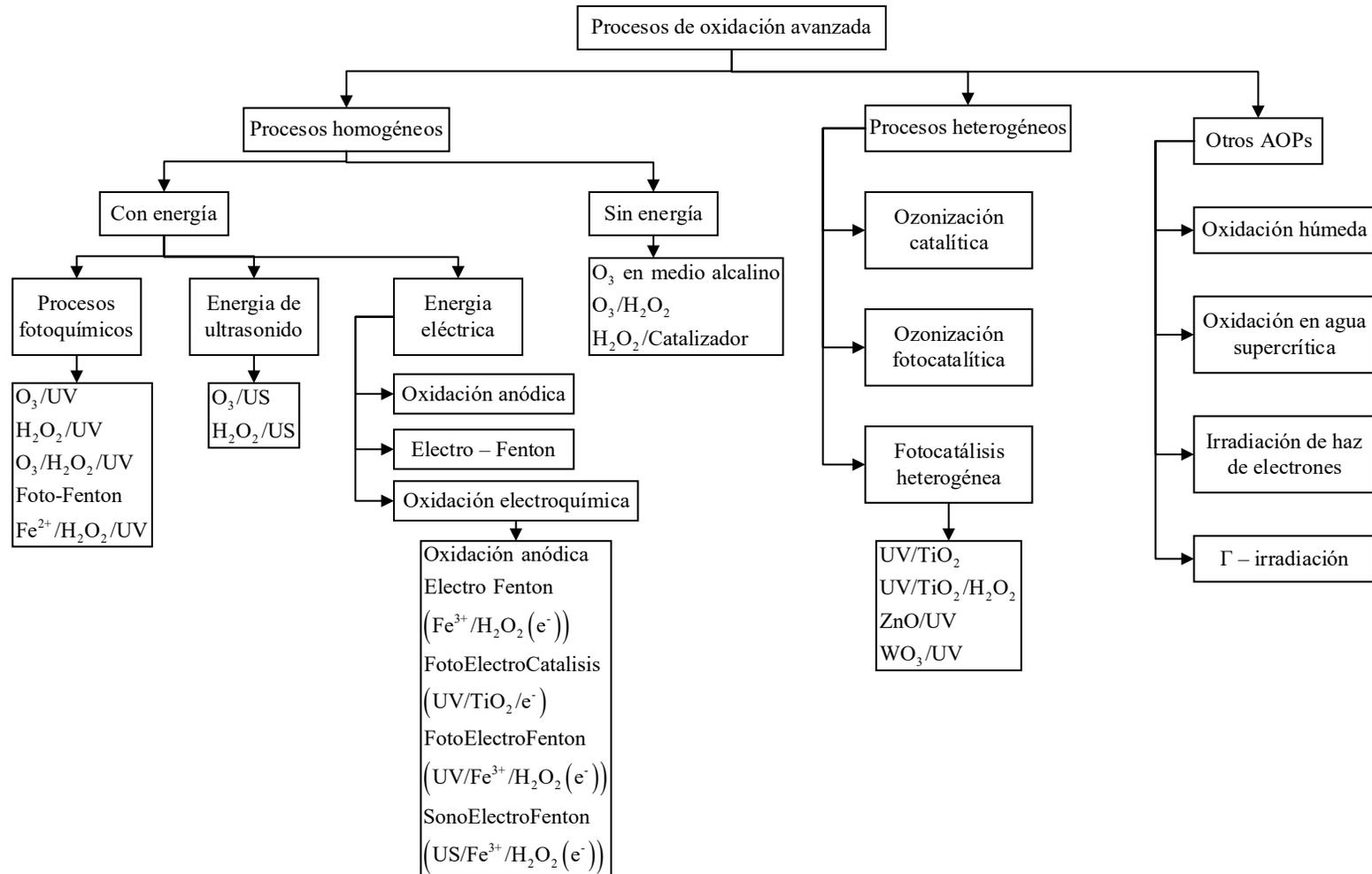
Los POAs comprenden varias características que pueden describirse de la siguiente manera (Krystynik, 2021):

- Los radicales hidroxilos OH^\bullet se emplean como oxidantes reactivos sin restricciones en los mecanismos de reacción.
- El ataque del radical OH^\bullet es muy rápido; la constante de velocidad logra valores de $10^9 \text{ mol}^{-1}\text{dm}^3\text{s}^{-1}$.
- El radical OH^\bullet posee una baja selectividad.
- Los POAs funcionan de manera efectiva a presión y temperatura ambiente; trae ahorros en el costo del proceso.
- Los radicales OH^\bullet , se pueden generar por varios métodos.

En la figura 1, se muestra la clasificación de las tecnologías de oxidación avanzada.

Figura 1

Clasificación de los procesos de oxidación avanzada



Fuente: adaptado de Derco et al. (2021).

2.4. Fotocatalizadores

El término fotocatalizador es una combinación de dos palabras: foto, relacionada con el fotón, y catalizador, que es una sustancia que modifica la velocidad de reacción. Por lo tanto, los fotocatalizadores son materiales que modifican la velocidad de una reacción química al exponerse a la luz; en el proceso de la fotocatalisis, uno de los materiales más empleados es el dióxido de titanio (TiO_2) para la degradación de compuestos orgánicos. Así mismo se tiene una amplia gama de fotocatalizadores semiconductores, por ejemplo: ZnS, CdS, Fe_2O_3 , CdSe, WO_3 , Cu_2O , AlSb, GaAs, CdTe, SnO_2 , Bi_2O_3 , ZnO, CdO, etc (Aribam et al., 2022).

2.4.1. Dióxido de titanio (TiO_2)

El dióxido de titanio (TiO_2) es un semiconductor prometedor debido a sus fuertes poderes oxidantes, abundante, biocompatible, económico, con propiedades optoelectrónicas únicas, alta estabilidad química, bajo costo de producción y muy baja toxicidad (Idris et al., 2022). La actividad fotocatalítica del dióxido de titanio se utiliza ampliamente en ciencia y tecnología (Ono & Iwahashi, 2022), en procesos de oxidación avanzada, especialmente para la eliminación de diferentes contaminantes presentes en el agua (Y. L. Zhang et al., 2017), en los últimos años, el dióxido de titanio (TiO_2) ha mostrado una alta eficacia fotocatalítica cuando se aplica a diferentes procesos de descontaminación (Díaz-Sánchez et al., 2022). El dióxido de titanio es un material blanco omnipresente que se encuentra en una amplia gama de productos, desde alimentos hasta protectores solares, como pigmento y espesante, entre otros usos (Kirkland et al., 2022).

En la tabla 1 se muestran las propiedades físicas y químicas del dióxido de titanio.

Tabla 1*Propiedades fisicoquímicas del dióxido de titanio*

Parámetro	Valor
Aspecto	Forma: polvo Color: blanco
Olor	Inodoro
Punto de fusión/punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: 1850 °C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	2500 - 3000 °C
Inflamabilidad (sólido, gas)	El producto no es inflamable.
Densidad	4.26 g/cm ³ a 25 °C
Solubilidad en agua	0.001 g/L a 20 °C
Propiedades comburentes	Ningún
Densidad aparente	Aprox.850 kg/m ³

Fuente: Sigma-Aldrich (2022)

2.4.2. Estructuras de TiO₂

El dióxido de titanio (TiO₂) se presenta en tres polimorfos: anatasa, rutilo y brookita. (Low et al., 2021). En esta investigación se utilizó TiO₂ grado anatasa.

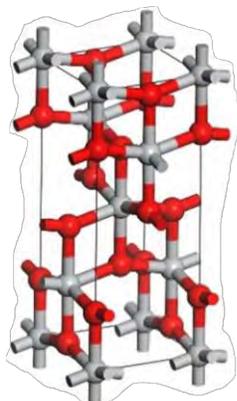
2.4.2.1. Anatasa TiO₂

La anatasa es uno de los polimorfos de dióxido de titanio (TiO₂) más investigados. Se utiliza ampliamente como fotocatalizador porque es el más fotoactivo entre los tres polimorfos comunes de TiO₂, también tiene la densidad más alta de radicales hidroxilos adsorbidos en la superficie y la recombinación de portadores de carga más lenta en comparación con el rutilo y la brookita. Esto se debe principalmente a las diferencias en las estructuras cristalinas y los planos expuestos asociados entre las fases de dióxido de titanio, donde la anatasa tiene una

entalpía superficial más baja y una energía libre superficial más baja que el rutilo (Fujishima et al., 2000), la estructura cristalina de la anatasa se muestra en la figura 2.

Figura 2

Estructura cristalina de la anatasa



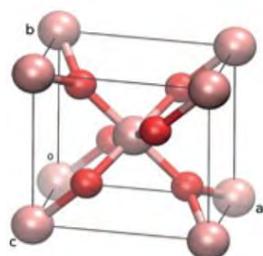
Fuente: Yang et al. (2015)

2.4.2.2. Rutilo

El rutilo posee la estructura de TiO_2 más simple y la forma más común y estable termodinámicamente. La fase rutilo es más estable a temperatura elevada, presión hasta 50 kbar y posee la estructura simétrica más alta (Eddy et al., 2023), la figura 3 muestra la estructura cristalina del rutilo.

Figura 3

Estructura cristalina del rutilo



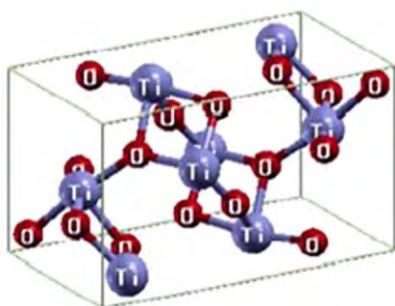
Fuente: Scarpelli et al. (2018)

2.4.2.3. Brookita

La celda unitaria de brookita está compuesta por octaedros, y la estructura cristalina se forma cuando los octaedros comparten tres aristas. Las distancias de los enlaces Ti-O y O-O son diferentes, lo que da lugar a un octaedro distorsionado, también el volumen de celda de la brookita es mayor que el volumen de celda de anatasa y rutilo (Eddy et al., 2023), la figura 4 muestra la estructura cristalina de la brookita.

Figura 4

Estructura cristalina de la brookita



Fuente: Kaur & Singh (2019)

2.4.3. Fotocatálisis

La fotocatálisis ha recibido una atención progresiva debido a que es una tecnología ecológica, económica, sostenible y posee una alta eficacia para degradar y mineralizar contaminantes orgánicos (Xiong et al., 2022), y a su potencial aplicación en los campos del medio ambiente, la energía, la medicina y la salud; el proceso de fotocatálisis comprende tanto las etapas catalíticas, como difusión, adsorción, reacción superficial y desorción (Li et al., 2022), las principales aplicaciones de la fotocatálisis incluyen purificación de agua y aire, tratamiento de aguas residuales, tratamiento antibacteriano y cemento verde (Ozin, 2022), la clave es el fotocatalizador (Long et al., 2020).

La fotocatalisis incluye reacciones que tiene lugar utilizando luz y un semiconductor; es un fenómeno en el que se produce un par electrón (e^-) – hueco (h^+) al exponer un material semiconductor a la luz (Ameta et al., 2018).

Las reacciones fotocatalíticas se clasifican en dos tipos según la naturaleza de los reactivos utilizados:

a) Fotocatálisis homogénea

En la fotocatalisis homogénea, los reactivos y los fotocatalizadores están en la misma fase y uniformemente distribuidos, es decir, gas, sólido o líquido, los procesos frecuentemente utilizados por fotocatalizadores homogéneos contienen ozono y proceso Foto – Fenton (Erdocia et al., 2022).

b) Fotocatálisis heterogénea

En la fotocatalisis heterogénea tanto el semiconductor como el reactivo están en diferentes fases (Ameta et al., 2018). La fotocatalisis heterogénea es una tecnología importante para la remediación ambiental y para la degradación de contaminantes ambientales (Li et al., 2020). Es una opción atractiva con una amplia aplicación en la descontaminación y purificación de aguas residuales, principalmente cuando se tratan fluidos de alto volumen y baja concentración (Choi et al., 2010), los importantes beneficios de la fotocatalisis heterogénea depende de su capacidad para formar bajo irradiación de luz visible/UV/solar especies reactivas de oxígeno como el radical hidroxilo que es altamente oxidante que permite la fotodegradación y mineralización de casi todos los compuestos orgánicos (Karim et al., 2022).

2.4.4. Fotocatálisis heterogénea con TiO_2

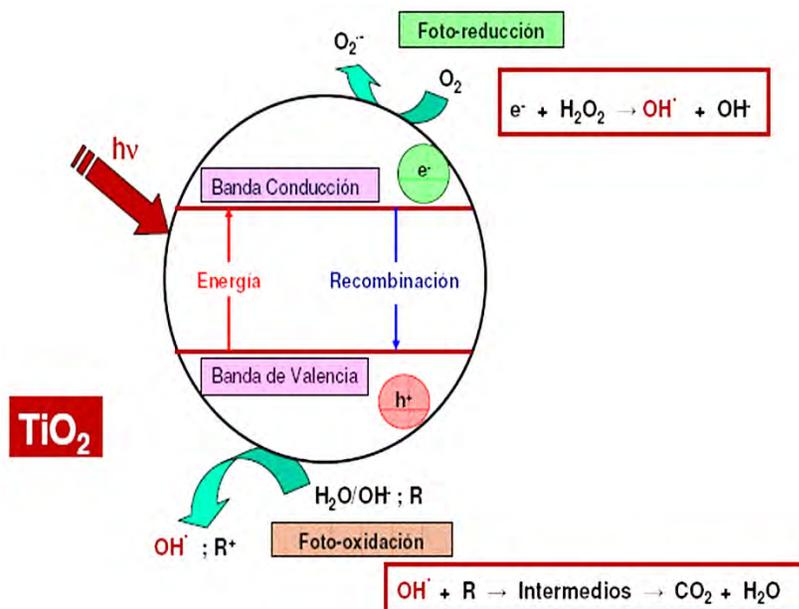
La fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO_2) es una técnica de tratamiento de efluentes que utiliza la luz solar y/o artificial para activar un catalizador (TiO_2) y así oxidar y

degradar las sustancias contaminantes (Deza, 2017), es una tecnología alternativa a los métodos tradicionales utilizados y capaz de degradar compuestos orgánicos tóxicos de relevancia ambiental hasta su completa mineralización en CO_2 y H_2O que son no tóxicos para la biota acuática y el ser humano (Monteiro et al., 2023). Sin embargo, el TiO_2 es un fotocatalizador conocido y ampliamente utilizado por su alta actividad, estabilidad química, bajo costo y baja toxicidad (Lu et al., 2023).

El TiO_2 es un fotocatalizador con una banda de energía que admite la absorción de fotones de luz (natural y/o artificial) y la formación de pares electrón (e^-) – hueco (h^+). Los pares (e^-)/(h^+) generados en la superficie del fotocatalizador TiO_2 participan en reacciones químicas con compuestos orgánicos e inorgánicos, y dan lugar a la degradación de contaminantes (Arun et al., 2022). En la figura 5 se observa los procesos de oxidación – reducción con el fotocatalizador TiO_2 .

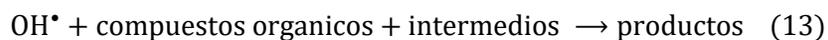
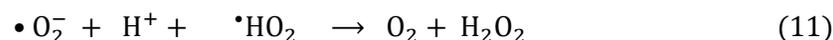
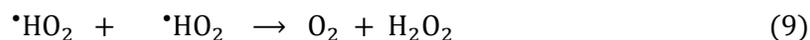
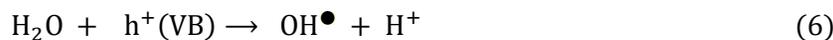
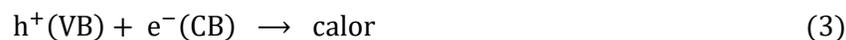
Figura 5

Diagrama conceptual de la fotocatálisis heterogénea



Fuente: Valencia et al. (2012)

El mecanismo de un proceso fotocatalítico heterogéneo ideal es el siguiente como se muestra en las ecuaciones (1) – (13) (Navidpour et al., 2023):



2.4.5. Parámetros operacionales que afectan a la fotocatalisis heterogénea

Hay diferentes factores que afectan al proceso de fotocatalisis heterogénea, como área de superficie específica, el tamaño uniforme de las partículas del fotocatalizador, concentración del catalizador, oxígeno disuelto, concentración inicial del contaminante y la temperatura a la que se lleva a cabo el proceso de fotocatalisis heterogénea (Yamazaki et al., 2020), a continuación, se desarrollan los factores seleccionados para esta investigación:

a) Características del catalizador

El proceso de fotocatalisis mejora a medida que el fotocatalizador posee mayor área superficial, distribución uniforme de tamaño de partícula, y ausencia de porosidad (Ashcroft & Mermin, 1976). Wei y Wan (1991) aseveran que la cantidad de catalizador tiene un impacto tanto positivo como negativo en la tasa de foto descomposición de los colorantes.

b) Temperatura

Según Chen et al. (2021) la temperatura influye en la velocidad de degradación de los compuestos orgánicos e inorgánicos; asimismo influye en la adsorción-desorción de los reactivos y productos en la superficie del fotocatalizador.

c) Efecto del agente oxidante

Los agentes oxidantes incrementan el número de electrones atrapados, lo que impide la recombinación y genera radicales oxidantes que, a su vez, pueden potenciar la degradación foto catalítica del colorante a tratar. El peróxido de hidrogeno (H_2O_2) incrementa significativamente la velocidad de formación del radical hidroxilo de dos formas: (a) la reducción del H_2O_2 en la banda de conducción y (b) la auto descomposición por iluminación (Lee et al., 2003).

2.4.6. Colorantes azoicos

Los tintes azo se caracterizan por la presencia de un grupo azo cromóforo, y se emplean en la industria textil, papel, alimentos, cosméticos y cuero (Vaiano & De Marco, 2023).

Son altamente persistentes en el medio acuático y tienen posibles efectos mutagénicos y cancerígenos (Przystas et al., 2012). Los colorantes azoicos son moléculas/compuestos orgánicos con uno o más grupos azoicos ($-N=N-$) que están directamente unidos a anillos

aromáticos (benceno y/o naftaleno), así como a otros grupos funcionales (amino, hidroxilo, carboxilo, cloro, sulfonato, etc.) con excelente solubilidad en el agua (Saroyan et al., 2019).

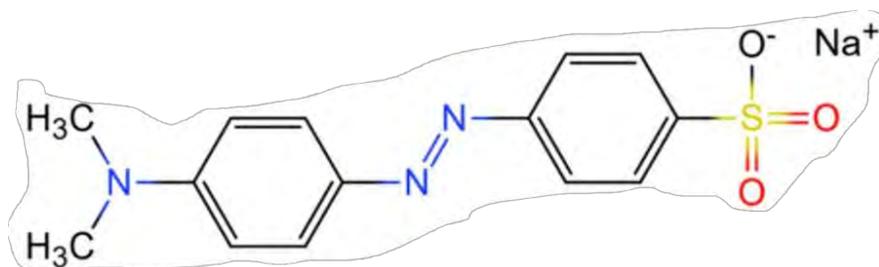
2.4.7. Naranja de metilo (MO)

El MO con fórmula molecular $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ y peso molecular de 327,34 g/mol es un colorante azoico aniónico, soluble en agua, que se utiliza ampliamente en varias industrias, textil, papelera, de impresión, alimentaria y es un indicador ácido-base; en su mayoría se descarga en aguas residuales industriales (Eshraghian et al., 2022).

En la figura 6 se muestra la estructura molecular del naranja de metilo.

Figura 6

Estructura naranja de metilo



Fuente: Wu et al. (2021)

El MO es altamente tóxico debido a su toxicidad, capacidad cancerígena, capacidad tumorigénica, y propiedades mutagénicas y genotóxicas. La estabilidad, la alta solubilidad, el color brillante y la baja biodegradabilidad del MO hacen que sea difícil remediarlo mediante métodos de tratamiento convencionales como la oxidación biológica y química, la coagulación química, la flotación con espuma, la electrólisis, la biodegradación y adsorción (Martínez-Rico et al., 2023).

En la tabla 2, se presenta las propiedades fisicoquímicas del MO.

Tabla 2*Propiedades fisicoquímicas del MO*

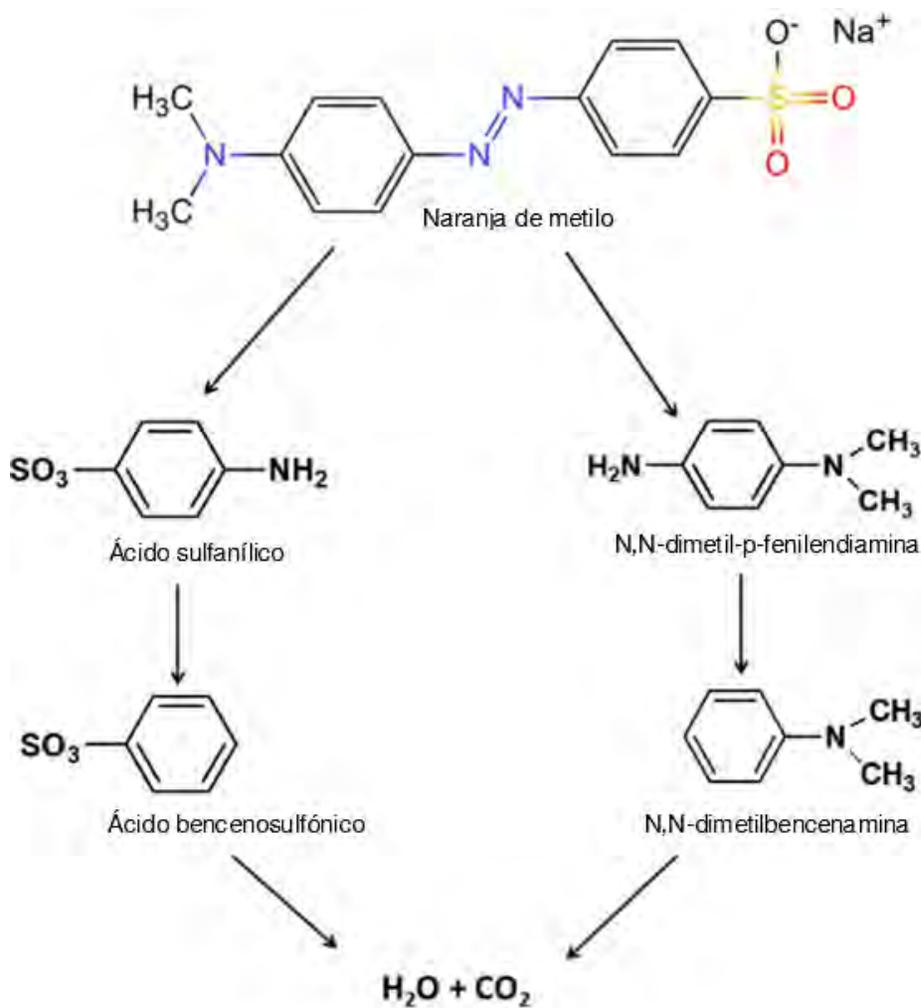
Parámetro	Valor
Estado físico	Sólido
Apariencia	Polvos o cristales de color amarillo a naranja
Olor	Sin olor
pH	Intervalo de transición visual: pH 3.2 (rosado a rojo) – pH 4.4: (amarillo) 7.0 (solución acuosa al 1% a 25 °C)
Temperatura de fusión	>300 °C
Densidad (agua)	1.0 kg/L a 20 °C
Densidad de vapor (aire)	11.3
Solubilidad	Soluble en agua

Fuente: Aguilar y Seminario (2019)

En la figura 7 se muestra la degradación del colorante MO mediante la especie reactiva (radicales hidroxilos OH⁻); la molécula de MO experimenta una ruptura simétrica del enlace azo (-N=N-); generándose los productos intermedios como ácido sulfanílico, ácido bencenosulfónico, N, N -dimetil-p-fenilendiamina, N, N -dimetilbencenamina, ácidos alifáticos, ácidos carboxílicos, sulfonato (SO₃⁻), bicarbonato (HCO₃⁻) y finalmente en dióxido de carbono, agua y iones sulfato (SO₄²⁻) o iones nitrato (NO₃⁻) (Kgatle et al., 2021).

