

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación de la fotocatalisis con NP-ZnO en la
remoción de DQO de las aguas residuales de la
Cervecería Artesanal, 2023**

Rosa Luz Garcia Castro
Joberth Ivan Velasquez Ramos