Figura 7

Mecanismo de degradación del naranja de metilo



Fuente: Kgate et al. (2021)

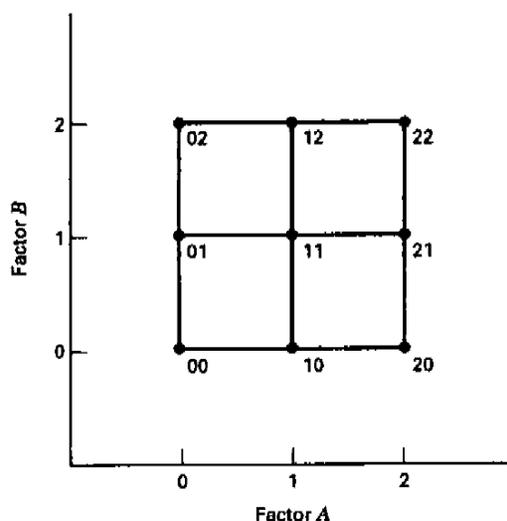
2.5. Diseño factorial 3^k

Los diseños factoriales son ampliamente empleados en experimentos que involucran dos o más factores, es decir, con dos o más variables independientes. Estas variables, consideradas por el investigador como aquellas que afectan al proceso, son analizadas en estos casos. Los diseños factoriales 3^k incluyen k factores, y cada uno de estos factores tiene

tres niveles. En consecuencia, una réplica completa de este diseño implicará un número total de observaciones igual a 3^2 como se muestra en la figura 8 (Montgomery, 2020).

Figura 8

Combinaciones de tratamientos en un diseño 3^2



Fuente: Montgomery (2020)

En el sistema de diseños 3^k , cuando los factores son de naturaleza cuantitativa, es común representar los niveles bajo, intermedio y alto con -1, 0 y +1, respectivamente. Esto facilita la adaptación de un modelo de regresión que establece la relación entre la respuesta y los niveles de los factores. Por ejemplo, consideremos el diseño 3^2 de la figura 8, donde x_1 representa el factor A y x_2 el factor B (Montgomery, 2020). Un modelo de regresión que relaciona la respuesta y con x_1 y x_2 , basándose en este diseño, es:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \varepsilon \quad (14)$$

2.6. Tipos de reactores

Existen varios tipos de reactores utilizados en procesos químicos e industriales, cada uno diseñado para cumplir con ciertas funciones y aplicaciones específicas (Fogler, 2022).

2.6.1. Reactores intermitentes (batch)

Son sistemas cerrados donde los reactivos se cargan al inicio y la reacción ocurre sin la entrada continua de materias primas. Una vez completada la reacción, se descarga el producto y se inicia una nueva operación (Fogler, 2022).

2.6.2. Reactores de flujo continuo

Son dispositivos utilizados en procesos químicos e industriales donde los reactivos son introducidos de manera constante, permitiendo una reacción continua (Fogler, 2022).

2.6.3. Biorreactores

Son sistemas diseñados, implementado para facilitar el crecimiento de masa biológica mediante la transformación o degradación del material alimentado al reactor (Fogler, 2022).

2.7. Cinética

La cinética química describe la velocidad de una reacción química, es decir, la rapidez con la que los reactivos se convierten en productos; cuando el mecanismo de reacción es desconocido, se sigue la metodología propuesta por Fogler (2022) y Levenspiel (1999) como se muestra en la tabla 3 (*). Asimismo, para los procesos de degradación de los colorantes azoicos mediante fotocatalisis heterogénea sigue el modelo cinético de Langmuir-Hinshelwood (L-H) para el cálculo de los datos experimentales. En la tabla 3 se muestran los modelos cinéticos.

Tabla 3*Modelos cinéticos*

Langmuir-Hinshelwood	Orden cero*	Orden 1/2 *	Segundo orden*
$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = \frac{kKC_A}{1 + KC_A} \approx kKC_A \approx k_{app}C_A$	$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k$	$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^{0.5}$	$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^2$
$\ln\left(\frac{C_{A0}}{C_A}\right) = k_{app}t$	$C_A - C_{A0} = kt$	$C_A^{0.5} - C_{A0}^{0.5} = -\frac{k}{2}t$	$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = kt$
	$y = mx + b$		
$\ln(C_A) = -k_{app}t + \ln(C_{A0})$	$C_A = C_{A0} - kt$	$C_A^{0.5} = C_{A0}^{0.5} - \frac{k}{2}t$	$\frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_{A0}} + kt$
<p>C_A: concentración de la solución al tiempo t (ppm) C_{A0}: concentración inicial de la solución (ppm) t: tiempo (min) r_A: velocidad de reacción</p>			
k: constante de velocidad de reacción (min^{-1})	k: constante de velocidad de reacción ($\text{ppm} \times \text{min}^{-1}$)	k: constante de velocidad de reacción ($\text{ppm}^{-0.5} \times \text{min}^{-1}$)	k: constante de velocidad de reacción ($\text{ppm}^{-1} \times \text{min}^{-1}$)
K: constante de equilibrio de adsorción del sustrato, colorante MO en la superficie del TiO_2			
k_{app} : constante de velocidad aparente			

Capítulo III

3. Metodología

En este capítulo se describen los materiales, equipos, métodos y procedimientos utilizados en este trabajo de investigación. Se realizaron pruebas experimentales para evaluar el proceso de degradación del colorante naranja de metilo en solución acuosa, estas pruebas experimentales se llevaron a cabo en un reactor batch isotérmico, en el laboratorio de Hidrocarburos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

3.1. Tipo de investigación

Según Arias (2020): El tipo de investigación según su fuente es de laboratorio, ya que la investigación se realizó en un ambiente controlado, donde se manipularon las variables independientes para obtener resultados en la variable dependiente; según su alcance es explicativo, porque tiene la característica de establecer causa – efecto entre sus variables, son más profundas y estructuradas. Y finalmente, según su diseño es experimental porque es un proceso cuya principal característica es verificar cuantitativamente la causalidad de una variable sobre otra, ello implica la manipulación o el control de la variable independiente sobre la variable dependiente.

3.2. Muestra simulada

O'Neill et al. (1999) sostiene que los efluentes de la industria textil de colorantes azoicos oscilan en un rango de 10 – 250 ppm; en base a esta información se simularon en laboratorio las soluciones del colorante naranja de metilo con agua destilada con una concentración inicial de 15 ppm del colorante MO.

3.3. Materiales

3.3.1. Equipos

- Agitador magnético con calentamiento CAT M6
- Lámpara UVC “OPALUX” 32W NEGRO germinicida con control remoto AC220V/60Hz
- Reactor batch isotérmico (2 L) KGW ISOTHERM
- Baño isotérmico AMETEK Brookfield - TC-102
- Centrifuga de laboratorio MPW M-UNIVERSAL
- Pipeteador Levo Plus BIOBASE

3.3.2. Instrumentos

- Termómetro digital Boeco Germany
- Balanza analítica Ohaus PR 224 SERIES ANALYTICAL
- Espectrofotómetro UV-VIS GENESYS™ 10, THERMO

3.3.3. Reactivos

- Naranja de metilo (MO) 41.436%, Millipore, (No. CAS 547-58-0)
- Dióxido de titanio (TiO₂) EMSURE® REAG. PH EUR, Millipore, (No. CAS 13463-67-7)
- Peróxido de hidrogeno (H₂O₂) 30% 107210, Millipore, (No. CAS 7722-84-1)
- Agua destilada Alkofarma

3.3.4. Materiales de vidrio y otros

- Caja reflectante
- Fiolas de 25 ml.

- Tubos de ensayo.
- Pipetas de 1, 2 y 10 ml.
- Probetas de 50, 100 y 1000 ml.
- Vaso de precipitados de 500 ml
- Barras magnéticas.
- Cuchara-espátula.
- Gradilla.

3.4. Métodos

En la presente investigación se empleó una solución de 15 ppm de concentración de MO, a partir de esta solución madre se llevó a cabo las pruebas experimentales para determinar las mejores condiciones de la degradación del colorante MO por fotocátalisis heterogénea.

3.4.1. Espectrofotometría UV-Vis

Se utilizó el espectrofotómetro (UV-VIS GENESYS™ 10, THERMO) para realizar el barrido espectral del colorante MO, en el rango visible 390 a 780 nm. También para la curva de calibración y por último para dar lectura a las alícuotas extraídas de la reacción fotocatalítica para determinar el porcentaje de degradación del colorante MO.

3.4.2. Longitud de onda máxima

Con el propósito de determinar a qué longitud de onda se identifica la absorbancia máxima del colorante MO, se preparó una solución madre de 500 ml del colorante MO a 20 ppm y se hizo diluciones a concentraciones de 1 a 18 ppm de MO.

3.4.3. Curva de calibración

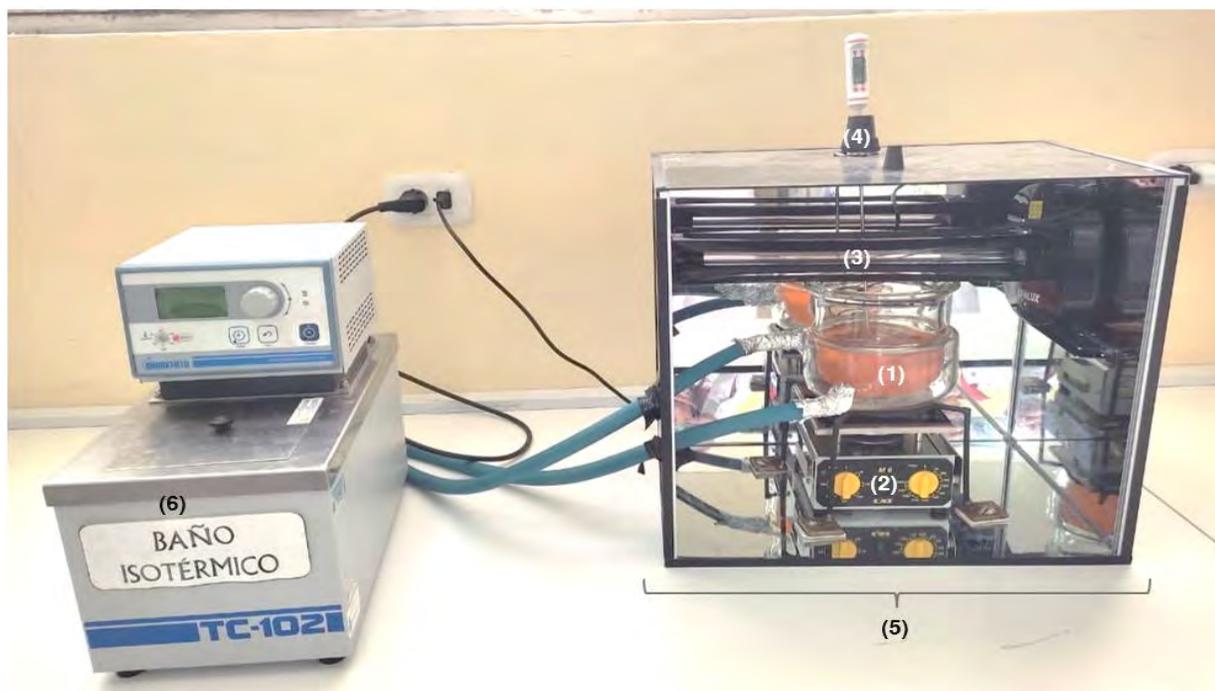
Para la curva de calibración se preparó una solución madre de 100 ml del colorante MO a 300 ppm y de esta se hizo dilución a diferentes concentraciones de 1 a 18 ppm de MO. Se procedió a dar lectura las diluciones del colorante MO a la longitud de onda máxima obtenida, culminado las lecturas de todas las diluciones a la longitud de onda máxima; permitió obtener la ecuación de la línea recta mediante el método de mínimos cuadrados, para calcular las concentraciones desconocidas en ppm de las diferentes alícuotas.

3.4.4. Pruebas preliminares para determinar la cantidad de catalizador

Las pruebas preliminares para determinar la cantidad de catalizador se llevaron a cabo siguiendo la metodología propuesta por (Guettaï & Amar, 2005b; Kousar et al., 2022; Niu, 2013). Se trabajó a una concentración de 15 ppm de MO, se varió la concentración del catalizador en el rango de 0.01 a 0.2 g/L la reacción fotocatalítica se llevó a cabo durante 60 min, para determinar su efecto en el porcentaje de degradación del colorante MO y seleccionar las concentraciones adecuadas para las reacciones.

3.4.5. Montaje del fotorreactor

La figura 9 muestra el fotorreactor utilizado en este trabajo de investigación y está conformado por: caja reflectante que consta de: lámpara UVC, reactor batch, baño isotérmico, termómetro y agitador magnético. En la cual se desarrollaron las reacciones fotocatalíticas.

Figura 9*Fotorreactor*

- (1) Reactor batch
- (2) Agitador magnético
- (3) Lámpara UVC
- (4) Termómetro
- (5) Caja reflectante
- (6) Baño isotérmico

3.4.6. Proceso de fotocatalisis heterogénea

Las variables independientes que se evaluaron son adaptadas de investigaciones de fotocatalisis realizadas con anterioridad en las cuales lograron resultados prometedores (Copete et al., 2018; Kader et al., 2022); es por ello que se planteó un diseño experimental que

reúna las combinaciones de las variables que más afecta al proceso de fotocátalisis heterogénea.

En esta investigación se utilizó un diseño factorial 3^k con dos factores y cada uno tiene tres niveles, donde k representa el número de variables independientes (dosis TiO_2 y temperatura) (Montgomery, 2020, p. 334); con replica por consiguiente en total se tiene 18 experimentos. En la tabla 4 se muestra el diseño factorial 3^2 .

Tabla 4

Factores y niveles

Factores	Mínimo	Intermedio	Máximo	Niveles
A	-1	0	+1	3
B	-1	0	+1	3

Nota. donde A: temperatura de la solución (20, 30 y 40 °C) y B: dosis de TiO_2 (0.05, 0.10 y 0.15 g/L).

La tabla 4 muestra los factores y niveles, donde los factores mínimo, intermedio y máximo son; para A y B (-1, 0 y 1). Donde A es temperatura (20, 30 y 40 °C) y B es dosis de TiO_2 (0.05, 0.10 y 0.15 g/L) respectivamente.

El diseño factorial es 3^2 y se tomaron en consideración tres niveles, haciendo un total de 9 experimentos con una réplica, por consiguiente, en total se efectuaron 18 pruebas experimentales. Para el diseño experimental se utilizó el software Minitab Statistical.

La Tabla 5 resume el diseño experimental 3^2 de la investigación con 9 experimentos con una réplica.

Tabla 5*Diseño del plan experimental*

N°	A	B	% D _{MO}
1	-1	-1	-
2	-1	0	-
3	-1	+1	-
4	0	-1	-
5	0	0	-
6	0	+1	-
7	+1	-1	-
8	+1	0	-
9	+1	+1	-

Nota. donde: % D_{MO} es el porcentaje de degradación del colorante MO

3.4.7. Proceso experimental

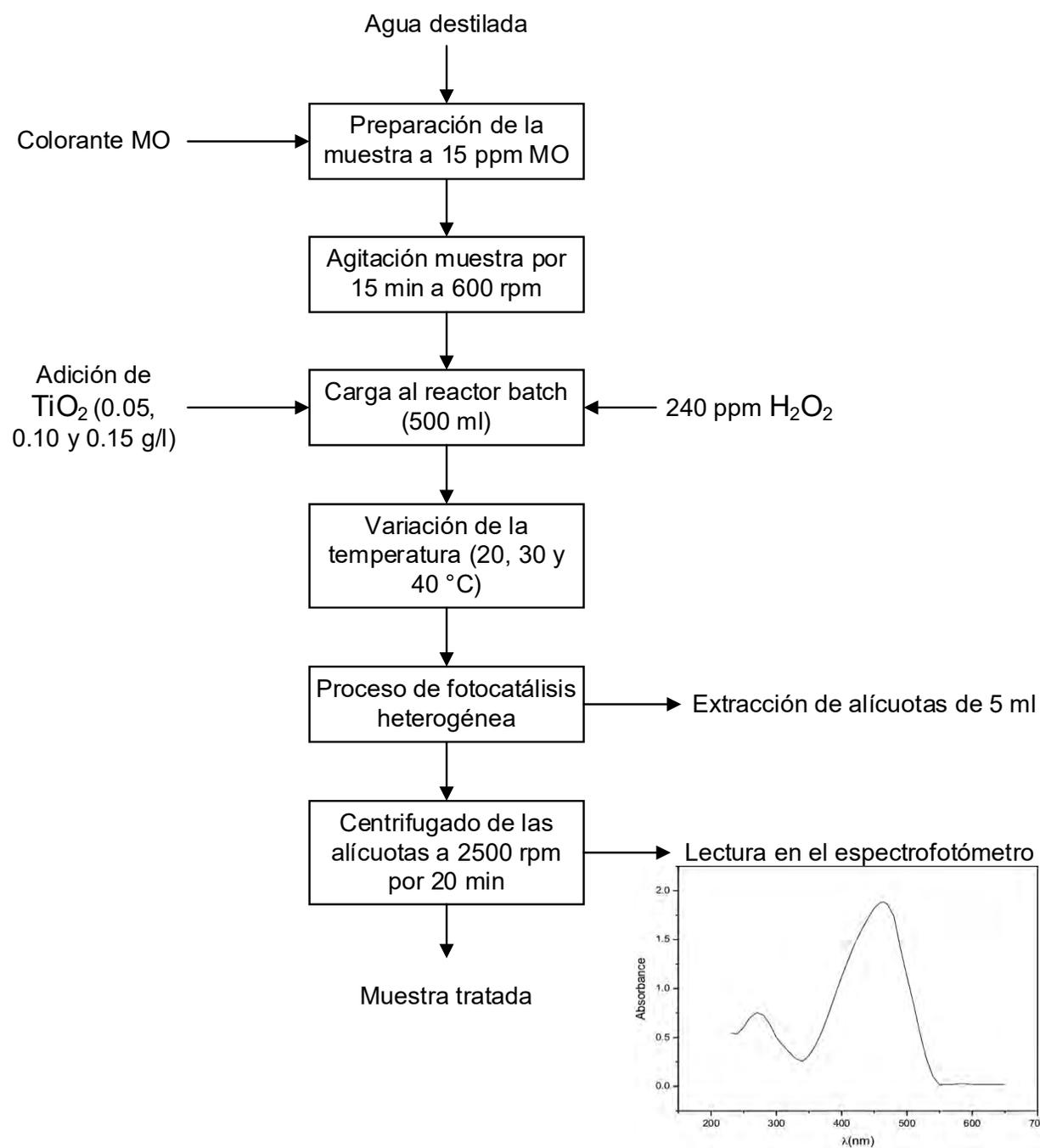
Para el proceso de fotocatalisis heterogénea se adaptó de la metodología propuesta por los investigadores Churata (2017); Copete et al. (2018); Karuppaiah et al. (2023); Kaur et al. (2023); Mohammed et al. (2020) y Puentes et al. (2012):

- a. Se prepararon 500 ml de solución del colorante MO a 15 ppm.
- b. Se agitó la solución por 15 min a 600 rpm.
- c. Se agregaron 500 ml de la solución preparada al reactor.
- d. Se agregaron las nanopartículas de dióxido de titanio según el diseño factorial (ver tabla 4).
- e. Se varió la temperatura de la solución según el diseño factorial (ver tabla 4).

- f. Se agregó 240 ppm de agente oxidante (H_2O_2) al reactor.
- g. Se procedió con la degradación fotocatalítica de la solución de MO hasta llegar al equilibrio.
- h. Se extrajeron alícuotas de 5 ml en intervalos de t min durante la reacción fotocatalítica.
- i. Se centrifugaron las alícuotas a 2500 rpm por 20 min.
- j. Se llenó la cubeta de espectrofotometría hasta 3/4 de su capacidad con la solución centrifugada y luego se dio lectura en el espectrofotómetro.
- k. Registro de los resultados de absorbancia, para su posterior análisis.

En la figura 10 se muestran las etapas de la experimentación desarrollada.

Figura 10

Procedimiento experimental

3.4.8. Evaluación del proceso fotocatalítico

Durante la reacción fotocatalítica del colorante MO se extrajeron alícuotas de 5 ml en intervalos de tiempo, las alícuotas se centrifugó para separar el catalizador de la solución. Para evaluar el comportamiento del proceso de degradación fotocatalítica del colorante MO, con la data recopilada se determinó el efecto de los factores en el proceso de degradación del MO y la cinética de la reacción. El porcentaje de degradación del colorante MO se calculó con la ecuación 17 (Jasim et al., 2023).

$$\%D_{MO} = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100 \quad (15)$$

donde:

$\%D_{MO}$: porcentaje de degradación del colorante MO

C_i : concentración inicial MO (ppm)

C_f : concentración final MO (ppm).

Capítulo IV

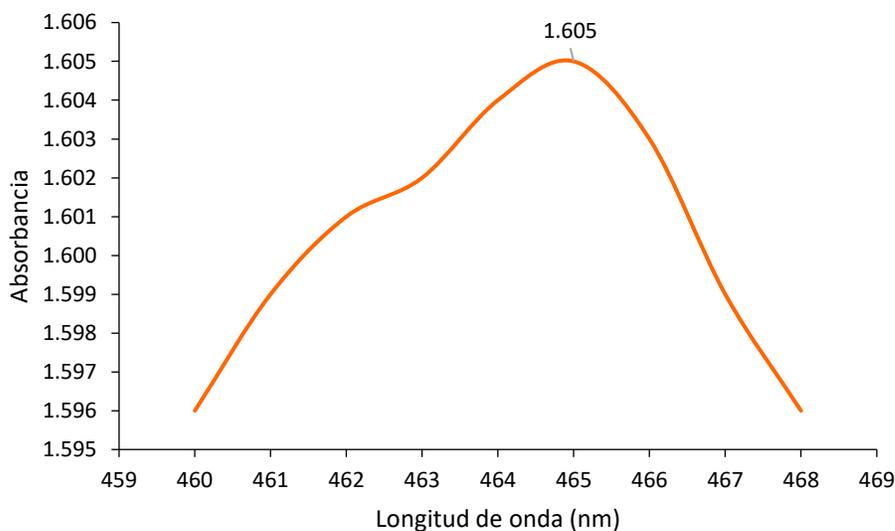
4. Resultados y discusión

4.1. Longitud de onda máxima del colorante MO

En la figura 11 se muestra el resultado de la longitud de onda máxima del colorante MO, en la cual se observa a 465 nm la longitud de onda máxima del colorante MO. Esta longitud de onda máxima determinada se usó para realizar la curva de calibración y para dar lecturas de las alícuotas extraídas de la reacción fotocatalítica, la figura 11 se construyó con los datos del Apéndice I.

Figura 11

Barrido espectrofotométrico UV-Vis del colorante MO



La longitud de onda máxima determinado experimentalmente para el MO es de 465 nm, este mismo resultado reportaron los investigadores (Mansor et al., 2023).

4.2. Curva de calibración

En la figura 12 se muestran las diluciones del MO a concentraciones de 1 a 18 ppm.

Figura 12

Soluciones de MO a concentraciones de 1 a 18 ppm



El resultado de la curva de calibración realizada se muestra en la tabla 6 y las réplicas de la curva de calibración realizada se muestran en el Apéndice II.

Tabla 6

Curva de calibración del colorante MO

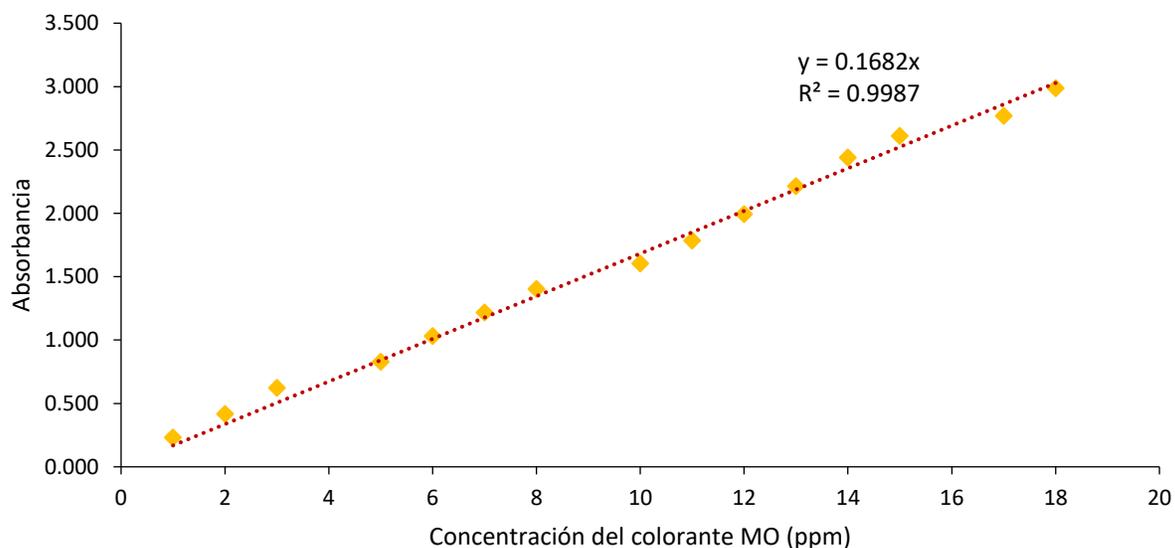
N° Pruebas	C _{MO} (ppm)	Absorbancia
1	1	0.231
2	2	0.417
3	3	0.621
4	5	0.828
5	6	1.030
6	7	1.218
7	8	1.403
8	10	1.603
9	11	1.784
10	12	1.992
11	13	2.212
12	14	2.439
13	15	2.609
14	17	2.769
15	18	2.986

Nota. dónde: C_{MO} (ppm): es la concentración del colorante naranja de metilo en partes por millón

En la figura 13 se muestra la curva de calibración del colorante naranja de metilo.

Figura 13

Curva de calibración del colorante MO



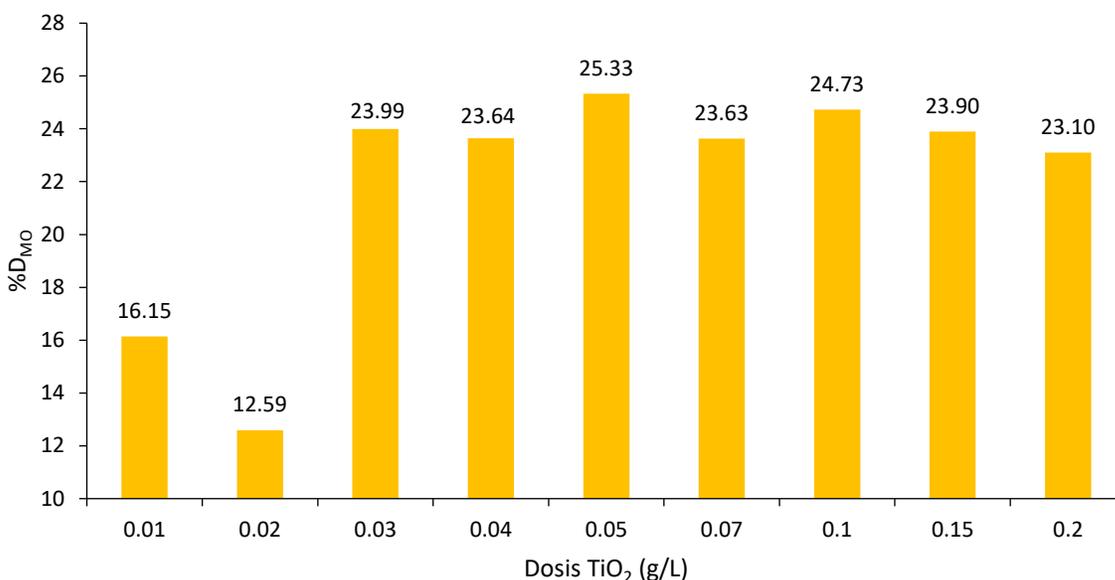
En la figura 13 se muestra un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9987, este parámetro indica una excelente correlación entre las concentraciones conocidas del colorante MO y las lecturas de las absorbancias. Este valor tan cercano a la unidad sugiere que el 99.87% de la variabilidad en las lecturas se puede explicar por la relación lineal entre la concentración y la lectura de la absorbancia realizadas. Por consiguiente, la curva de calibración posee una alta precisión y confiabilidad para predecir con exactitud las concentraciones, a partir de la lectura de la absorbancia de muestras del colorante MO. Valores similares de R^2 obtuvieron los investigadores (Bi & Liu, 2019; Kader et al., 2022; Shahbazkhany et al., 2022).

4.3. Pruebas preliminares para determinar la cantidad de catalizador

La figura 14 muestra las pruebas preliminares de la cantidad de catalizador de 0.01 – 0.2 g/L, 15 ppm MO y 60 min de reacción fotocatalítica.

Figura 14

Pruebas preliminares de la cantidad de catalizador



En la figura 14, se observa un incremento significativo en la eficiencia de degradación del colorante MO al variar la dosis de TiO₂ de 0.01 a 0.05 g/L. Al usar 0.01 g/L TiO₂, se logró una degradación del 16.15% del MO. No obstante, al aumentar la dosis a 0.05 g/L de TiO₂, se obtuvo un incremento sustancial en el porcentaje de degradación del MO, alcanzando un 25.33% de degradación MO. Al incrementar la dosis de catalizador generó un aumento del 9.18% en el porcentaje de degradación del colorante MO. Sin embargo, para una dosis de 0.2g/L, se obtuvo una degradación del 23.10% del MO, mostrando una disminución con respecto a la eficiencia alcanzada con 0.05g/L. Yang et al. (2023) exploraron el efecto de diferentes cantidades de catalizador (0.03, 0.05 y 0.08 g/L). Al utilizar 0.03 g/L de TiO₂, lograron una degradación del 60% en 35 minutos, mientras que alcanzaron la degradación completa en 20 minutos con 0.05 g/L y en 30 minutos con 0.08 g/L. Observaron que al aumentar la dosis de TiO₂ de 0.03 a 0.05 g/L, la tasa de degradación del colorante MO aumentó significativamente, pasando de 62.16% a 97.05%; pero para una dosis de 0.08 g/L de TiO₂ observaron una caída en la degradación del colorante MO. Divya et al. (2022) investigaron el efecto de la dosis del

catalizador N-TiO₂ en la degradación fotocatalítica del colorante índigo carmín (IC). Estudiaron dosis de 0.05 g/L, 0.1 g/L, 0.2 g/L y 0.25 g/L con una concentración inicial del IC de 5 mg/l. Y obtuvieron que a medida que la dosis del catalizador aumentaba hasta 0.15 g/L, la tasa de degradación aumentaba y luego disminuía gradualmente. Cuando la dosis del catalizador es de 0.2 g/L a 0.25 g/L la tasa de degradación disminuye debido a la turbidez de la solución; esto hace que el ritmo de degradación se ralentice. Bendjama et al. (2022) investigaron el efecto de la dosis de TiO₂ en el proceso de degradación fotocatalítica del colorante safranina O (SO), utilizando diferentes cantidades de TiO₂ 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.4, 1 y 3 g/L. Como era de esperar, cuanto mayor era la carga del catalizador, mayor era el porcentaje de degradación; pero a partir de 0.4 g/L, afectó negativamente en el proceso de degradación del colorante SO. Este comportamiento puede atribuirse al efecto de apantallamiento inducido por la acumulación de partículas de TiO₂, lo que conlleva a una dispersión inadecuada y una limitada penetración de la luz, resultando en una eficiencia reducida en el proceso fotocatalítico.

4.4. Pruebas experimentales del proceso fotocatalítico

En la tabla 7 se muestran los datos a 60 min de la degradación del colorante MO.

Tabla 7*Resultados del proceso de degradación del colorante MO*

N°	A	B	% D _{MO}
1	-1	-1	95.352
2	-1	0	86.841
3	-1	+1	71.444
4	0	-1	84.569
5	0	0	74.535
6	0	+1	64.554
7	+1	-1	95.498
8	+1	0	85.306
9	+1	+1	75.665
10	-1	-1	98.413
11	-1	0	88.754
12	-1	+1	79.09
13	0	-1	85.567
14	0	0	75.749
15	0	+1	69.215
16	+1	-1	95.993
17	+1	0	86.558
18	+1	+1	76.651

4.5. Análisis estadístico del diseño factorial**Prueba de normalidad**

Hipótesis:

H_0 : los datos tienen una distribución normal

H_a : los datos no tienen una distribución normal

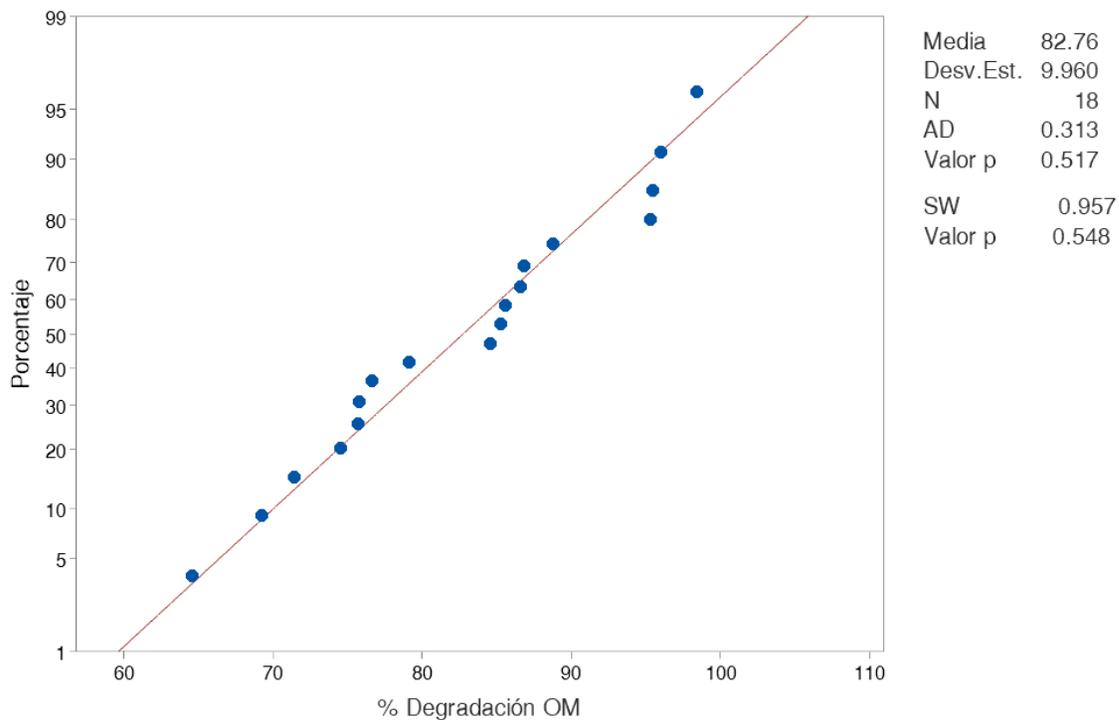
Decisión:

1. Si el valor-p es menor o igual que el nivel de significancia (0.05), se rechaza la H_0 y se acepta la H_a .
2. Si el valor-p es mayor que el nivel de significancia (0.05), se acepta la H_0 y se rechaza la H_a .

En la figura 15 se muestra la prueba de normalidad de Anderson-Darling (AD) y Shapiro-Wilk (SW).

Figura 15

Prueba de normalidad



Como se observa en la figura 15, el valor-p mediante la prueba de normalidad de Anderson-Darling y Shapiro-Wilk es 0.517 y 0.548 respectivamente. Este valor es mayor que el nivel de significancia de 0.05 por consiguiente se acepta la H_0 .

Prueba de independencia

Hipótesis:

H_0 : no existe autocorrelación

H_a : existe autocorrelación

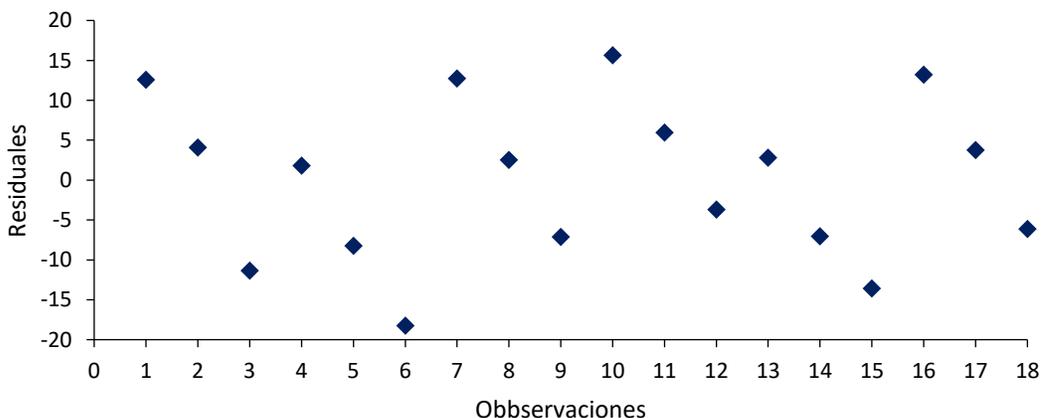
Cálculo del estadístico de Durbin-Watson (ver apéndice V)

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} = \frac{3,625.86}{1,686.49} = 2.150$$

El valor del estadístico DW es 2.150. Dado que este valor se encuentra dentro del rango aceptable de 1.5 a 2.5 que sugiere independencia de los residuos y ausencia de autocorrelación apreciable. En la figura 16 se presentan los residuos, los cuales exhiben una distribución aleatoria sin mostrar ningún patrón discernible.

Figura 16

Residuales



Prueba de homogeneidad de varianzas

Hipótesis:

H_0 : las varianzas de los dos grupos son iguales ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$).

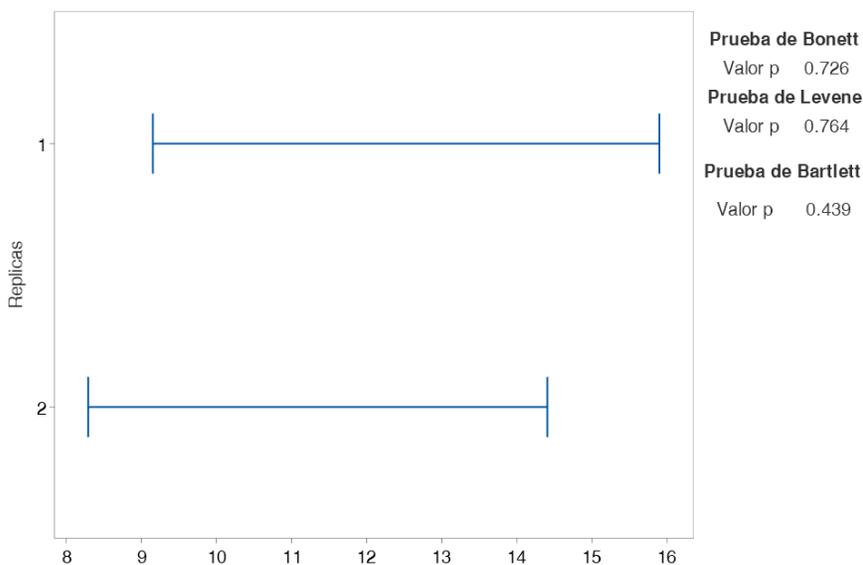
H_a : las varianzas de los dos grupos son diferentes ($H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$).

Decisión:

1. Si el valor-p es menor o igual que el nivel de significancia (0.05), se rechaza la H_0 y se acepta la H_a .
2. Si el valor-p es mayor que el nivel de significancia (0.05), se acepta la H_0 y se rechaza la H_a .

Figura 17

Homogeneidad de varianzas



Como se observa en la figura 17, el valor-p mediante la prueba de homogeneidad de varianzas de Bonett, Levene y Bartlett es 0.726, 0.764 y 0.439 respectivamente. Este valor es mayor que el nivel de significancia de 0.05 por ende se acepta la H_0 .

La prueba de normalidad demuestra que los datos tienen una distribución normal, lo que facilita la aplicación de pruebas paramétricas y la prueba de homogeneidad de varianzas demuestra que las varianzas de los dos grupos son iguales ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$) con esta premisa se procede a realizar el ANOVA.

4.5.1. Análisis de varianza (ANOVA)

Para establecer si las variables independientes son significativas se realizó el análisis de varianza. El cálculo del ANOVA se realizó a partir de la tabla 7.

La tabla 8 muestra el resultado del cálculo de ANOVA.

Tabla 8

Resultados del análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	1637.23	204.654	37.41	0.0001
Lineal	4	1626.72	406.681	74.35	0.0001
Temperatura (°C)	2	450.83	225.414	41.21	0.0001
Dosis TiO ₂ (g/L)	2	1175.9	587.948	107.48	0.0001
Interacciones de 2 términos	4	10.5	2.626	0.48	0.75
Temperatura (°C)*Dosis TiO ₂ (g/L)	4	10.5	2.626	0.48	0.75
Error	9	49.23	5.47		
Total	17	1686.46			

En la tabla 8 se muestran los resultados del ANOVA para el modelo lineal más interacciones, determinándose que la interacción Temperatura*Dosis TiO₂, no tiene influencia en la degradación, sin embargo, los efectos simples Temperatura y Dosis TiO₂ si tienen

influencia en la respuesta, ya que presentan un valor de p menor a 0.05 y la ecuación de regresión es el siguiente con un coeficiente de determinación R^2 de 0.966:

Tabla 9

Coeficiente de la regresión

	Resultados codificados	Resultados reales
β_0	75.891	194.015
β_1	-0.352	-6.496
β_2	-9.898	-205.205
β_{12}	10.599	0.106
β_{11}	-0.289	-115.799
β_{22}	0.507	1.014

Ecuación de regresión para datos codificados

$$y = 75.891 - 0.352x_1 - 9.898x_2 + 10.599x_1^2 - 0.289x_2^2 + 0.507x_1x_2$$

Ecuación de regresión para datos reales

$$y = 194.015 - 6.496x_1 - 205.205x_2 + 0.106x_1^2 - 115.799x_2^2 + 1.014x_1x_2$$

donde:

y: porcentaje de degradación del colorante MO.

x_1 : temperatura de la solución (°C)

x_2 : dosis de TiO_2 (g/L)

El valor del coeficiente de determinación R^2 de 0.966 indica que alrededor del 96.6% de la variabilidad en la degradación del MO mediante fotocatalisis heterogénea es explicada por el modelo matemático empleado. El modelo matemático posee una capacidad significativa para

explicar la variación observada en la degradación del colorante, lo que indica su fiabilidad y ajuste adecuado a los datos experimentales.

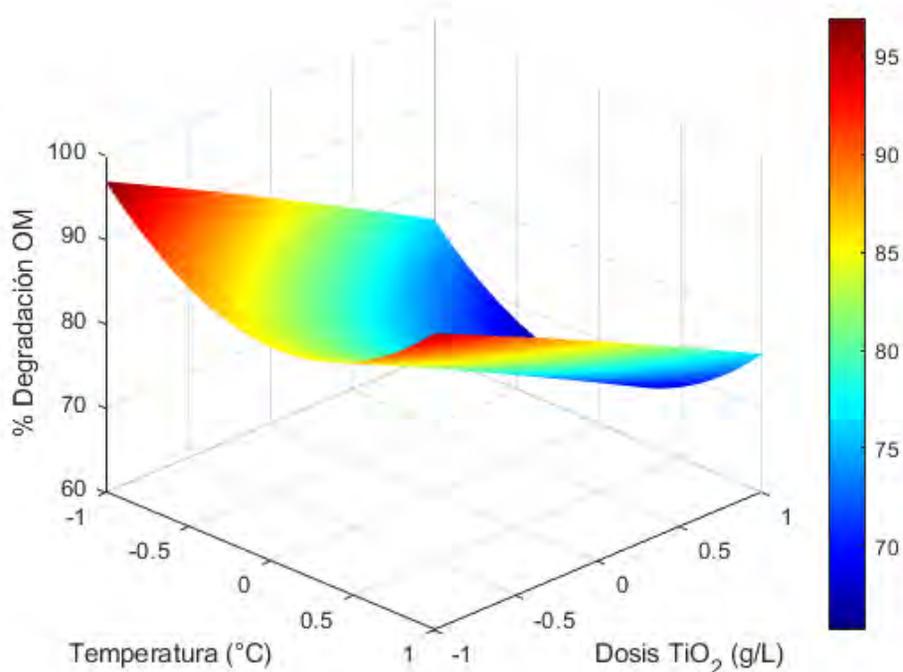
En las ecuaciones de regresión para datos codificados y reales se observan lo siguiente: la temperatura, dosis TiO_2 , interacción cuadrática de dosis de TiO_2 presenta una relación inversamente proporcional a la degradación del MO y la interacción cuadrática de la temperatura de la solución, la interacción temperatura*dosis TiO_2 tiene una relación directamente proporcional con la degradación del MO.,

Superficie de respuesta

La superficie de respuesta exhibe la relación entre el porcentaje de degradación del colorante MO y las variables independientes investigadas (temperatura y la dosis de TiO_2), tal como se ilustra en la figura 18.

Figura 18

Superficie de respuesta estimada

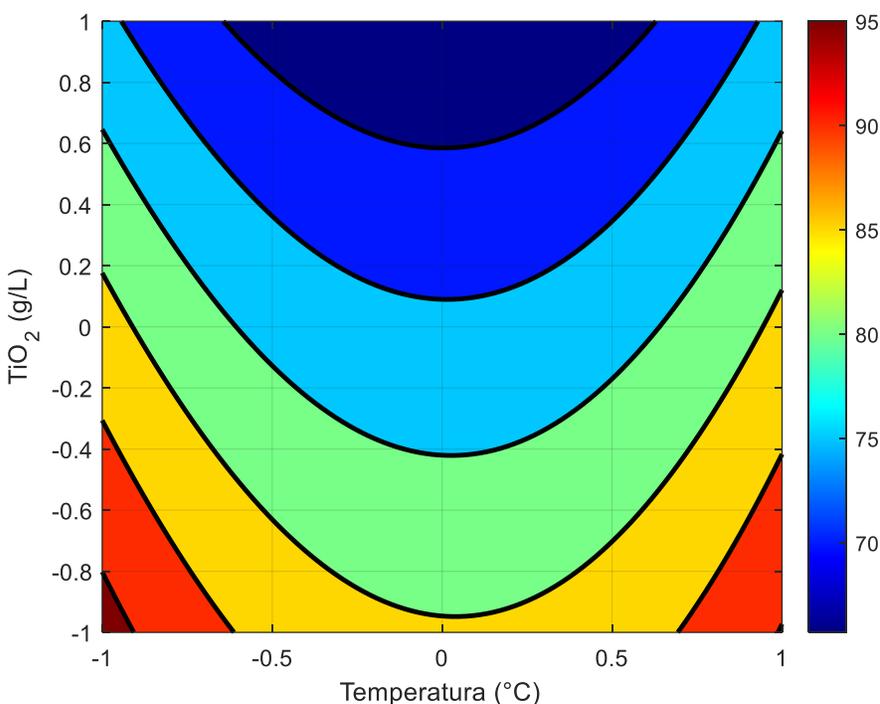


La figura 18 muestra la superficie de respuesta calculados para los tres niveles de nuestras variables independientes estudiadas (temperatura y dosis de TiO_2) para una concentración constante del colorante MO a 15ppm. Se concluye que el mayor porcentaje de degradación muestra el área de color rojo de 90 a 95%, y no es visible a 30 °C y para las dosis de dióxido de titanio de 0.10 y 0.15 g/L. Así mismo, se puede observar en la zona de color naranja el porcentaje de degradación del MO de 85 a 90 % y por último el color azul nos indica que existe un porcentaje de degradación mínimo entre 65 a 70%.

La figura 19 muestra los contornos de la superficie de respuesta estimada.

Figura 19

Contornos de la superficie de respuesta estimada



La figura 19 presenta una barra de colores que facilita la comprensión de cómo varía la degradación del colorante naranja de metilo en relación con los factores. La región roja indica la máxima degradación, alcanzando un 95 %, con una dosis de TiO_2 de 0.05 g/L a 20 °C. Por otro

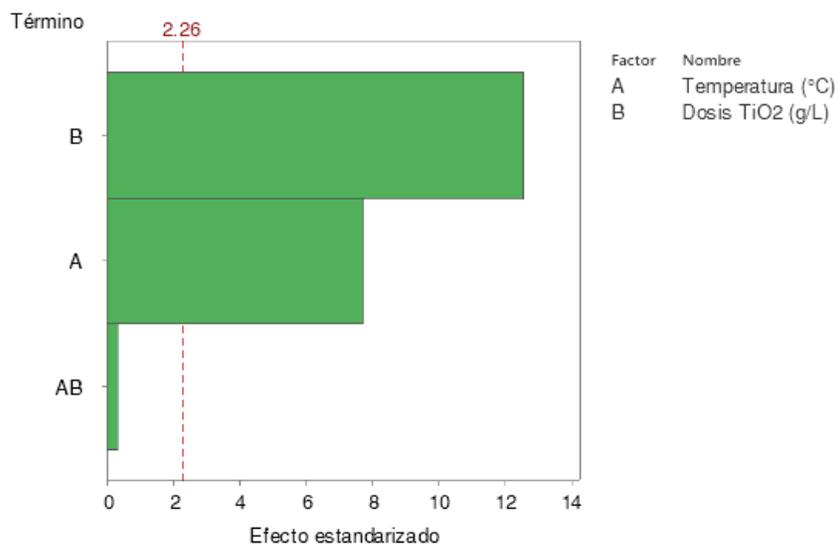
lado, la zona amarilla representa una degradación del 85 % para una dosis de TiO_2 de 0.1 g/L a 30 °C, mientras que el área celeste indica una degradación del 75 % con una dosis de TiO_2 de 0.15 g/L y 30 °C. En conclusión, para obtener la máxima degradación del colorante naranja de metilo, se recomienda trabajar a una dosis de 0.05 g/L de TiO_2 y una temperatura de 20 °C.

4.5.2. Efectos estimados para la degradación fotocatalítica del colorante MO

En la figura 20 se muestra el diagrama de Pareto.

Figura 20

Diagrama de Pareto para $\%D_{MO}$



El diagrama de Pareto (ver figura 20) confirma los resultados obtenidos en el análisis de varianza (ANOVA) (tabla 8). Se evidencia que el factor B (dosis de TiO_2) exhibe la mayor significancia, seguido por el factor A (temperatura).

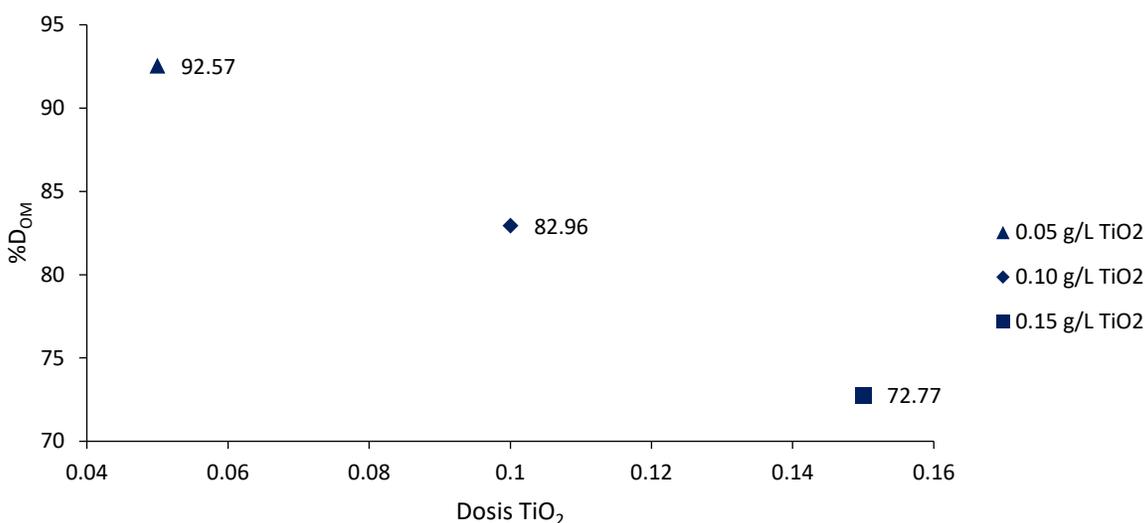
Los investigadores: Kader et al. (2022) y Kousar et al. (2022) indican que el catalizador (TiO_2) es el factor que más influye en el proceso de degradación del colorante MO. Por último, Aghel et al. (2016) afirma que la temperatura es otro factor que influye en el proceso de degradación por fotocatalisis heterogénea del colorante negro remazol B.

4.5.3. Efecto de la cantidad de catalizador en el proceso de degradación

En la figura 21 se muestran el efecto de la cantidad de catalizador (0.05 a 0.15 g/L TiO_2) en la degradación del colorante MO. La figura 21 fue elaborada a partir de la tabla 7.

Figura 21

Efecto de la cantidad de TiO_2



En la figura 21 se observan los porcentajes de degradación del colorante MO, al emplear concentraciones de 0.05 g/L, 0.10 g/L y 0.15 g/L de TiO_2 en la cual se lograron 92.57%, 82.96% y 72.77% de degradación del colorante MO, respectivamente. Estos resultados sugieren una relación entre la cantidad de TiO_2 y la eficiencia de degradación del colorante MO; la mejor tasa de degradación fotocatalítica del MO se obtuvo para una dosis de 0.05 g/L de TiO_2 .

Este mismo comportamiento observaron los investigadores: Kousar et al. (2022), estudió a las siguientes condiciones: dosis de TiO_2 250 a 550 mg/L, concentración inicial de Reactive Yellow 30 ppm y 0.8 ml de H_2O_2 . Lograron una degradación del 90.40% con TiO_2 a 450 mg/L, y 89.99% con TiO_2 a 550 mg/L. Guettaï y Amar (2005b) estudiaron a las siguientes

condiciones: fotorreactor batch de 1 L, lámpara UV 30W, concentración inicial del MO 15 ppm y dosis de TiO_2 0.4 a 1.6 g/L y lograron la mejor degradación del MO para una dosis de 0.8 g/L TiO_2 . Niu (2013) estudió el efecto de la dosis de catalizador a las siguientes condiciones: lámpara de mercurio 300 W, tiempo 40 min, volumen de la solución 100 ml, concentración MO 20 ppm y dosis 0.2 a 4 g/L de TiO_2 ; se obtuvo una degradación de 71.41 a 97.91% para 0.2 a 2 g/L de TiO_2 ; sin embargo, para 4 g/L TiO_2 el porcentaje de degradación no aumento. Bansal et al. (2010) exploró la influencia del catalizador TiO_2 en la degradación del naranja ácido 7. Utilizando un fotorreactor de 500 ml, concentración inicial de 25 ppm del colorante naranja ácida 7, lámpara UV de 120 W y 2.5 h de reacción fotocatalítica. Obtuvieron una degradación del 63.94, 69.09, 54.37 y 41.02% para 0.5, 1, 1.5 Y 2g/L de TiO_2 respectivamente.

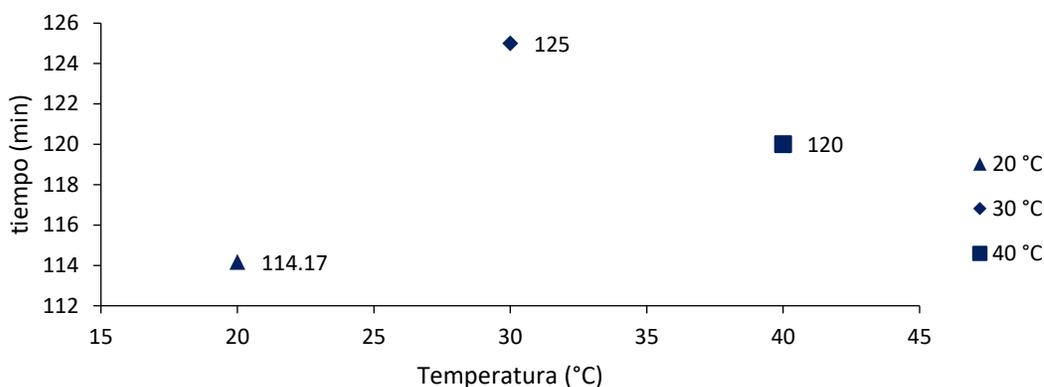
Por lo general al aumentar la cantidad de TiO_2 se va a tener más sitios reactivos, aumentar la cantidad de fotones absorbidos por el TiO_2 y se tendría una mejor tasa de degradación; pero cuando se agrega un exceso de catalizador a la solución a tratar, se tiene una pérdida de superficie del catalizador por aglomeración, también se torna turbia y opaca lo que disminuye en cierta manera la transmitancia de luz, la turbidez de la suspensión provocó que se produjera dispersión y los radicales hidroxilos no se generaron de forma eficaz. Por lo tanto, menos fotones incidentes alcanzan la superficie del fotocatalizador lo que resulta en una disminución del porcentaje de degradación, también una alta concentración de fotocatalizador puede resultar en una disminución de área superficial del catalizador debido a la aglomeración de las partículas del fotocatalizador, lo que posteriormente disminuye la degradación (Kousar et al., 2022; Mei et al., 2023; Mozia et al., 2005; Niu, 2013; Saggiaro et al., 2011).

4.5.4. Influencia de la temperatura en el proceso de degradación

La figura 22 se elaboró con los datos del apéndice III.

Figura 22

Tiempo promedio de reacción fotocatalítica hasta el equilibrio



Los datos obtenidos que se muestran en la figura 22 indican que la temperatura influye en la reacción fotocatalítica, ya que se observa una variación en los tiempos promedio de degradación del colorante MO. Los tiempos a diferentes temperaturas son (114.17 minutos a 20 °C, 125 minutos a 30 °C y 120 minutos a 40 °C), la diferencia entre estos valores es mínima, de 5 a 10 minutos. Este resultado sugiere que la mejor tasa de degradación del colorante MO se obtuvo para una temperatura de operación de 20 °C. por ende la temperatura incide significativamente en la velocidad global de la reacción fotocatalítica como se muestra en el ANOVA y el diagrama de Pareto.

Los investigadores Aghel et al. (2016) reportaron una mejor degradación del colorante negro remazol B (RB5) a baja temperatura, las condiciones experimentales fueron 100 ml de solución RB5: 150 mg/L $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$, temperatura de 15 a 65 °C, concentración inicial del RB5 50mg/L. Bajo las anteriores condiciones de operación obtuvieron la máxima eficiencia de degradación a una temperatura de 15 °C, también observaron que a medida que se incrementa la temperatura disminuye la tasa de eliminación del RB5.

4.5.5. Cálculo del modelo cinético

A continuación, se muestra el cálculo realizado para los modelos cinéticos de orden cero, orden $\frac{1}{2}$, Langmuir – Hinshelwood y segundo orden respectivamente.

En la tabla 10 se muestra el cálculo de los modelos cinéticos, para una de las pruebas experimentales del diseño factorial con las siguientes condiciones experimentales: 15 ppm de MO, 30 °C y 0.05 g/L de TiO₂.

Tabla 10

Datos calculados del modelo cinético

t (min)	C (ppm)	C ^{0.5}	ln(C ₀ /C)	1/C	C _s (ppm)	k*	k**	k _{app} ***	k****
0	15.191	3.898	0.000	0.066	15.191	0.090	0.054	0.057	0.384
30	3.105	1.762	1.588	0.322	2.751				
50	1.002	1.001	2.719	0.998	0.880				
60	0.704	0.839	3.072	1.421	0.498				
70	0.353	0.594	3.763	2.835	0.282				
80	0.136	0.369	4.713	7.333	0.159				
90	0.096	0.309	5.067	10.448	0.090				
95	0.069	0.262	5.397	14.528	0.068				
100	0.048	0.219	5.759	20.867	0.051				
105	0.036	0.190	6.046	27.798	0.038				
110	0.027	0.165	6.321	36.609	0.029				
115	0.018	0.134	6.740	55.685	0.022				
120	0.000	0.000	-	-	0.016				

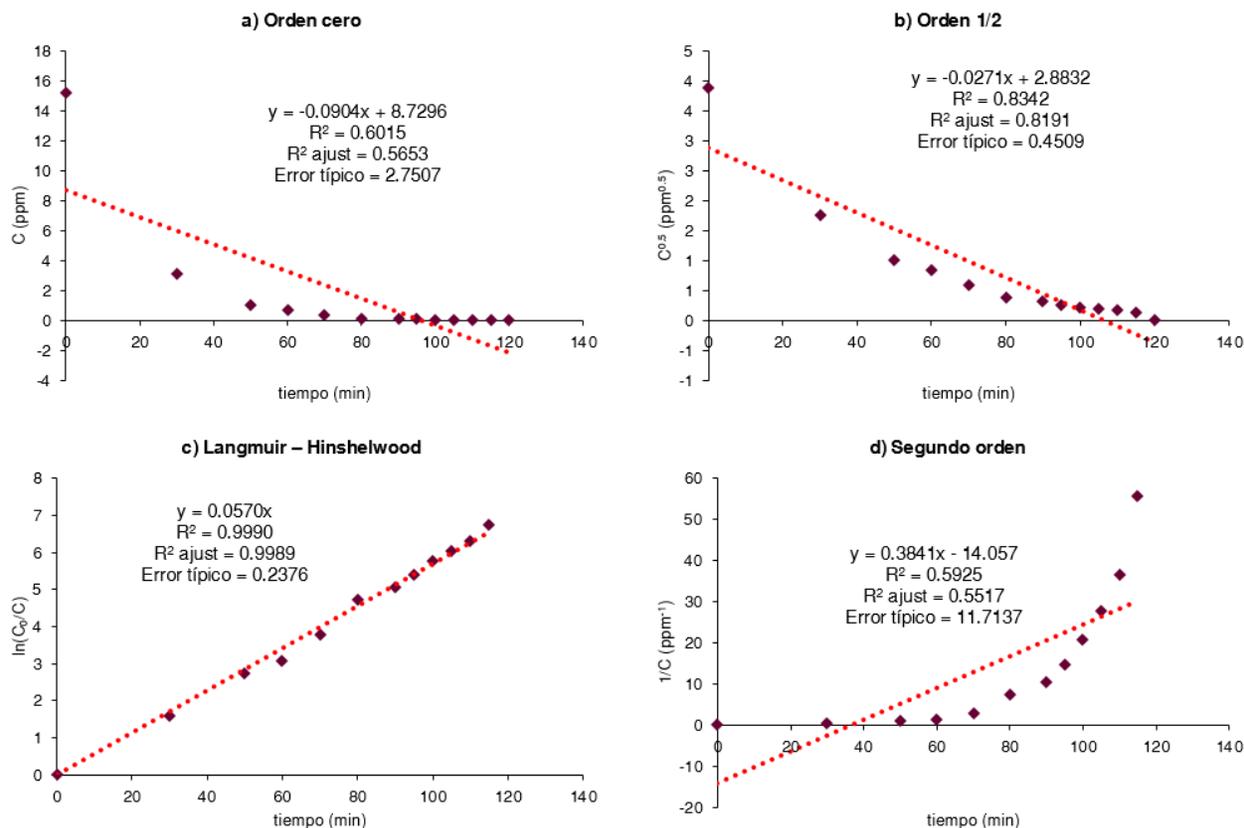
Nota. donde: modelo cinético de: *orden cero, **orden $\frac{1}{2}$, ***Langmuir – Hinshelwood ****segundo orden, C:

concentración real del MO en el tiempo, C₀: concentración inicial del MO, C_s: concentración simulada del MO en el tiempo.

En la figura 23 se muestra el ajuste a los modelos cinéticos.

Figura 23

Ajuste de los modelos cinéticos



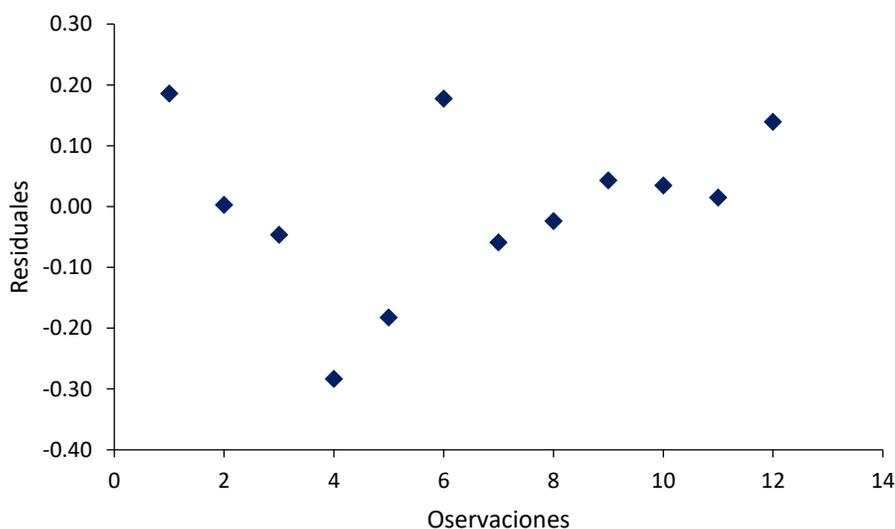
En esta investigación se obtuvo una constante de velocidad de reacción igual a $k = 0.0904 \text{ ppm} \times \text{min}^{-1}$ para orden cero, $k = 0.054 \text{ ppm}^{0.5} \times \text{min}^{-1}$ para orden $\frac{1}{2}$, $k_{app} = 0.0570 \text{ min}^{-1}$ para Langmuir – Hinshelwood y $k = 0.3841 \text{ ppm}^{-1} \times \text{min}^{-1}$ para segundo orden. De los cuatro modelos ajustados, el modelo cinético de Langmuir-Hinshelwood de pseudo primer orden se ajusta mejor a los datos experimentales del proceso de degradación del MO. Esto se evidencia por su alto coeficiente de determinación de 0.9990, lo que sugiere que el modelo explica casi la totalidad (99.90%) de la variabilidad observada en los datos. Además, el valor del R^2 ajustado de 0.9989 respalda la solidez del modelo al considerar el número de variables independientes en relación con la variabilidad explicada. En cuanto al error típico de 0.2376, su bajo valor

indica que las predicciones del modelo están cercanas, en promedio, a 0.2376 unidades de la variable respuesta respecto al valor verdadero. Estos resultados subrayan la confiabilidad del modelo cinético de Langmuir-Hinshelwood para representar con precisión el proceso de degradación del colorante MO y su capacidad para generar predicciones confiables.

En la figura 24 se presentan los residuales correspondientes al modelo Langmuir-Hinshelwood. En esta representación, los residuales aparecen como datos aleatorios, sin presentar ningún patrón discernible.

Figura 24

Residuales modelo cinético Langmuir-Hinshelwood



Los investigadores (Kgatle et al., 2021; Khalifa et al., 2023; Zavahir et al., 2023) también determinaron que el proceso de degradación fotocatalítica del colorante MO sigue el modelo cinético de Langmuir – Hinshelwood de pseudo primer orden. Además, Yu et al. (2021) reportan una constante de velocidad de reacción igual al obtenido en esta investigación de 0.05 min^{-1} , las condiciones experimentales fueron 10 ppm MO, lampara de 200 W y con una proporción molar de 1:0.6 de $\text{BaTiO}_3/\text{CuO}$. Por último, Zhong (2013) también reportan una constante de velocidad de reacción de 0.05 min^{-1} con las siguientes condiciones de trabajo 10

mg/L de naranja de metilo, catalizador ácido fosfotungstico ($H_3PW_{12}O_{40}$) 0.6 g/L y lámpara de 30 W. Rashed et al. (2007) obtuvieron una constan de velocidad de 0.06 min^{-1} y las condiciones experimentales fueron 10^{-5} M del colorante MO, lámpara de halógeno de 1000 W, y 50 mg/L de TiO_2 .

4.5.6. Influencia del H_2O_2 en el proceso de degradación

Se planteó la prueba t de Student para determinar si hay diferencia significativa entre los resultados obtenidos con y sin adición de H_2O_2 .

Hipótesis:

H_0 : las medias de los dos grupos son iguales ($H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$).

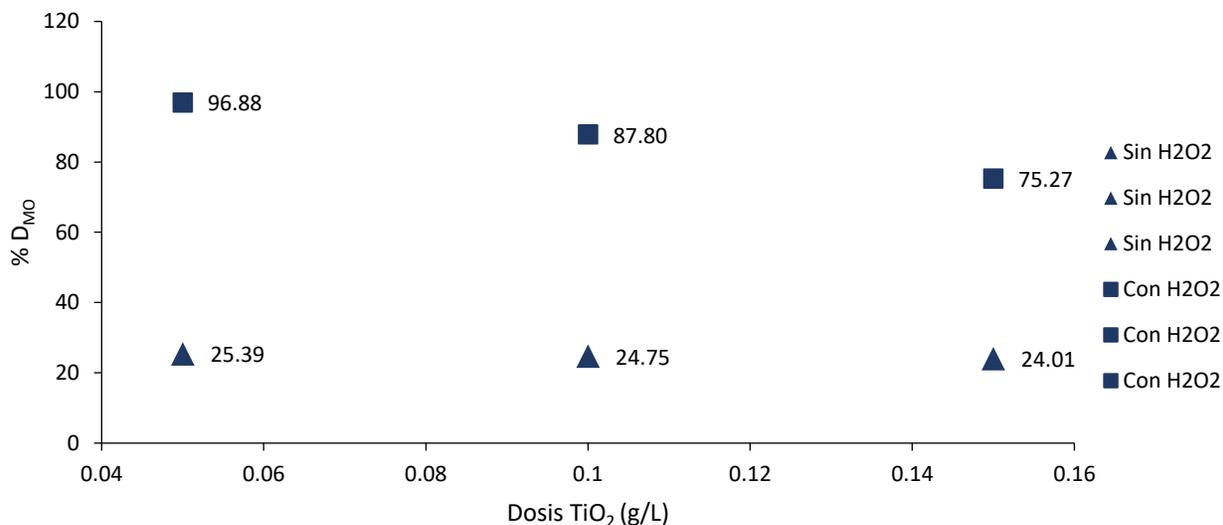
H_a : las medias de los dos grupos son diferentes ($H_a: \mu_1 \neq \mu_2 = 0$).

Decisión:

1. Si el valor-p es menor o igual que el nivel de significancia (0.05), se rechaza la H_0 y se acepta la H_a .
2. Si el valor-p es mayor que el nivel de significancia (0.05), se acepta la H_0 y se rechaza la H_a .

Para determinar si hay diferencia significativa entre los dos grupos de datos experimentales de sin H_2O_2 y con H_2O_2 se usó la prueba t de Student. En la cual se obtuvo un valor-p de 0.010, por ende, se rechaza la hipótesis nula (H_0).

La figura 25 muestra la influencia del peróxido de hidrogeno (240 ppm H_2O_2) en el proceso fotocatalítico del colorante MO a 60 min de reacción.

Figura 25*Efecto del H₂O₂*

En la figura 25 se observa una influencia positiva del peróxido de hidrogeno en la reacción fotocatalítica. En las pruebas experimentales sin H₂O₂ y TiO₂ de 0.05, 0.1 y 0.15 g/L se obtuvo 25.39%, 24.75% y 24.01% de degradación del colorante MO y para las pruebas experimentales con H₂O₂ y TiO₂ de 0.05, 0.1 y 0.15 g/L se obtuvo 96.88%, 87.80% y 75.27% de degradación del colorante MO; es crucial destacar que al agregar H₂O₂ junto con diferentes dosis de TiO₂, se logró un incremento del 71.49% para 0.05 g/L de TiO₂, un 63.05% para 0.1 g/L de TiO₂ y un 51.26% para 0.15 g/L de TiO₂. Estos resultados destacan la clara influencia de la combinación de H₂O₂ y la dosis específica de TiO₂ en el proceso de degradación fotocatalítica del colorante MO. Los investigadores Razali et al. (2009) obtuvieron más del 60% de degradación sin H₂O₂ y con H₂O₂ más del 90% de degradación para los 120 min de reacción. De igual manera Aziztyana et al. (2019) obtuvieron una mejor degradación del MO cuando añadieron al 12% H₂O₂. Obtuvieron 34.72% de degradación MO sin H₂O₂ y 74.72% de degradación con 1 ml de H₂O₂ en 40 min de reacción fotocatalítica. También Haji et al. (2011) aseveran que la presencia de H₂O₂ en soluciones de MO aceleró considerablemente el proceso de degradación del colorante MO. Por ejemplo, lograron una degradación completa en 3 min

cuando se añadieron 0.1 ml de H_2O_2 a 20 ml de solución de colorante MO 0.078 mM en comparación en ausencia de H_2O_2 solo obtuvieron una degradación del 26% en 4 h de reacción.

Conclusiones

1. La degradación del colorante naranja de metilo por fotocátalisis heterogénea ha demostrado ser altamente eficiente, utilizando TiO_2 como agente catalítico y H_2O_2 como agente oxidante.
2. El efecto de la cantidad de catalizador en el proceso de degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo es significativo. Para una dosis de 0.15 g/L, 0.10 g/L y 0.05 g/L de TiO_2 se lograron 72.77%, 82.96% y 92.57% de degradación del colorante MO, respectivamente.
3. La influencia de la temperatura en el proceso de degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo es significativo. Pero en la reacción global de degradación del MO no tiene mucha relevancia ya que para 20, 30 y 40 °C la degradación completa del MO se dio en 114.17 min, 125 min y 120 min.
4. El modelo cinético que se ajusta a los datos experimentales del proceso de degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo es el modelo cinético de Langmuir – Hinshelwood de pseudo primer orden.
5. La influencia del peróxido de hidrogeno en el proceso de degradación fotocatalítica del colorante naranja de metilo es positivo ya que al usar H_2O_2 se obtuvo un incremento en la degradación del MO del 51.26% para 0.15 g/L de TiO_2 , 63.05% para 0.1 g/L de TiO_2 y 71.49% para 0.05 g/L de TiO_2 con una concentración de 15 ppm de MO.

Recomendaciones

1. Evaluar el proceso de degradación del colorante MO a altas concentraciones.
2. Utilizar nanopartículas de dióxido de titanio dopados con metales preciosos (platino (Pt), paladio (Pd), oro (Au), y rodio (Rh)).
3. Explorar la eficacia de diferentes catalizadores para el proceso de fotocátalisis heterogénea para la degradación del MO.
4. Evaluar la eficacia de la fotólisis para degradar MO, optimizando la cantidad del agente oxidante (H_2O_2).
5. Evaluar la degradación del MO mediante fotocátalisis heterogénea con TiO_2 inmovilizado en una matriz.
6. Evaluar la degradación de un efluente real (azoicos) mediante fotocátalisis heterogénea.

Referencias bibliográficas

- Aghel, S., Bahramifar, N., & Younesi, H. (2016). Kinetics of photocatalytic degradation of reactive black B using core-shell TiO₂-coated magnetic nanoparticle, Fe₃O₄@SiO₂@TiO₂. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 3(2), 253–259. https://arww.razi.ac.ir/article_763.html
- Aguilar, C. E., & Seminario, C. R. D. L. M. (2019). Influencia de la estructura del colorante anaranjado de metilo en la intensificación de su color en presencia del quebracho [Universidad Nacional de Trujillo]. In *Universidad Nacional de Trujillo*. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13147>
- Alaguprathana, M., Poonkothai, M., Ameen, F., Ahmad Bhat, S., Mythili, R., & Sudhakar, C. (2022). Sodium hydroxide pre-treated *Aspergillus flavus* biomass for the removal of reactive black 5 and its toxicity evaluation. *Environmental Research*, 214, 113859. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113859>
- Ameta, R., Solanki, M. S., Benjamin, S., & Ameta, S. C. (2018). Photocatalysis. *Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Emerging Green Chemical Technology*, 135–175. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810499-6.00006-1>
- Arias, J. L. (2020). *Proyecto de tesis Guía para la elaboración* (Primera edición). Biblioteca Nacional del Perú.
- Aribam, B., Konthoujam, B., Singh, P., & Thokchom, B. (2022). Municipal water treatment with special emphasis on biosorption and nanoparticles. In *Environmental Sustainability and Industries: Technologies for Solid Waste, Wastewater, and Air Treatment* (pp. 55–83). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90034-8.00003-8>

- Arun, J., Nachiappan, S., Rangarajan, G., Alagappan, R. P., Gopinath, K. P., & Lichtfouse, E. (2022). Synthesis and application of titanium dioxide photocatalysis for energy, decontamination and viral disinfection: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(1), 339–362. <https://doi.org/10.1007/S10311-022-01503-Z>
- Ashcroft, N. W., & Mermin, N. D. (1976). *Solid State Physics* (1st Edición). Cengage Learning.
- Aziztyana, A. P., Wardhani, S., Prananto, Y. P., Purwonugroho, D., & Darjito. (2019). Optimisation of Methyl Orange Photodegradation Using TiO₂-Zeolite Photocatalyst and H₂O₂ in Acid Condition. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 546(4), 042047. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/4/042047>
- Bansal, P., Singh, D., & Sud, D. (2010). Photocatalytic degradation of azo dye in aqueous TiO₂ suspension: Reaction pathway and identification of intermediates products by LC/MS. *Separation and Purification Technology*, 72(3), 357–365. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.03.005>
- Belayachi, H., Bestani, B., Benderdouche, N., & Belhakem, M. (2019). The use of TiO₂ immobilized into grape marc-based activated carbon for RB-5 Azo dye photocatalytic degradation. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 3018–3027. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.06.040>
- Bendjama, M., Hamdaoui, O., Ferkous, H., & Alghyamah, A. (2022). Degradation of Safranin O in Water by UV/TiO₂/IO₄⁻ Process: Effect of Operating Conditions and Mineralization. *Catalysts*, 12(11), 1460. <https://doi.org/10.3390/catal12111460>
- Bento, R. T., & Pillis, M. F. (2018). Titanium Dioxide Films for Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Dye. In *Titanium Dioxide - Material for a Sustainable Environment* (pp. 211–225). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75528>

- Calle Pérez, D., & Arias Yepes, M. (2012). Evaluación del TiO₂ soportado en vidrio pyrex para degradación fotocatalítica [Universidad Tecnológica de Pereira]. In *Scientia et Technica* (Vol. 18, Issue 3). <https://doi.org/10.22517/23447214.8685>
- Chen, Y. W., & Hsu, Y. H. (2021). Effects of Reaction Temperature on the Photocatalytic Activity of TiO₂ with Pd and Cu Cocatalysts. *Catalysts*, *11*(8), 966. <https://doi.org/10.3390/catal11080966>
- Cheng, Y., Cao, T., Xiao, Z., Zhu, H., & Yu, M. (2022). Photocatalytic Treatment of Methyl Orange Dye Wastewater by Porous Floating Ceramsite Loaded with Cuprous Oxide. *Coatings*, *12*(2), 286. <https://doi.org/10.3390/coatings12020286>
- Choi, H., Al-Abed, S. R., Dionysiou, D. D., Stathatos, E., & Lianos, P. (2010). TiO₂-Based Advanced Oxidation Nanotechnologies for Water Purification and Reuse. In *Sustainability Science and Engineering* (Vol. 2, Issue C, pp. 229–254). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1871-2711\(09\)00208-6](https://doi.org/10.1016/S1871-2711(09)00208-6)
- Chong, M. N., Cho, Y. J., Poh, P. E., & Jin, B. (2015). Evaluation of Titanium dioxide photocatalytic technology for the treatment of reactive Black 5 dye in synthetic and real greywater effluents. *Journal of Cleaner Production*, *89*, 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.014>
- Churata, L. M. (2017). Degradación del colorante azoico textil naranja II por el método de Fotocatálisis Heterogénea [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. In *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5785>
- Copete, L. S., Pérez, M. S., Castrillón, M., Londoño, G. A. C., García, G. T., & Martínez, A. L. M. (2018). Decolorization of Reactive Black 5 Dye by Heterogeneous Photocatalysis with

TiO₂/UV. *Revista Colombiana de Química*, 47(2), 36–44.

<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n2.67922>

Derco, J., Gotvajn, A. Ž., Čižmárová, O., Dudáš, J., Sumegová, L., & Šimovičová, K. (2021).

Removal of Micropollutants by Ozone-Based Processes. *Processes*, 9(6), 1013.

<https://doi.org/10.3390/pr9061013>

Deza, E. (2017). Estudio de catalizadores basados en nanopartículas de TiO₂ para la degradación fotocatalítica del colorante cibacrón navy H-2G presente en efluentes textiles [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. In *Repositorio de Tesis - UNMSM*.

<https://hdl.handle.net/20.500.12672/6801>

Díaz-Sánchez, M., Hernández-Benítez, I., Díaz-García, D., Prashar, S., & Gómez-Ruiz, S.

(2022). Nanohybrids based on F-doped titanium dioxides and carbon species with enhanced dual adsorption-photodegradation activity for water decontamination. *Catalysis Communications*, 169, 106477. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2022.106477>

Divya, G., Jaishree, G., Siva Rao, T., Chippada, M. L. V. P., Lakshmi, K. V. D., & Supriya, S. S.

(2022). Improved catalytic efficiency by N-doped TiO₂ via sol gel under microwave irradiation: Dual applications in degradation of dye and microbes. *Hybrid Advances*, 1, 100010. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2022.100010>

Eddy, D. R., Permana, M. D., Sakti, L. K., Sheha, G. A. N., Solihudin, G. A. N., Hidayat, S., Takei, T., Kumada, N., & Rahayu, I. (2023). Heterophase Polymorph of TiO₂ (Anatase, Rutile, Brookite, TiO₂ (B)) for Efficient Photocatalyst: Fabrication and Activity.

Nanomaterials, 13(4), 704. <https://doi.org/10.3390/nano13040704>

el Amri, A., Kadiri, L., Hsissou, R., Lebkiri, A., Wardighi, Z., Rifi, E. H., & Lebkiri, A. (2022).

Investigation of Typha Latifolia (TL) as potential biosorbent for removal of the methyl

orange anionic dye in the aqueous solution. Kinetic and DFT approaches. *Journal of Molecular Structure*, 1272, 134098. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.134098>

Erdocia, X., Hernández-Ramos, F., Morales, A., & Labidi, J. (2022). Lignin depolymerization for monomers production by sustainable processes. In *Micro and Nanolignin in Aqueous Dispersions and Polymers: Interactions, Properties, and Applications* (pp. 65–110). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823702-1.00005-0>

Eshraghian, A., Yu, L., Achari, G., & Sundararaj, U. (2022). Development of an effective asphaltene-derived adsorbent for wastewater treatment: Characterization and methyl orange removal study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 109221. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.109221>

Fogler, H. S. (2022). *Elements of Chemical Reaction Engineering* (Sixth Edition). Pearson.

Fujishima, A., Rao, T. N., & Tryk, D. A. (2000). Titanium dioxide photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 1(1), 1–21. [https://doi.org/10.1016/S1389-5567\(00\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S1389-5567(00)00002-2)

Gao, R. J., Ding, T., & Duan, X. J. (2016). Kinetics Study on Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Catalyzed by Sea Urchin-Like Cu₂O. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 4(6), 35–40. <https://doi.org/10.4236/msce.2016.46005>

Guettaï, N., & Amar, H. (2005a). Photocatalytic oxidation of methyl orange in presence of titanium dioxide in aqueous suspension. Part II: kinetics study. In *Desalination* (Vol. 185, Issues 1–3, pp. 439–448). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.049>

Guettaï, N., & Amar, H. A. (2005b). Photocatalytic oxidation of methyl orange in presence of titanium dioxide in aqueous suspension. Part I: Parametric study. *Desalination*, 185(1–3), 427–437. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.048>

- Haji, S., Benstaali, B., & Al-Bastaki, N. (2011). Degradation of methyl orange by UV/H₂O₂ advanced oxidation process. *Chemical Engineering Journal*, 168(1), 134–139.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.12.050>
- Hegazey, R. M., Abdelrahman, E. A., Kotp, Y. H., Hameed, A. M., & Subaihi, A. (2020). Facile fabrication of hematite nanoparticles from Egyptian insecticide cans for efficient photocatalytic degradation of rhodamine B dye. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2), 1652–1661. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.090>
- Hernández, J. M., García, L. A., García, R., Cueto, A., & Carmona, J. A. (2012). Estudio cinético de la fotodegradación del naranja de metilo en presencia de TiO₂: Efecto de la fuente de radiación U.V., concentración del azo-colorante y del catalizador. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 3(2), 25–34. <https://www.researchgate.net/publication/277271463>
- Idris, N. H. M., Cheong, K. Y., Kennedy, B. J., Ohno, T., & Lee, H. L. (2022). Buoyant titanium dioxide (TiO₂) as high performance photocatalyst and peroxide activator: A critical review on fabrication, mechanism and application. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107549. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107549>
- Imran, M., Shaharoon, B., Crowley, D. E., Khalid, A., Hussain, S., & Arshad, M. (2015). The stability of textile azo dyes in soil and their impact on microbial phospholipid fatty acid profiles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 120, 163–168.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.06.004>
- Jasim, N. A., Ebrahim, S. E., & Ammar, S. H. (2023). Photocatalytic degradation of Rhodamine B using CoxZn1-xFe2O4 nanocomposite under visible light irradiation: Synthesis, characterization and its application. *Alexandria Engineering Journal*, 82, 557–576.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.09.081>

- Kader, S., Al-Mamun, M. R., Suhan, M. B. K., Shuchi, S. B., & Islam, M. S. (2022). Enhanced photodegradation of methyl orange dye under UV irradiation using MoO₃ and Ag doped TiO₂ photocatalysts. In *Environmental Technology & Innovation* (Vol. 27, p. 102476). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102476>
- Kanafin, Y. N., & Collinson, S. R. (2022). *Advanced Technologies in Water Treatment*. 24–35. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95846-0_161
- Karim, A. v., Krishnan, S., & Shriwastav, A. (2022). An overview of heterogeneous photocatalysis for the degradation of organic compounds: A special emphasis on photocorrosion and reusability. *Journal of the Indian Chemical Society*, 99(6), 100480. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100480>
- Karuppaiah, S., Sermugapandian, N., Mohan, S., & Krishna, M. (2023). Application of UV-Visible Spectrophotometric Colour Analysis in Different Natural Product Identification. In *Advances in Colorimetry*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112636>
- Kaur, J., Mudgal, G., Negi, A., Tamang, J., Singh, S., Singh, G. B., Bose K, J. C., Debnath, S., Wadaan, M. A., Farooq Khan, M., Ruokolainen, J., & Kesari, K. K. (2023). Reactive Black-5, Congo Red and Methyl Orange: Chemical Degradation of Azo-Dyes by Agrobacterium. *Water*, 15(9), 1664. <https://doi.org/10.3390/W15091664/S1>
- Kaur, M., & Singh, K. (2019). Review on titanium and titanium based alloys as biomaterials for orthopaedic applications. *Materials Science and Engineering: C*, 102, 844–862. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.04.064>
- Kgatle, M., Sikhwivhilu, K., Ndlovu, G., & Moloto, N. (2021). Degradation Kinetics of Methyl Orange Dye in Water Using Trimetallic Fe/Cu/Ag Nanoparticles. *Catalysts*, 11(4), 428. <https://doi.org/10.3390/catal11040428>

- Khalifa, Z. S., Shaban, M., & Ahmed, I. A. (2023). Photocatalytic Degradation of Methyl Orange and Methylene Blue Dyes by Engineering the Surface Nano-Textures of TiO₂ Thin Films Deposited at Different Temperatures via MOCVD. *Molecules*, 28(3), 1160.
<https://doi.org/10.3390/molecules28031160>
- Kirkland, D., Aardema, M. J., Battersby, R. v., Beevers, C., Burnett, K., Burzlaff, A., Czich, A., Donner, E. M., Fowler, P., Johnston, H. J., Krug, H. F., Pfuhler, S., & Stankowski, L. F. (2022). A weight of evidence review of the genotoxicity of titanium dioxide (TiO₂). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 136, 105263.
<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2022.105263>
- Kousar, T., Bokhari, T. H., Altaf, A., Haq, A. U., Muneer, M., Farhat, L. Ben, Alwadai, N., Alfryyan, N., Jilani, M. I., Iqbal, M., Khan, M. I., & Khosa, M. K. (2022). SnO₂/UV/H₂O₂ and TiO₂/UV/H₂O₂ Efficiency for the Degradation of Reactive Yellow 160A: By-Product Distribution, Cytotoxicity and Mutagenicity Evaluation. *Catalysts*, 12(5), 553.
<https://doi.org/10.3390/CATAL12050553>
- Krystynik, P. (2021). Advanced Oxidation Processes (AOPs) – Utilization of Hydroxyl Radical and Singlet Oxygen. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98189>
- Lee, J. M., Kim, M. S., Hwang, B., Bae, W., & Kim, B. W. (2003). Photodegradation of acid red 114 dissolved using a photo-Fenton process with TiO₂. In *Dyes and Pigments* (Vol. 56, Issue 1, pp. 59–67). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0143-7208\(02\)00112-2](https://doi.org/10.1016/S0143-7208(02)00112-2)
- Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering* (Third Edition). John Wiley & Sons.
- Li, X., Chen, Y., Tao, Y., Shen, L., Xu, Z., Bian, Z., & Li, H. (2022). Challenges of photocatalysis and their coping strategies. *Chem Catalysis*, 2(6), 1315–1345.
<https://doi.org/10.1016/j.checat.2022.04.007>

- Li, X., Yu, J., & Jiang, C. (2020). Principle and surface science of photocatalysis. In *Interface Science and Technology* (Vol. 31, pp. 1–38). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102890-2.00001-4>
- Long, Z., Li, Q., Wei, T., Zhang, G., & Ren, Z. (2020). Historical development and prospects of photocatalysts for pollutant removal in water. *Journal of Hazardous Materials*, 395, 122599. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122599>
- Low, I.-M., Albetran, H. M., de la Prida Pidal, V. M., & Yam, F. K. (2021). *Nanostructured titanium dioxide in photocatalysis*. Jenny Stanford Publishing.
- Lu, N., Cai, J., Niu, B., Zhou, Y., & Zhao, G. (2023). Preferential Removal of Phthalic Esters by Photocatalysis on Selective TiO₂. *Chemical Engineering Journal*, 141735. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.141735>
- Madhushika, H. G., Ariyadasa, T. U., & Gunawardena, S. H. P. (2019). Decolourization and Degradation of Reactive Textile Dyes by Isolated Strain *Proteus mirabilis*. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 16(4), 1–6. <https://doi.org/10.3233/AJW190042>
- Mansor, E. S., El Shall, F. N., & Radwan, E. K. (2023). Simultaneous decolorization of anionic and cationic dyes by 3D metal-free easily separable visible light active photocatalyst. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(4), 10775. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22838-8>
- Martínez-Rico, Ó., Blanco, L., Domínguez, Á., & González, B. (2023). Removal of Azo Dyes Orange II and Reactive Black 5 from Aqueous Solutions by Adsorption on Chitosan Beads Modified with Choline Chloride: Urea Deep Eutectic Solvent and FeO. *Separations*, 10(8), 426. <https://doi.org/10.3390/separations10080426>

Mei, J., Gao, X., Zou, J., & Pang, F. (2023). Research on Photocatalytic Wastewater Treatment Reactors: Design, Optimization, and Evaluation Criteria. *Catalysts*, 13(6), 974.

<https://doi.org/10.3390/catal13060974>

Mohammed, N. A., Alwared, A. I., & Salman, M. S. (2020). Photocatalytic Degradation of Reactive Yellow Dye in Wastewater using H₂O₂/TiO₂/UV Technique. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 21(1), 15–21.

<https://doi.org/10.31699/IJCPE.2020.1.3>

Monteiro, F. C., Guimaraes, I. D. L., de Almeida Rodrigues, P., da Anunciação de Pinho, J. V., & Conte-Junior, C. A. (2023). Degradation of PAHs using TiO₂ as a semiconductor in the heterogeneous photocatalysis process: A systematic review. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 437, 114497.

<https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.114497>

Montgomery, D. C. (2020). *Design and analysis of Experiments* (Tenth Edition). John Wiley & Sons, Inc.

Mozia, S., Tomaszewska, M., & Morawski, A. W. (2005). Photocatalytic degradation of azo-dye Acid Red 18. *Desalination*, 185(1–3), 449–456. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.050>

Muruganandham, M., Sobana, N., & Swaminathan, M. (2006). Solar assisted photocatalytic and photochemical degradation of Reactive Black 5. *Journal of Hazardous Materials*, 137(3), 1371–1376. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.03.030>

Nakata, K., & Fujishima, A. (2012). TiO₂ photocatalysis: Design and applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 13(3), 169–189.

<https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2012.06.001>

- Navidpour, A. H., Abbasi, S., Li, D., Mojiri, A., & Zhou, J. L. (2023). Investigation of Advanced Oxidation Process in the Presence of TiO₂ Semiconductor as Photocatalyst: Property, Principle, Kinetic Analysis, and Photocatalytic Activity. *Catalysts*, *13*(2), 232. <https://doi.org/10.3390/catal13020232>
- Neamtu, M., Siminiceanu, I., Yediler, A., & Kettrup, A. (2002). Kinetics of decolorization and mineralization of reactive azo dyes in aqueous solution by the UV/H₂O₂ oxidation. *Dyes and Pigments*, *53*(2), 93–99. [https://doi.org/10.1016/S0143-7208\(02\)00012-8](https://doi.org/10.1016/S0143-7208(02)00012-8)
- Niu, P. (2013). Photocatalytic degradation of methyl orange in aqueous TiO₂ suspensions. *Asian Journal of Chemistry*, *25*(2), 1103–1106. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2013.13539>
- O'Neill, C., Hawkes, F. R., Hawkes, D. L., Lourenço, N. D., Pinheiro, H. M., & Delée, W. (1999). Colour in textile effluents – sources, measurement, discharge consents and simulation: a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, *74*, 1009–1018. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199911\)74:11%3C1009::AID-JCTB153%3E3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199911)74:11%3C1009::AID-JCTB153%3E3.0.CO;2-N)
- Ono, Y., & Iwahashi, H. (2022). Titanium dioxide nanoparticles impart protection from ultraviolet irradiation to fermenting yeast cells. *Biochemistry and Biophysics Reports*, *30*, 101221. <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2022.101221>
- Oyetade, J. A., Machunda, R. L., & Hilonga, A. (2022). Photocatalytic degradation of azo dyes in textile wastewater by Polyaniline composite catalyst-a review. *Scientific African*, *17*, e01305. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01305>
- Ozin, G. (2022). Accelerated optochemical engineering solutions to CO₂ photocatalysis for a sustainable future. *Matter*, *5*(9), 2594–2614. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2022.07.033>

- Pal, P. (2017). Industry-Specific Water Treatment: Case Studies. In *Industrial Water Treatment Process Technology* (pp. 243–511). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810391-3.00006-0>
- Pei, S., & Zhao, J. (2016). A scalable approach support for external Milk-run planning and optimization in home appliances enterprises. *ACM International Conference Proceeding Series*, 67–70. <https://doi.org/10.1145/3012258.3012277>
- Pelayo Torices, D. (2018). *Procesos de Oxidación Avanzada: Avances Recientes y Tendencias Futuras* [Universidad de Cantabria].
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14217/409513.pdf?sequence=1>
- Phugare, S. S., Kalyani, D. C., Surwase, S. N., & Jadhav, J. P. (2011). Ecofriendly degradation, decolorization and detoxification of textile effluent by a developed bacterial consortium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(5), 1288–1296.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.03.003>
- Przystas, W., Zablocka-Godlewska, E., & Grabinska-Sota, E. (2012). Biological removal of azo and triphenylmethane dyes and toxicity of process by-products. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(4), 1581–1592. <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0966-7>
- Puentes, J., Florido, A., Cardona, J., Bohorquez, P., Campos, C., Gutiérrez, V., & Pedroza, A. (2012). Simultaneous decolorization and detoxification of black reactive 5 using TiO₂ deposited over borosilicate glass. *Universitas Scientiarum*, 17(1), 53–63.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-74832012000100006&lng=e&nrm=iso&tlng=en
- Rashed, M. N., & El-Amin, A. A. (2007). Photocatalytic degradation of methyl orange in aqueous TiO₂ under different solar irradiation sources. *International Journal of the Physical Sciences*, 2(3), 73–81. <http://www.academicjournals.org/IJPS>

- Razali, M. H., Dris, M. R. M., & Rudin, N. N. M. (2009). Photodegradation of methyl orange dye using titanium dioxide photocatalyst. *Journal of Sustainability Science and Management*, 4(1), 49–55.
https://www.researchgate.net/publication/287022644_Photodegradation_of_methyl_orange_dye_using_titanium_dioxide_photocatalyst
- Riaz, N., Hassan, M., Siddique, M., Mahmood, Q., Farooq, U., Sarwar, R., & Khan, M. S. (2020). Photocatalytic degradation and kinetic modeling of azo dye using bimetallic photocatalysts: effect of synthesis and operational parameters. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(3), 2992–3006. <https://doi.org/10.1007/S11356-019-06727-1>
- Saggiaro, E. M., Oliveira, A. S., Pavesi, T., Maia, C. G., Ferreira, L. F. V., & Moreira, J. C. (2011). Use of Titanium Dioxide Photocatalysis on the Remediation of Model Textile Wastewaters Containing Azo Dyes. *Molecules*, 16(12), 10370.
<https://doi.org/10.3390%2Fmolecules161210370>
- Sánchez, S., & Plazas, J. (2022). *Remoción de Naranja de Metilo disuelto por medio de fotocátalisis con nanopartículas de TiO₂ y radiación solar* [Universidad de los Andes].
<https://acortar.link/ee5QOS>
- Saravanan, A., Deivayanai, V. C., Kumar, P. S., Rangasamy, G., Hemavathy, R. v., Harshana, T., Gayathri, N., & Alagumalai, K. (2022). A detailed review on advanced oxidation process in treatment of wastewater: Mechanism, challenges and future outlook. *Chemosphere*, 308, 136524. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136524>
- Saroyan, H., Kyzas, G. Z., & Deliyanni, E. A. (2019). Effective Dye Degradation by Graphene Oxide Supported Manganese Oxide. *Processes*, 7(1), 40.
<https://doi.org/10.3390/pr7010040>

- Scarpelli, F., Mastropietro, T. F., Poerio, T., & Godbert, N. (2018). Mesoporous TiO₂ Thin Films: State of the Art. *IntechOpen*, 57–80. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74244>
- Secundino-Sánchez, O., Díaz-Reyes, J., Sánchez-Ramírez, J. F., Arias-Cerón, J. S., Galván-Arellano, M., & Vázquez-Cuchillo, O. (2022). Controlled synthesis of electrospun TiO₂ nanofibers and their photocatalytic application in the decolouration of Remazol Black B azo dye. *Catalysis Today*, 392–393, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2021.10.003>
- Serejo, M. L., Morgado, M. F., García, D., González-Sánchez, A., Méndez-Acosta, H. O., & Toledo-Cervantes, A. (2020). Environmental Resilience by Microalgae. In *Microalgae Cultivation for Biofuels Production* (pp. 293–315). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817536-1.00019-9>
- Sigma-Aldrich. (2022). *Titanio(IV) óxido SDS*. www.sigmaaldrich.com
- Singh, L., & Singh, V. P. (2015). Textile Dyes Degradation: A Microbial Approach for Biodegradation of Pollutants. In *Microbial Degradation of Synthetic Dyes in Wastewaters* (pp. 187–204). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10942-8_9
- Soutsas, K., Karayannis, V., Poullos, I., Riga, A., Ntampeglitis, K., Spiliotis, X., & Papapolymerou, G. (2010). Decolorization and degradation of reactive azo dyes via heterogeneous photocatalytic processes. *Desalination*, 250(1), 345–350. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.054>
- Srinivasan, S., & Sadasivam, S. K. (2021). Biodegradation of textile azo dyes by textile effluent non-adapted and adapted *Aeromonas hydrophila*. *Environmental Research*, 194, 110643. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110643>

- Sun, J., Qiao, L., Sun, S., & Wang, G. (2008). Photocatalytic degradation of Orange G on nitrogen-doped TiO₂ catalysts under visible light and sunlight irradiation. *Journal of Hazardous Materials*, 155(1–2), 312–319. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.062>
- Torres, C. Y. (2013). *Fotocatálisis en Nanotubos Metaestables de TiO₂ sobre Electrodo de Ti para la Degradación de Naranja de Metilo* [Centro De Investigación y Desarrollo Tecnológico En Electroquímica, S.C.]. <https://acortar.link/JydkTA>
- Vaiano, V., & De Marco, I. (2023). Removal of Azo Dyes from Wastewater through Heterogeneous Photocatalysis and Supercritical Water Oxidation. *Separations*, 10(4), 230. <https://doi.org/10.3390/separations10040230>
- Valencia, H. A., Reinoso, P. A., & Arias, V. (2012). Degradación de resorcinol por fotocátalisis heterogénea usando TiO₂ y H₂O₂. *Scientia et Technica*, 2(50), 192–196. <https://doi.org/10.22517/23447214.1725>
- Valizadeh, K., Bateni, A., Sojoodi, N., Ataabadi, M. R., Behroozzi, A. H., Maleki, A., & You, Z. (2022). Magnetized inulin by Fe₃O₄ as a bio-nano adsorbent for treating water contaminated with methyl orange and crystal violet dyes. *Scientific Reports*, 12(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26652-7>
- Wei, T. Y., & Wan, C. C. (1991). Heterogeneous Photocatalytic Oxidation of Phenol with Titanium Dioxide Powders. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 30(6), 1293–1300. <https://doi.org/10.1021/ie00054a033>
- Wu, L., Liu, X., Lv, G., Zhu, R., Tian, L., Liu, M., Li, Y., Rao, W., Liu, T., & Liao, L. (2021). Study on the adsorption properties of methyl orange by natural one-dimensional nano-mineral materials with different structures. *Scientific Reports*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90235-1>

- Xiong, X., Zhang, Y., Wang, L., & Tsang, D. C. W. (2022). Overview of hazardous waste treatment and stabilization/solidification technology. *Low Carbon Stabilization and Solidification of Hazardous Wastes*, 1–14. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824004-5.00031-1>
- Yamazaki, S., Takaki, D., Nishiyama, N., & Yamazaki, Y. (2020). Factors affecting photocatalytic activity of TiO₂. In *Current Developments in Photocatalysis and Photocatalytic Materials* (pp. 23–38). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819000-5.00003-5>
- Yang, M., Liu, G., Zhao, W., Meng, F., Lao, Y., & Liang, Y. (2023). Preparation and properties of TiO₂ photocatalytic self-cleaning coating material for glass. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 18, 322–330. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctad015>
- Yang, S., Huang, N., Jin, Y. M., Zhang, H. Q., Su, Y. H., & Yang, H. G. (2015). Crystal shape engineering of anatase TiO₂ and its biomedical applications. *CrystEngComm*, 17(35), 6617–6631. <https://doi.org/10.1039/C5CE00804B>
- Yu, C., Tan, M., Tao, C., Hou, Y., Liu, C., Meng, H., Su, Y., Qiao, L., & Bai, Y. (2021). Remarkably enhanced piezo-photocatalytic performance in BaTiO₃/CuO heterostructures for organic pollutant degradation. *Journal of Advanced Ceramics*, 2022(3), 414–426. <https://doi.org/10.1007/s40145-021-0544-4>
- Zavahir, S., Elmakki, T., Ismail, N., Gulied, M., Park, H., & Han, D. S. (2023). Degradation of Organic Methyl Orange (MO) Dye Using a Photocatalyzed Non-Ferrous Fenton Reaction. *Nanomaterials*, 13(4), 639. <https://doi.org/10.3390/nano13040639>
- Zhang, W., Liu, W., Zhang, J., Zhao, H., Zhang, Y., Quan, X., & Jin, Y. (2012). Characterisation of acute toxicity, genotoxicity and oxidative stress posed by textile effluent on zebrafish.

Journal of Environmental Sciences, 24(11), 2019–2027. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)61030-9](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)61030-9)

Zhang, Y. L., Yang, J., & Yu, X. J. (2017). Preparation, characterization, and adsorption-photocatalytic activity of nano TiO₂ embedded in diatomite synthesis materials. *Rare Metals*, 36(12), 987–991. <https://doi.org/10.1007/s12598-014-0290-7>

Zhong, J. bo. (2013). Photocatalytic Decolorization of Methyl Orange Solution with Phosphotungstic Acid. *Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering-International English Edition*, 32(1), 57–65.

Apéndices

Apéndice I: réplicas del barrido espectral del colorante MO

N° Pruebas	C _{MO} (ppm)	L ₁ (nm)	L ₂ (nm)	L ₃ (nm)	L ₄ (nm)
1	1	464-465-466	465-466-467	465	465
2	2	465	465-466	465	464-465-466
3	3	464-465-466	464-465	464-465	464-465-466
4	5	464-465	464-465	465-466	464-465-466
5	6	465	464-465	464-465	464-465
6	7	464-465-466	465-466	464-465	464-465
7	8	465	464-465-466	464-465	464-465
8	10	464-465	464	465	464-465
9	11	464-465	465	465	464-465
10	12	464	464	463-464-465	463-464-465
11	13	464	464	465	464-465
12	14	464	464	464-465	464-465
13	15	464	464	464	463
14	17	465	465	464-465	464
15	18	464	464-465	465	464-465

Nota. dónde: C_{MO} (ppm): concentración del colorante naranja de metilo en partes por millón y L_i (nm): longitud de onda en nanómetros.

Apéndice II: Replicas de la curva de calibración del colorante MO

N° Pruebas	C _{MO} (ppm)	Absorbancia 1	Absorbancia 2	Absorbancia 3
1	1	0.230	0.232	0.231
2	2	0.417	0.418	0.419
3	3	0.624	0.623	0.624
4	5	0.829	0.829	0.830
5	6	1.034	1.033	1.034
6	7	1.218	1.221	1.221
7	8	1.403	1.404	1.404
8	10	1.605	1.604	1.606
9	11	1.784	1.785	1.793
10	12	1.995	1.995	1.995
11	13	2.214	2.215	2.215
12	14	2.438	2.439	2.440
13	15	2.606	2.608	2.608
14	17	2.771	2.771	2.755
15	18	2.993	2.986	2.986

Nota. dónde: C_{MO} (ppm): concentración del colorante anaranjado de metilo en partes por millón.

Apéndice III: Tiempo de degradación del colorante MO hasta el equilibrio.

N° Pruebas	T(°C)	TiO ₂ (g/L)	t (min)
1	20	0.05	105
2	20	0.1	120
3	20	0.15	130
4	30	0.05	120
5	30	0.1	130
6	30	0.15	140
7	40	0.05	110
8	40	0.1	120
9	40	0.15	130
10	20	0.05	100
11	20	0.1	110
12	20	0.15	120
13	30	0.05	110
14	30	0.1	120
15	30	0.15	130
16	40	0.05	110
17	40	0.1	120
18	40	0.15	130

Apéndice IV: Fotografías del proceso fotocatalítico

Condiciones experimentales:

Volumen de trabajo: 500 ml

Cantidad de catalizador: 0.05 g/L TiO₂

Temperatura de operación: 20 °C

Velocidad de agitación: 600 rpm

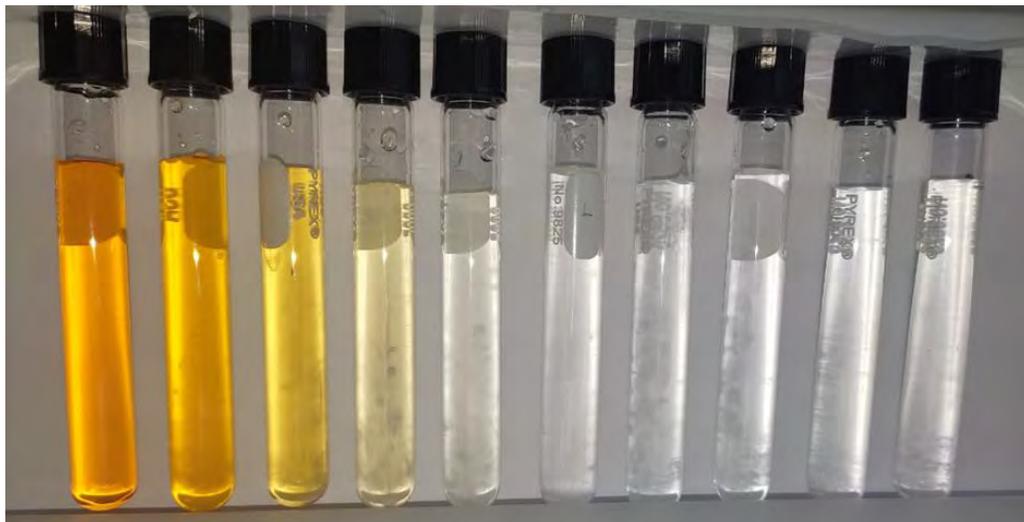
Concentración MO: 15 ppm

Foto 1: Inicio de la reacción

Foto 2: Fin de la reacción



Foto 3: alícuotas extraídas del proceso de reacción fotocatalítica heterogénea a 20°C



Apéndice V: Cálculo del estadístico de Durbin-Watson

i	e_t	e_t^2	e_{t-1}	$(e_t - e_{t-1})^2$
1	12.59	158.45		
2	4.08	16.62	12.59	72.44
3	-11.32	128.14	4.08	237.07
4	1.80	3.26	-11.32	172.27
5	-8.23	67.72	1.80	100.68
6	-18.21	331.61	-8.23	99.62
7	12.73	162.15	-18.21	957.53
8	2.54	6.46	12.73	103.88
9	-7.10	50.40	2.54	92.95
10	15.65	244.89	-7.10	517.47
11	5.99	35.88	15.65	93.30
12	-3.67	13.50	5.99	93.39
13	2.80	7.86	-3.67	41.95
14	-7.02	49.21	2.80	96.39
15	-13.55	183.58	-7.02	42.69
16	13.23	175.00	-13.55	717.06
17	3.79	14.39	13.23	89.02
18	-6.11	37.37	3.79	98.15
Σ		1686.49		3625.86

Anexos

Anexo I: Certificado de análisis del colorante naranja de metilo

Methyl Orange, Sodium Salt, Powder
 BAKER ANALYZED® A.C.S. Reagent
 C.I. 13025
 [p-[(dimethylamino)phenyl]azo]benzenesulfonic acid, sodium
 salt)



Material No.: 2694-00
 Batch No.: 0000017254
 Manufactured Date: 2012/02/21
 Retest Date: 2017/02/19

Certificate of Analysis

Meets ACS Reagent Chemical Requirements,

Test	Specification	Result
ACS – Clarity of Solution	Passes Test	PT
Visual Transition Interval – pH	>= 3.2	4.4
Visual Transition Interval – pH	>= 4.4	3.2

For Laboratory, Research, or Manufacturing Use
 Appearance (white to pale yellow crystals or powder)

Country of Origin: GB
 Packaging Site: Paris Mfg Ctr & DC

HEXIS 2694-00
 HX0006-00086

Lote: 0000017254 Validade: 19/02/2017

ALARANJADO METILA (CI 13025) PA ACS 30G

Qtde: 1 UN

HEXIS SCIENTIFICA S.A - 63 278 010 0001-110
 impressa em 03/04/2013 12:09:34 RECEBIMENTO



ISO	Phillipsburg, NJ 9001:2008, 14001:2004	 Richard M. Siberski Global Director of Quality Assurance
	Paris, KY 9001:2008	
	Mexico City, Mexico 9001:2008	
	Deventer, The Netherlands 9001:2008, 14001:2004, 13485:2003	
	Gliwice, Poland 9001:2008, 17025:2005	
	Selangor, Malaysia 9001:2008	
	Dehradun, India, 9001:2008, 14001:2004, 13485:2003	
Mumbai, India, 9001:2008, 17025:2005		
Panaji, India 9001:2008		

For questions on this Certificate of Analysis please contact Technical Services at 855.282.6867 or +1.610.573.2600
 Avantor™ Performance Materials Inc.

3477 Corporate Parkway, Suite #200, Center Valley, PA 18034. U.S.A. Phone: 610.573.2600 . Fax: 610.573.2610

Anexo II: Ficha técnica del colorante naranja de metilo



Version: 1.1
Revision Date: 10-17-2017

SAFETY DATA SHEET

According to US Regulation 29 CFR 1910.1200 (HazCom 2012)

1. Identification

Product identifier: Methyl Orange, Sodium Salt

Other means of identification

Synonyms: Methyl Orange, Sodium Salt
Product No.: 2694

Recommended restrictions

Recommended use: For Laboratory, Research or Manufacturing Use.
Restrictions on use: Not determined.

Details of the supplier of the safety data sheet

Manufacturer

Company Name: Avantor Performance Materials, LLC.
Address: 3477 Corporate Parkway
Center Valley, PA 18034

Telephone: Customer Service: 855-282-6867

Fax: 610-573-2610
Contact Person: Environmental Health & Safety
E-mail: info@avantormaterials.com

Emergency telephone number:

CHEMTREC: 1-800-424-9300 within US and Canada

2. Hazard(s) identification

Hazard Classification

Health Hazards

Acute toxicity (Oral) Category 3

Unknown toxicity - Health

Acute toxicity, oral	100 %
Acute toxicity, dermal	100 %
Acute toxicity, inhalation, vapor	100 %
Acute toxicity, inhalation, dust or mist	100 %

Label Elements

Hazard Symbol:



Signal Word:	Danger
Hazard Statement:	Toxic if swallowed.
Precautionary Statements	
Prevention:	Wash hands thoroughly after handling. Do not eat, drink or smoke when using this product.
Response:	IF SWALLOWED: Immediately call a POISON CENTER or doctor/physician. Rinse mouth.
Storage:	Store locked up.
Disposal:	Dispose of contents/container to an appropriate treatment and disposal facility in accordance with applicable laws and regulations, and product characteristics at time of disposal.
Hazard(s) not otherwise classified (HNOC):	None.

3. Composition/information on ingredients

Substances

Chemical Identity	CAS number	Content in percent (%)*
C.I. Acid orange 52	547-58-0	90 - 100%

* All concentrations are percent by weight unless ingredient is a gas. Gas concentrations are in percent by volume.

4. First-aid measures

General information:	Get medical advice/attention if you feel unwell. Show this safety data sheet to the doctor in attendance.
Ingestion:	Call a physician or poison control center immediately. Rinse mouth. Do not induce vomiting without advice from poison control center. If vomiting occurs, keep head low so that stomach content doesn't get into the lungs.
Inhalation:	Move to fresh air. Call a physician or poison control center immediately. If breathing stops, provide artificial respiration.
Skin Contact:	Immediately flush with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Call a physician or poison control center immediately. Wash contaminated clothing before reuse. Destroy or thoroughly clean contaminated shoes.
Eye contact:	Immediately flush with plenty of water for at least 15 minutes. If easy to do, remove contact lenses. Get medical attention immediately.

Most important symptoms/effects, acute and delayed



Version: 1.1
Revision Date: 10-17-2017

Symptoms: May irritate eyes.

Hazards: None known.

Indication of immediate medical attention and special treatment needed

Treatment: Treat symptomatically. Symptoms may be delayed.

5. Fire-fighting measures

General Fire Hazards: In case of fire and/or explosion do not breathe fumes.

Suitable (and unsuitable) extinguishing media

Suitable extinguishing media: Use fire-extinguishing media appropriate for surrounding materials.

Unsuitable extinguishing media: None known.

Specific hazards arising from the chemical: Fire may produce irritating, corrosive and/or toxic gases.

Special protective equipment and precautions for firefighters

Special fire fighting procedures: Move containers from fire area if you can do so without risk. Use water spray to keep fire-exposed containers cool. Cool containers exposed to flames with water until well after the fire is out.

Special protective equipment for fire-fighters: Firefighters must use standard protective equipment including flame retardant coat, helmet with face shield, gloves, rubber boots, and in enclosed spaces, SCBA.

6. Accidental release measures

Personal precautions, protective equipment and emergency procedures: Keep unauthorized personnel away. Use personal protective equipment. See Section 8 of the SDS for Personal Protective Equipment. Ventilate closed spaces before entering them. Do not touch damaged containers or spilled material unless wearing appropriate protective clothing.

Methods and material for containment and cleaning up: Sweep up and place in a clearly labeled container for chemical waste. Clean surface thoroughly to remove residual contamination. Dike far ahead of larger spill for later recovery and disposal.

Notification Procedures: Dike for later disposal. Prevent entry into waterways, sewer, basements or confined areas. Stop the flow of material, if this is without risk. Inform authorities if large amounts are involved.

Environmental Precautions: Do not contaminate water sources or sewer. Prevent further leakage or spillage if safe to do so. Avoid discharge into drains, water courses or onto the ground.



Version: 1.1
Revision Date: 10-17-2017

7. Handling and storage

Precautions for safe handling:	Use personal protective equipment as required. Do not breathe mist or vapor. Do not taste or swallow. Do not eat, drink or smoke when using the product. Use only with adequate ventilation. Wash hands thoroughly after handling. See Section 8 of the SDS for Personal Protective Equipment. Avoid contact with skin. Avoid contact with eyes.
Conditions for safe storage, including any incompatibilities:	Do not store in metal containers. Keep in a cool, well-ventilated place. Store in a dry place. Store locked up.

8. Exposure controls/personal protection

Control Parameters

Occupational Exposure Limits

None of the components have assigned exposure limits.

Appropriate Engineering Controls

No data available.

Individual protection measures, such as personal protective equipment

General information:	Good general ventilation (typically 10 air changes per hour) should be used. Ventilation rates should be matched to conditions. If applicable, use process enclosures, local exhaust ventilation, or other engineering controls to maintain airborne levels below recommended exposure limits. If exposure limits have not been established, maintain airborne levels to an acceptable level. An eye wash and safety shower must be available in the immediate work area.
Eye/face protection:	Wear safety glasses with side shields (or goggles) and a face shield.
Skin Protection	
Hand Protection:	Chemical resistant gloves
Other:	Wear suitable protective clothing.
Respiratory Protection:	In case of inadequate ventilation use suitable respirator.
Hygiene measures:	Provide eyewash station and safety shower. Observe good industrial hygiene practices. Wash hands before breaks and immediately after handling the product. Do not eat, drink or smoke when using the product. Wash contaminated clothing before reuse.

9. Physical and chemical properties

Appearance

Physical state:	Solid
Form:	Crystals or powder.
Color:	Yellow-orange
Odor:	Odorless
Odor threshold:	No data available.
pH:	No data available.
Melting point/freezing point:	> 300 °C
Initial boiling point and boiling range:	No data available.
Flash Point:	not applicable



Version: 1.1
Revision Date: 10-17-2017

Evaporation rate:	No data available.
Flammability (solid, gas):	No data available.
Upper/lower limit on flammability or explosive limits	
Flammability limit - upper (%):	No data available.
Flammability limit - lower (%):	No data available.
Explosive limit - upper (%):	No data available.
Explosive limit - lower (%):	No data available.
Vapor pressure:	No data available.
Vapor density:	No data available.
Density:	1.00 g/ml (20 °C)
Relative density:	1.00 (20 °C)
Solubility(ies)	
Solubility in water:	0.2 g/l (25 °C)
Solubility (other):	ethanol: 0.3 g/l ether: Insoluble
Partition coefficient (n-octanol/water):	No data available.
Auto-ignition temperature:	No data available.
Decomposition temperature:	No data available.
Viscosity:	No data available.
Other information	
Bulk density:	200 - 400 kg/m ³
Molecular weight:	327.34 g/mol (C ₁₄ H ₁₅ N ₃ O ₃ S.Na)

10. Stability and reactivity

Reactivity:	No dangerous reaction known under conditions of normal use.
Chemical Stability:	Material is stable under normal conditions.
Possibility of hazardous reactions:	Hazardous polymerization does not occur.
Conditions to avoid:	Heat, sparks, flames. Contact with incompatible materials.
Incompatible Materials:	Strong oxidizing agents.
Hazardous Decomposition Products:	Nitrogen Oxides Oxides of Carbon. Oxides of sulfur.

11. Toxicological information

Information on likely routes of exposure

Inhalation:	May be harmful if inhaled.
Skin Contact:	May cause irritation.
Eye contact:	May irritate eyes.
Ingestion:	Toxic if swallowed.



Version: 1.1
Revision Date: 10-17-2017

Information on toxicological effects

Acute toxicity (list all possible routes of exposure)

Oral
Product: No data available.

Dermal
Product: No data available.

Inhalation
Product: No data available.

Repeated dose toxicity
Product: No data available.

Skin Corrosion/Irritation
Product: May cause skin irritation.

Serious Eye Damage/Eye Irritation
Product: May irritate eyes.

Respiratory or Skin Sensitization
Product: Not a skin sensitizer.

Carcinogenicity
Product: This substance has no evidence of carcinogenic properties.

IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans:
No carcinogenic components identified

US. National Toxicology Program (NTP) Report on Carcinogens:
No carcinogenic components identified

US. OSHA Specifically Regulated Substances (29 CFR 1910.1001-1050):
No carcinogenic components identified

Germ Cell Mutagenicity

In vitro
Product: No mutagenic components identified

In vivo
Product: No mutagenic components identified

Reproductive toxicity
Product: No components toxic to reproduction

Specific Target Organ Toxicity - Single Exposure
Product: No data available.

Specific Target Organ Toxicity - Repeated Exposure
Product: No data available.



Version: 1.1
Revision Date: 10-17-2017

Aspiration Hazard
Product: Not classified

Other effects: None known.

12. Ecological information

Ecotoxicity:

Acute hazards to the aquatic environment:

Fish
Product: No data available.

Aquatic Invertebrates
Product: No data available.

Chronic hazards to the aquatic environment:

Fish
Product: No data available.

Aquatic Invertebrates
Product: No data available.

Toxicity to Aquatic Plants
Product: No data available.

Persistence and Degradability

Biodegradation
Product: There are no data on the degradability of this product.

BOD/COD Ratio
Product: No data available.

Bioaccumulative potential

Bioconcentration Factor (BCF)
Product: No data available on bioaccumulation.

Partition Coefficient n-octanol / water (log K_{ow})

Product: No data available.

Mobility in soil: The product is water soluble and may spread in water systems.

Other adverse effects: The product components are not classified as environmentally hazardous. However, this does not exclude the possibility that large or frequent spills can have a harmful or damaging effect on the environment.



Version: 1.1
Revision Date: 10-17-2017

13. Disposal considerations

Disposal instructions: Discharge, treatment, or disposal may be subject to national, state, or local laws. Dispose of contents/container to an appropriate treatment and disposal facility in accordance with applicable laws and regulations, and product characteristics at time of disposal.

Contaminated Packaging: Since emptied containers retain product residue, follow label warnings even after container is emptied.

14. Transport information

DOT

UN Number:	UN 2811
UN Proper Shipping Name:	Toxic solids, organic, n.o.s.(Methyl orange, sodium salt)
Transport Hazard Class(es)	
Class:	6.1
Label(s):	6.1
Packing Group:	III
Marine Pollutant:	No
Special precautions for user:	Not determined.

IMDG

UN Number:	UN 2811
UN Proper Shipping Name:	TOXIC SOLID, ORGANIC, N.O.S.(METHYL ORANGE, SODIUM SALT)
Transport Hazard Class(es)	
Class:	6.1
Label(s):	6.1
EmS No.:	F-A, S-A
Packing Group:	III
Marine Pollutant:	No
Special precautions for user:	Not determined.

IATA

UN Number:	UN 2811
Proper Shipping Name:	Toxic solid, organic, n.o.s.(Methyl orange, sodium salt)
Transport Hazard Class(es):	
Class:	6.1
Label(s):	6.1
Packing Group:	III
Marine Pollutant:	No
Special precautions for user:	Not determined.

15. Regulatory information

US Federal Regulations

TSCA Section 12(b) Export Notification (40 CFR 707, Subpt. D)
None present or none present in regulated quantities.

US. OSHA Specifically Regulated Substances (29 CFR 1910.1001-1050)
None present or none present in regulated quantities.

CERCLA Hazardous Substance List (40 CFR 302.4):
None present or none present in regulated quantities.

**Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986 (SARA)****Hazard categories**

Acute toxicity

SARA 302 Extremely Hazardous Substance

None present or none present in regulated quantities.

SARA 304 Emergency Release Notification

None present or none present in regulated quantities.

SARA 311/312 Hazardous Chemical

<u>Chemical Identity</u>	<u>Threshold Planning Quantity</u>
C.I. Acid orange 52	10000 lbs.

SARA 313 (TRI Reporting)

None present or none present in regulated quantities.

Clean Air Act (CAA) Section 112(r) Accidental Release Prevention (40 CFR 68.130):

None present or none present in regulated quantities.

Clean Water Act Section 311 Hazardous Substances (40 CFR 117.3):

None present or none present in regulated quantities.

US State Regulations**US. California Proposition 65**

No ingredient regulated by CA Prop 65 present.

US. New Jersey Worker and Community Right-to-Know Act

No ingredient regulated by NJ Right-to-Know Law present.

US. Massachusetts RTK - Substance List

No ingredient regulated by MA Right-to-Know Law present.

US. Pennsylvania RTK - Hazardous Substances

No ingredient regulated by PA Right-to-Know Law present.

US. Rhode Island RTK

No ingredient regulated by RI Right-to-Know Law present.

International regulations**Montreal protocol**

not applicable

Stockholm convention

not applicable

Rotterdam convention

not applicable

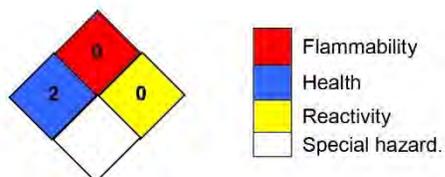
Kyoto protocol

not applicable

Inventory Status:

Australia AICS:	On or in compliance with the inventory
Canada DSL Inventory List:	On or in compliance with the inventory
EINECS, ELINCS or NLP:	On or in compliance with the inventory
Japan (ENCS) List:	On or in compliance with the inventory
Korea Existing Chemicals Inv. (KECI):	On or in compliance with the inventory
Philippines PICCS:	On or in compliance with the inventory
US TSCA Inventory:	On or in compliance with the inventory
New Zealand Inventory of Chemicals:	On or in compliance with the inventory
China Inv. Existing Chemical Substances:	On or in compliance with the inventory
Mexico INSQ:	On or in compliance with the inventory
Taiwan Chemical Substance Inventory:	On or in compliance with the inventory

16. Other information, including date of preparation or last revision
--

NFPA Hazard ID

Hazard rating: 0 - Minimal; 1 - Slight; 2 - Moderate; 3 - Serious; 4 - Severe; RNP - Rating not possible

Issue Date:	10-17-2017
Revision Information:	Not relevant.
Version #:	1.1
Further Information:	No data available.



Version: 1.1
Revision Date: 10-17-2017

Disclaimer:

The information provided in this Safety Data Sheet (SDS) was prepared based on data believed to be accurate as of the date of this SDS. TO THE GREATEST EXTENT PERMITTED BY LAW, AVANTOR PERFORMANCE MATERIALS ("AVANTOR") EXPRESSLY DISCLAIMS ANY AND ALL REPRESENTATIONS AND WARRANTIES REGARDING THE INFORMATION CONTAINED HEREIN INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, AS TO ACCURACY, COMPLETENESS, FITNESS FOR PURPOSE OR USE, MERCHANTABILITY, NON-INFRINGEMENT, PERFORMANCE, SAFETY, SUITABILITY AND STABILITY. This SDS is intended as a guide to the appropriate use, handling, storage and disposal of the product to which it relates by properly trained personnel, and is not intended to be comprehensive. Users of Avantor's products are advised to perform their own tests and to exercise their own judgment to determine the safety, suitability and appropriate use, handling, storage and disposal of each product and product combination for their own purposes and uses. TO THE GREATEST EXTENT PERMITTED BY LAW, AVANTOR DISCLAIMS LIABILITY FOR, AND BY USING AVANTOR'S PRODUCTS PURCHASER AGREES THAT UNDER NO CIRCUMSTANCES SHALL AVANTOR BE LIABLE FOR, SPECIAL, INDIRECT, INCIDENTAL, PUNITIVE OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OF ANY TYPE OR KIND, INCLUDING WITHOUT LIMITATION, FOR LOSS OF PROFITS, REPUTATIONAL DAMAGE, PRODUCT RECALL OR BUSINESS INTERRUPTION.

Anexo III: Certificado de análisis del peroxido de hidrogeno



Specification

1.07210.1000 Hydrogen peroxide 30% (Perhydrol TM) (stabilized for higher storage temp.)
for analysis EMSURE® ISO

	Specification	
Assay (manganometric)	≥ 30.0	%
Color	≤ 10	Hazen
Free acid (as sulfuric acid)	≤ 30	ppm
Chloride (Cl)	≤ 0.5	ppm
Nitrate (NO ₃)	≤ 2	ppm
Phosphate (PO ₄)	≤ 2	ppm
Sulfate (SO ₄)	≤ 2	ppm
Heavy metals (as Pb)	≤ 1	ppm
Total nitrogen (N)	≤ 4	ppm
Cd (Cadmium)	≤ 0.02	ppm
Co (Cobalt)	≤ 0.02	ppm
Cu (Copper)	≤ 0.02	ppm
Fe (Iron)	≤ 0.1	ppm
Ni (Nickel)	≤ 0.02	ppm
Pb (Lead)	≤ 0.02	ppm
Zn (Zinc)	≤ 0.05	ppm
Non volatile matter	≤ 50	ppm
ISO-Reagent		

Dr. Nina Hegmann
Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.

Anexo IV: Ficha técnica del peróxido de hidrogeno


www.sigmaldrich.com

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

 Versión 8.9
 Fecha de revisión 08.11.2022
 Fecha de impresión 28.11.2022
 GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : Hidrógeno peróxido 30% (Perhydrol TM)
 (estabilizado para almacenamiento a altas
 temperaturas) p.a. EMSURE® ISO

Referencia : 1.07210
 Artículo número : 107210
 Marca : Millipore
 UFI : V3Y0-66VG-E99J-D5CR
 REACH No. : Este producto es una mezcla. Número de registro REACH véase
 sección 3.

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Análisis químico
 Usos desaconsejados : Este producto no está destinado para uso del consumidor.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : MERCK PERUANA S.A. PE
 Av. Los Frutales 220
 3 LIMA
 PERU

Teléfono : +51 1 618-7500
 Fax : +51 1 437-2955

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : +(51)-17071295 (CHEMTREC Peru) En
 caso de urgencias: acúdase al Centro de
 Salud más cercano.

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008

Lesiones oculares graves (Categoría 1), H318
 Peligro a largo plazo (crónico) para el medio ambiente acuático (Categoría 3), H412

Para el texto integro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección
 16.

Millipore- 1.07210

Pagina 1 de 14

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in
 the US and Canada



2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008

Pictograma



Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro

H318

H412

Provoca lesiones oculares graves.
Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Declaración(es) de prudencia

P273

P280

P305 + P351 + P338

Evitar su liberación al medio ambiente.
Llevar equipo de protección para los ojos/ la cara.
EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
Eliminar el contenido/ el recipiente en una planta de eliminación de residuos autorizada.

P501

Declaración Suplementaria del Peligro ninguno(a)

Etiquetado reducido (<= 125 ml)

Pictograma



Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro

H318

H412

Provoca lesiones oculares graves.
Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Declaración(es) de prudencia

P280

P305 + P351 + P338

Llevar equipo de protección para los ojos/ la cara.
EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.

Declaración Suplementaria del Peligro ninguno(a)

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.2 Mezclas

Componente	Clasificación	Concentración
------------	---------------	---------------

Millipore- 1.07210

Página 2 de 14

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



hidrógeno peróxido			
No. CAS	7722-84-1	Ox. Liq. 1; Acute Tox. 4;	>= 30 - < 35 %
No. CE	231-765-0	Skin Corr. 1A; Eye Dam. 1; STOT SE 3; Aquatic Chronic 3; H271, H302, H332, H314, H318, H335, H412	
No. Índice	008-003-00-9*	Límites de concentración: >= 70 %: Ox. Liq. 1, H271; 50 - < 70 %: Ox. Liq. 2, H272; >= 70 %: Skin Corr. 1A, H314; 50 - < 70 %: Skin Corr. 1B, H314; 35 - < 50 %: Skin Irrit. 2, H315; 8 - < 50 %: Eye Dam. 1, H318; 5 - < 8 %: Eye Irrit. 2, H319; >= 35 %: STOT SE 3, H335; > 40 - < 50 %: Ox. Liq. 3, H272;	

*No hay disponible un número de registro para esta sustancia, ya que la sustancia o su uso están exentos del registro; según el artículo 2 del Reglamento REACH (CE) núm. 1097/2006, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior.

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Si es inhalado

Tras inhalación: aire fresco.

En caso de contacto con la piel

En caso de contacto con la piel: Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua/ducharse.

En caso de contacto con los ojos

Tras contacto con los ojos: aclarar con abundante agua. Llamar inmediatamente al oftalmólogo. Retirar las lentillas.

Por ingestión

Tras ingestión: hacer beber agua inmediatamente (máximo 2 vasos). Consultar a un médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles



SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Usar medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias del local y a sus alrededores.

Medios de extinción no apropiados

No existen limitaciones de agentes extinguidores para esta sustancia/mezcla.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Se desconoce la naturaleza de los productos de la descomposición.
No combustible.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Permanencia en el área de riesgo sólo con sistemas de respiración artificiales e independientes del ambiente. Protección de la piel mediante observación de una distancia de seguridad y uso de ropa protectora adecuada .

5.4 Otros datos

Impedir la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas por el agua que ha servido a la extinción de incendios.

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Indicaciones para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: No respirar los vapores, aerosoles. Evitar el contacto con la sustancia. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacúe el área de peligro, respete los procedimientos de emergencia, consulte con expertos.

Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No tirar los residuos por el desagüe.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Cubra las alcantarillas. Recoja, una y aspire los derrames. Observe posibles restricciones de materiales (véanse indicaciones en las secciones 7 o 10). Recoger con material absorbente de líquidos y neutralizante, p. ej. con Chemisorb® H⁺ (art. Merck 101595). Proceder a la eliminación de los residuos. Aclarar.

6.4 Referencia a otras secciones

Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Consejos para una manipulación segura

Observar las indicaciones de la etiqueta.

Medidas de higiene

Sustituir inmediatamente la ropa contaminada. Protección preventiva de la piel. Lavar cara y manos al término del trabajo.

Ver precauciones en la sección 2.2



7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Condiciones de almacenamiento

No usar recipientes metálicos. Cerrar los recipientes permitiendo el escape de la presión interior (p. ej. con válvula de seguridad).

Bien cerrado. Protejido de la luz. No almacenar cerca de materiales combustibles.

Temperatura de almacenaje recomendada indicada en la etiqueta del producto.

Clase de almacenamiento

Clase de almacenamiento (TRGS 510): 5.1B: Materiales oxidantes peligrosos

7.3 Usos específicos finales

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara

Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro

Protección de la piel

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)

Sumerción

Material: Guantes de látex

espesura mínima de capa: 0,6 mm

Tiempo de penetración: 480 min

Material probado:Lapren® (KCL 706 / Aldrich Z677558, Talla M)

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)

Salpicaduras

Material: Caucho nitrilo

espesura mínima de capa: 0,11 mm

Tiempo de penetración: 480 min

Material probado:KCL 741 Dermatril® L

Protección Corporal

prendas de protección

Protección respiratoria

Tipo de Filtro recomendado: Filtro NO



El empresario debe garantizar que el mantenimiento, la limpieza y la prueba técnica de los protectores respiratorios se hagan según las instrucciones del productor de las mismas. Estas medidas deben ser documentadas debidamente.

Control de exposición ambiental

No tirar los residuos por el desagüe.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a) Estado físico	líquido
b) Color	incolore
c) Olor	ligero, picante
d) Punto de fusión/ punto de congelación	Punto de fusión: -25,7 °C
e) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	107 °C a 1.013 hPa
f) Inflamabilidad (sólido, gas)	Sin datos disponibles
g) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Sin datos disponibles
h) Punto de inflamación	No aplicable
i) Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
j) Temperatura de descomposición	> 100 °C
k) pH	<= 3,5 a 20 °C
l) Viscosidad	Viscosidad, cinemática: Sin datos disponibles Viscosidad, dinámica: Sin datos disponibles
m) Solubilidad en agua	a 20 °C totalmente miscible
n) Coeficiente de reparto n- octanol/agua	log Pow: -1,57 - No es de esperar una bioacumulación., (Ficha de datos de Seguridad externa), (referido a la sustancia pura)
o) Presión de vapor	aprox.18 hPa a 20 °C
p) Densidad	1,11 gcm ³ a 20 °C
Densidad relativa	Sin datos disponibles
q) Densidad relativa del vapor	Sin datos disponibles
r) Características de las partículas	Sin datos disponibles



- s) Propiedades explosivas No clasificado/a como explosivo/a.
- t) Propiedades comburentes Potencial comburente

9.2 Otra información de seguridad

Tensión superficial aprox.74,12 mN/m a 20 °C

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Favorece la formación de incendios por desprendimiento de oxígeno.

10.2 Estabilidad química

sensible al calor Sensibilidad a la luz

Contiene el estabilizador(es) siguiente(s):

Ácido 2,6-piridindicarboxílico (0,004 %)

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Riesgo de explosion con:

Acetaldehido

Acetona

Carbón activo

Alcoholes

ácido fórmico

Amoniaco

sustancias inflamables

acetato de vinilo

Sustancias Orgánicas

Metales en polvo

Polvo

hidracina y derivados

hidruros

Eter

Potasio

anilinas

sales metálicas,

ácido acético

Anhídrido acético

Formaldehído

Alcohol furfurílico

aceites

sodio

Litio

hidruro de aluminio y litio

disolventes orgánicos

Magnesio

óxidos metálicos

Metanol

Agentes reductores

Oxidos de fósforo

butanol

con

Ácido sulfúrico

Millipore- 1.07210

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 7 de 14



hidróxidos alcalinos
 con
 Metales pesados
 Reacción exotérmica con:
 hidróxidos alcalinos
 sulfuro de antimonio
 estaño (II) chloruro
 Sulfuros
 3-BROMO-5-CHLORO-4-HYDROXYBENZALDEHYDE
 Ácido nítrico
 etanol
 glicerina
 Hidróxido de potasio
 fósforo
 óxidos metálicos
 hidróxido sódico
 Aldehídos
 no metales
 óxidos no metálicos
 soluciones fuerte de hidróxidos alcalinos
 Aminas
 Ácidos
 Oxidantes
 sales alcalinas
 Metales alcalinos
 Metales alcalinotérreos
 yoduros
 peróxidos
 Latón
 nitrocompuestos orgánicos
 fenol
 con
 catalizadores metálicos
 Peligro de ignición o de formación de gases o vapores combustibles con:
 permanganato de potasio
 Leña/Serrín
 acetato de vinilo
 con
 Catalizador

10.4 Condiciones que deben evitarse

Calentamiento.

10.5 Materiales incompatibles

Metales

10.6 Productos de descomposición peligrosos

En caso de incendio: véase sección 5



SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Mezcla

Toxicidad aguda

Estimación de la toxicidad aguda Oral - > 2.000 mg/kg
(Método de cálculo)

Estimación de la toxicidad aguda Inhalación - 4 h - > 20 mg/l - vapor(Método de cálculo)

Cutáneo: Sin datos disponibles

Corrosión o irritación cutáneas

Observaciones: En caso de efecto prolongado del producto químico:
Provoca quemaduras en la piel.

Lesiones o irritación ocular graves

Observaciones: conjuntivitis

Sensibilización respiratoria o cutánea

Sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales

Sin datos disponibles

Carcinogenicidad

Sin datos disponibles

Toxicidad para la reproducción

Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Sin datos disponibles

Peligro de aspiración

Sin datos disponibles

11.2 Información Adicional

Propiedades de alteración endocrina

Producto:

Valoración

La sustancia/la mezcla no contienen componentes que tengan propiedades alteradoras endocrinas de acuerdo con el artículo 57(f) de REACH o el Reglamento delegado de la Comisión (UE) 2017/2100 o el Reglamento de la Comisión (UE) 2018/605 en niveles del 0,1 % o superiores.

Vértigo
Inconsciencia
Diarrea
Náusea
Vómitos
Dolor de cabeza
Convulsiones
espasmos musculares

Millipore- 1.07210

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 9 de 14



insomnio
 choc
 Irritación y corrosión
 conjuntivitis
 Riesgo de lesiones oculares graves.

Las otras propiedades peligrosas no pueden ser excluidas.

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

Componentes

hidrógeno peróxido

Toxicidad aguda

DL50 Oral - Rata - hembra - 693,7 mg/kg
 (Directrices de ensayo 401 del OECD)
 Estimación de la toxicidad aguda Inhalación - 4 h - 11,1 mg/l - vapor
 (Juicio de expertos)
 DL50 Cutáneo - Conejo - machos y hembras - > 2.000 mg/kg
 (US-EPA)

Corrosión o irritación cutáneas

Observaciones: Provoca quemaduras graves.
 Clasificado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008, Anexo VI (Tabla 3.1/3.2)

Lesiones o irritación ocular graves

Observaciones: Provoca lesiones oculares graves.

Sensibilización respiratoria o cutánea

Sin datos disponibles

Mutagenicidad en células germinales

Método: Directrices de ensayo 474 del OECD
 Especies: Ratón - machos y hembras - Médula
 Resultado: negativo

Carcinogenicidad

Sin datos disponibles

Toxicidad para la reproducción

Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Inhalación - Puede irritar las vías respiratorias. - Vías respiratorias

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Peligro de aspiración

Sin datos disponibles

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad

Mezcla

Sin datos disponibles

Millipore- 1.07210

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 10 de 14



12.2 Persistencia y degradabilidad

Biodegradabilidad Observaciones: Sin datos disponibles

12.3 Potencial de bioacumulación

Sin datos disponibles

12.4 Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (vPvB) a niveles del 0,1% o superiores.

12.6 Propiedades de alteración endocrina**Producto:**

Valoración

: La sustancia/la mezcla no contienen componentes que tengan propiedades alteradoras endocrinas de acuerdo con el artículo 57(f) de REACH o el Reglamento delegado de la Comisión (UE) 2017/2100 o el Reglamento de la Comisión (UE) 2018/605 en niveles del 0,1 % o superiores.

12.7 Otros efectos adversos

No deben esperarse interferencias en depuradoras si se usa adecuadamente.

La descarga en el ambiente debe ser evitada.

Sin datos disponibles

Componentes**hidrógeno peróxido**

Toxicidad para los peces

Ensayo semiestático CL50 - Pimephales promelas (Piscardo de cabeza gorda) - 16,4 mg/l - 96 h (US-EPA)

Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos

Ensayo semiestático CL50 - Daphnia pulex (Copépodo) - 2,4 mg/l - 48 h (US-EPA)

Toxicidad para las algas

Ensayo estático CE50r - Skeletonema costatum - 1,38 mg/l - 72 h
Observaciones: (ECHA)

Ensayo estático NOEC - Skeletonema costatum - 0,63 mg/l - 72 h
Observaciones: (ECHA)

Toxicidad para las bacterias

Ensayo estático CE50 - lodos activados - 466 mg/l - 30 min (Directrices de ensayo 209 del OECD)

Ensayo estático CE50 - lodos activados - > 1.000 mg/l - 3 h (Directrices de ensayo 209 del OECD)

Toxicidad para las dafnias y otros

Ensayo dinámico NOEC - Daphnia magna (Pulga de mar grande) - 0,63 mg/l - 21 d



invertebrados Observaciones: (ECHA)
acuáticos(Toxicidad
crónica)

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Producto

Consulte en www.retrologistik.com sobre procesos relativos a la devolución de productos químicos o recipientes, o contáctenos si tiene más preguntas.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

14.1 Número ONU

ADR/RID: 2014

IMDG: 2014

IATA: 2014

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas

ADR/RID: PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN SOLUCIÓN ACUOSA

IMDG: HYDROGEN PEROXIDE, AQUEOUS SOLUTION

IATA: Hydrogen peroxide, aqueous solution

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: 5.1 (8)

IMDG: 5.1 (8)

IATA: 5.1 (8)

14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: II

IMDG: II

IATA: II

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no

IMDG Contaminante marino: no

IATA: no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamenteo (CE) No. 1907/2006.

Autorizaciones y / o restricciones de uso

REGLAMENTO (UE) 2019/1148 sobre la comercialización y la utilización de precursores de explosivos : peróxido de hidrogeno

15.2 Evaluación de la seguridad química

Se ha realizado una Valoración de la Seguridad Química para esta sustancia.

SECCIÓN 16. Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H271

Puede provocar un incendio o una explosión; muy comburente.

Millipore- 1.07210

Página 12 de 14

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada



H272	Puede agravar un incendio; comburente.
H302	Nocivo en caso de ingestión.
H314	Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
H315	Provoca irritación cutánea.
H318	Provoca lesiones oculares graves.
H319	Provoca irritación ocular grave.
H332	Nocivo en caso de inhalación.
H335	Puede irritar las vías respiratorias.
H412	Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Texto completo de otras abreviaturas

ADN - Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por vías navegables interiores; ADR - Acuerdo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera; AIIC - Inventario de productos químicos industriales de Australia; ASTM - Sociedad Estadounidense para la Prueba de Materiales; bw - Peso corporal; CMR - Carcinógeno, mutágeno o tóxico para la reproducción; DIN - Norma del Instituto Alemán para la Normalización; DSL - Lista Nacional de Sustancias (Canadá); ECx - Concentración asociada con respuesta x%; ELx - Tasa de carga asociada con respuesta x%; EmS - Procedimiento de emergencia; ENCS - Sustancias Químicas Existentes y Nuevas (Japón); ErCx - Concentración asociada con respuesta de tasa de crecimiento x%; GHS - Sistema Globalmente Armonizado; GLP - Buena práctica de laboratorio; IARC - Agencia Internacional para la investigación del cáncer; IATA - Asociación Internacional de Transporte Aéreo; IBC - Código internacional para la construcción y equipamiento de Embarcaciones que transportan químicos peligros a granel; IC50 - Concentración inhibitoria máxima media; ICAO - Organización Internacional de Aviación Civil; IECSC - Inventario de Sustancias Químicas en China; IMDG - Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas; IMO - Organización Marítima Internacional; ISHL - Ley de Seguridad e Higiene Industrial (Japón); ISO - Organización Internacional para la Normalización; KECI - Inventario de Químicos Existentes de Corea; LC50 - Concentración letal para 50% de una población de prueba; LD50 - Dosis letal para 50% de una población de prueba (Dosis letal mediana); MARPOL - Convenio Internacional para prevenir la Contaminación en el mar por los buques; n.o.s. - N.E.P.: No especificado en otra parte; NO(A)EC - Concentración de efecto (adverso) no observable; NO(A)EL - Nivel de efecto (adverso) no observable; NOELR - Tasa de carga de efecto no observable; NZIoC - Inventario de Químicos de Nueva Zelanda; OECD - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; OPPTS - Oficina para la Seguridad Química y Prevención de Contaminación; PBT - Sustancia persistente, bioacumulativa y tóxica; PICCS - Inventario Filipino de Químicos y Sustancias Químicas; (Q)SAR - Relación estructura-actividad (cuantitativa); REACH - Reglamento (EC) No 1907/2006 del Parlamento y Consejo Europeos con respecto al registro, evaluación autorización y restricción de químicos; RID - reglamento relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril; SADT - Temperatura de descomposición autoacelerada; SDS - Ficha de datos de seguridad; TCSI - Inventario de Sustancias Químicas de Taiwán; TECI - Inventario de productos químicos existentes de Tailandia; TSCA - Ley para el Control de Sustancias Tóxicas (Estados Unidos); UN - Naciones Unidas; UNRTDG - Recomendaciones para el Transporte de Mercancías Peligrosas de las Naciones Unidas; vPvB - Muy persistente y muy bioacumulativo

Clasificación de la mezcla		Procedimiento de clasificación:	de
Eye Dam.1	H318	Método de cálculo	
Aquatic Chronic3	H412	Método de cálculo	



Otros datos

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega. Copyright 2020 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.

La marca que aparece en el encabezado y/o el pie de página de este documento puede no coincidir visualmente con el producto adquirido mientras hacemos la transición de nuestra marca. Sin embargo, toda la información del documento relativa al producto permanece sin cambios y coincide con el producto solicitado. Para más información, póngase en contacto con mlsbranding@sial.com



Anexo V: Certificado de análisis del dióxido de titanio



Specification

1.00808.1000 Titanium(IV) oxide for analysis EMSURE® Reag. Ph Eur

Specification		
Assay (cerimetric)	98.0 - 100.5	%
Assay (cerimetric, calculated on dried substance)	≥ 99.0	%
Identity	passes test	
Appearance of solution	passes test	
Substances soluble in water	≤ 0.5	%
Substances soluble in dilute hydrochloric acid	≤ 0.5	%
Acidity or alkalinity	passes test	
As (Arsenic)	≤ 0.0001	%
Ba (Barium)	≤ 0.0020	%
Fe (Iron)	≤ 0.005	%
Pb (Lead)	≤ 0.0005	%
Sb (Antimony)	≤ 0.0002	%
Zn (Zinc)	≤ 0.005	%
Loss on drying (105 °C; 3 h)	≤ 0.5	%

Dr. Dimitrij Ryvlin
Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.

Anexo VI: Ficha técnica del dióxido de titanio



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Versión 8.6
 Fecha de revisión 01.06.2023
 Fecha de impresión 21.06.2023
 GENERIC EU MSDS - NO COUNTRY SPECIFIC DATA - NO OEL DATA

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificadores del producto

Nombre del producto : TITANIO(IV) OXIDO PARA ANALISIS
 EMSURE® REAG. PH EUR

Referencia : 1.00808
 Artículo número : 100808
 Marca : Millipore
 No. Índice : 022-006-00-2
 REACH No. : 01-2119489379-17-XXXX
 No. CAS : 13463-67-7

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados : Análisis químico

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía : MERCK PERUANA S.A. PE
 Av. Los Frutales 220
 3 LIMA
 PERU

Teléfono : +51 1 618-7500
 Fax : +51 1 437-2955

1.4 Teléfono de emergencia

Teléfono de Urgencia : +(51)-17071295 (CHEMTREC Peru) En
 caso de urgencias: acúdase al Centro de
 Salud más cercano.

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

No es una sustancia o mezcla peligrosa de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado de acuerdo con el Reglamento (CE) 1272/2008

Pictograma : ninguno(a)
 Palabra de advertencia : ninguno(a)

Millipore- 1.00808

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and
 Canada

Página 1 de 11



Indicación(es) de peligro	ninguno(a)
Declaración(es) de prudencia	ninguno(a)
Declaración Suplementaria del Peligro	ninguno(a)
EUH210 EUH212	Puede solicitarse la ficha de datos de seguridad. ¡Atención! Al utilizarse puede formarse polvo respirable peligroso. No respirar el polvo.

2.3 Otros Peligros

Esta sustancia/mezcla no contiene componentes que se consideren que sean bioacumulativos y tóxicos persistentes (PBT) o muy bioacumulativos y muy persistentes (mPmB) a niveles del 0,1% o superiores.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Formula	: TiO ₂
Peso molecular	: 79,90 g/mol
No. CAS	: 13463-67-7
No. CE	: 236-675-5
No. Índice	: 022-006-00-2

Según la normativa aplicable no es necesario divulgar ninguno de los componentes.

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Si es inhalado

Tras inhalación: aire fresco.

En caso de contacto con la piel

En caso de contacto con la piel: Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua/ ducharse.

En caso de contacto con los ojos

Tras contacto con los ojos: aclarar con abundante agua. Retirar las lentillas.

Por ingestión

Tras ingestión: hacer beber agua (máximo 2 vasos), en caso de malestar consultar al médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Los síntomas y efectos más importantes conocidos se describen en la etiqueta (ver sección 2.2) y / o en la sección 11

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

Sin datos disponibles



SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Usar medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias del local y a sus alrededores.

Medios de extinción no apropiados

No existen limitaciones de agentes extinguidores para esta sustancia/mezcla.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Óxidos de titanio/titanio

No combustible.

Posibilidad de formación de vapores peligrosos por incendio en el entorno.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.

5.4 Otros datos

ningún

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Indicaciones para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: Evitar la inhalación de polvo. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacúe el área de peligro, respete los procedimientos de emergencia, consulte con expertos.

Equipo de protección individual, ver sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No son necesarias medidas especiales.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Observe posibles restricciones de materiales (véanse indicaciones en las secciones 7 o 10). Recoger en seco y proceder a la eliminación de residuos. Aclarar. Evitar la formación de polvo.

6.4 Referencia a otras secciones

Para eliminación de desechos ver sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Ver precauciones en la sección 2.2

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Condiciones de almacenamiento

Bien cerrado. Seco.

Temperatura de almacenaje recomendada indicada en la etiqueta del producto.

Clase de almacenamiento

Clase de almacenamiento (TRGS 510): 13: Sólidos No Combustibles



7.3 Usos específicos finales

Aparte de los usos mencionados en la sección 1.2 no se estipulan otros usos específicos

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

8.2 Controles de la exposición

Protección personal

Protección de los ojos/ la cara

Use equipo de protección para los ojos probado y aprobado según las normas gubernamentales correspondientes, tales como NIOSH (EE.UU.) o EN 166 (UE).
Gafas de seguridad

Protección de la piel

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)

Sumerción

Material: Caucho nitrilo

espesura mínima de capa: 0,11 mm

Tiempo de penetración: 480 min

Material probado:KCL 741 Dermatrill® L

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por ejem. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)

Salpicaduras

Material: Caucho nitrilo

espesura mínima de capa: 0,11 mm

Tiempo de penetración: 480 min

Material probado:KCL 741 Dermatrill® L

Protección respiratoria

necesaria en presencia de polvo.

Nuestras recomendaciones sobre protección respiratoria se basan en las normas siguientes: DIN EN 143, DIN 14387 y otras normas relativas al uso de la protección respiratoria usada.

Tipo de Filtro recomendado: Filtro tipo P2

El empresario debe garantizar que el mantenimiento, la limpieza y la prueba técnica de los protectores respiratorios se hagan según las instrucciones del productor de las mismas. Estas medidas deben ser documentadas debidamente.

Control de exposición ambiental

No son necesarias medidas especiales.



SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas
9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

a) Estado físico	polvo
b) Color	blanco
c) Olor	inodoro
d) Punto de fusión/ punto de congelación	Punto/intervalo de fusión: 1.850 °C
e) Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	2.500 - 3.000 °C
f) Inflamabilidad (sólido, gas)	El producto no es inflamable.
g) Inflamabilidad superior/inferior o límites explosivos	Sin datos disponibles
h) Punto de inflamación	No aplicable
i) Temperatura de auto-inflamación	Sin datos disponibles
j) Temperatura de descomposición	Sin datos disponibles
k) pH	Sin datos disponibles
l) Viscosidad	Viscosidad, cinemática: Sin datos disponibles Viscosidad, dinámica: Sin datos disponibles
m) Solubilidad en agua	0,001 g/l a 20 °C
n) Coeficiente de reparto n- octanol/agua	No aplicable para sustancias inorgánicas
o) Presión de vapor	Sin datos disponibles
p) Densidad	4,26 g/cm ³ a 25 °C
Densidad relativa	Sin datos disponibles
q) Densidad relativa del vapor	Sin datos disponibles
r) Características de las partículas	Sin datos disponibles
s) Propiedades explosivas	Sin datos disponibles
t) Propiedades	ningún

Millipore- 1.00808

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Pagina 5 de 11



comburentes

9.2 Otra información de seguridad

Densidad aparente aprox.850 kg/m³

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Sin datos disponibles

10.2 Estabilidad química

El producto es químicamente estable bajo condiciones normales (a temperatura ambiental).

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Posibles reacciones violentas con:

Calcio

Potasio

sodio

magnesio

aluminio en polvo

Riesgo de explosión con:

Litio

Cinc

pulvulento

10.4 Condiciones que deben evitarse

información no disponible

10.5 Materiales incompatibles

Sin datos disponibles

10.6 Productos de descomposición peligrosos

En caso de incendio: véase sección 5

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda

DL50 Oral - Rata - > 10.000 mg/kg

Observaciones: (Ficha de datos de Seguridad externa)

CL50 Inhalación - Rata - machos y hembras - 4 h - 3,43 mg/l - polvo/niebla

(Directrices de ensayo 403 del OECD)

DL50 Cutáneo - Conejo - > 10.000 mg/kg

Observaciones: (Ficha de datos de Seguridad externa)

Corrosión o irritación cutáneas

Piel - Conejo

Resultado: No irrita la piel - 4 h



(Directrices de ensayo 404 del OECD)

Lesiones o irritación ocular graves

Ojos - Conejo

Resultado: No irrita los ojos

(Directrices de ensayo 405 del OECD)

Sensibilización respiratoria o cutánea

Ensayo de ganglio linfático local (LLNA) - Ratón

Resultado: negativo

(Directrices de ensayo 429 del OECD)

Mutagenicidad en células germinales

Tipo de Prueba: Mutagenicidad (ensayo de células de mamífero): ensayo de aberración cromosómica.

Sistema experimental: células del ovario del hámster chino

Activación metabólica: con o sin activación metabólica

Método: Directrices de ensayo 473 del OECD

Resultado: negativo

Carcinogenicidad

Sin datos disponibles

Toxicidad para la reproducción

Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Sin datos disponibles

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas

Sin datos disponibles

Peligro de aspiración

Sin datos disponibles

11.2 Información Adicional

Propiedades de alteración endocrina

Producto:

Valoración

La sustancia/la mezcla no contienen componentes que tengan propiedades alteradoras endocrinas de acuerdo con el artículo 57(f) de REACH o el Reglamento delegado de la Comisión (UE) 2017/2100 o el Reglamento de la Comisión (UE) 2018/605 en niveles del 0,1 % o superiores.

Según nuestras informaciones, creemos que no se han investigado adecuadamente las propiedades químicas, físicas y toxicológicas.

No pueden excluirse características peligrosas, pero son poco probables si su manipulación es adecuada.

La inhalación de partículas debería evitarse; aunque resulten inertes pueden afectara las vías respiratorias.



IATA: Mercancía no peligrosa

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.4 Grupo de embalaje

ADR/RID: - IMDG: - IATA: -

14.5 Peligros para el medio ambiente

ADR/RID: no IMDG Contaminante marino: IATA: no
no

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Sin datos disponibles

Otros datos

Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación del transporte.

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química



SECCIÓN 16. Otra información

Texto completo de otras abreviaturas

ADN - Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por vías navegables interiores; ADR - Acuerdo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera; AIIC - Inventario de productos químicos industriales de Australia; ASTM - Sociedad Estadounidense para la Prueba de Materiales; bw - Peso corporal; CMR - Carcinógeno, mutágeno o tóxico para la reproducción; DIN - Norma del Instituto Alemán para la Normalización; DSL - Lista Nacional de Sustancias (Canadá); ECx - Concentración asociada con respuesta x%; ELx - Tasa de carga asociada con respuesta x%; EmS - Procedimiento de emergencia; ENCS - Sustancias Químicas Existentes y Nuevas (Japón); ErCx - Concentración asociada con respuesta de tasa de crecimiento x%; GHS - Sistema Globalmente Armonizado; GLP - Buena práctica de laboratorio; IARC - Agencia Internacional para la investigación del cáncer; IATA - Asociación Internacional de Transporte Aéreo; IBC - Código internacional para la construcción y equipamiento de Embarcaciones que transportan químicos peligros a granel; IC50 - Concentración inhibitoria máxima media; ICAO - Organización Internacional de Aviación Civil; IECSC - Inventario de Sustancias Químicas en China; IMDG - Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas; IMO - Organización Marítima Internacional; ISHL - Ley de Seguridad e Higiene Industrial (Japón); ISO - Organización Internacional para la Normalización; KECI - Inventario de Químicos Existentes de Corea; LC50 - Concentración letal para 50% de una población de prueba; LD50 - Dosis letal para 50% de una población de prueba (Dosis letal mediana); MARPOL - Convenio Internacional para prevenir la Contaminación en el mar por los buques; n.o.s. - N.E.P.: No especificado en otra parte; NO(A)EC - Concentración de efecto (adverso) no observable; NO(A)EL - Nivel de efecto (adverso) no observable; NOELR - Tasa de carga de efecto no observable; NZIoC - Inventario de Químicos de Nueva Zelanda; OECD - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; OPPTS - Oficina para la Seguridad Química y Prevención de Contaminación; PBT - Sustancia persistente, bioacumulativa y tóxica; PICCS - Inventario Filipino de Químicos y Sustancias Químicas; (Q)SAR - Relación estructura-actividad (cuantitativa); REACH - Reglamento (EC) No 1907/2006 del Parlamento y Consejo Europeos con respecto al registro, evaluación autorización y restricción de químicos; RID - reglamento relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril; SADT - Temperatura de descomposición autoacelerada; SDS - Ficha de datos de seguridad; TCSI - Inventario de Sustancias Químicas de Taiwán; TECI - Inventario de productos químicos existentes de Tailandia; TSCA - Ley para el Control de Sustancias Tóxicas (Estados Unidos); UN - Naciones Unidas; UNRTDG - Recomendaciones para el Transporte de Mercancías Peligrosas de las Naciones Unidas; vPvB - Muy persistente y muy bioacumulativo

Otros datos

La información indicada arriba se considera correcta pero no pretende ser exhaustiva y deberá utilizarse únicamente como orientación. La información contenida en este documento esta basada en el presente estado de nuestro conocimiento y es aplicable a las precauciones de seguridad apropiadas para el producto. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La Corporación Sigma-Aldrich y sus Compañías Afiliadas, no responderán por ningún daño resultante de la manipulación o contacto con el producto indicado arriba. Dirijase a www.sigma-aldrich.com y/o a los términos y condiciones de venta en el reverso de la factura o de la nota de entrega. Copyright 2020 Sigma-Aldrich Co. LLC. Se autoriza la reproducción en número ilimitado de copias para uso exclusivamente interno.



La marca que aparece en el encabezado y/o el pie de página de este documento puede no coincidir visualmente con el producto adquirido mientras hacemos la transición de nuestra marca. Sin embargo, toda la información del documento relativa al producto permanece sin cambios y coincide con el producto solicitado. Para más información, póngase en contacto con mlsbranding@sial.com

Millipore- 1.00808

The life science business of Merck operates as MilliporeSigma in the US and Canada

Página 11 de 11

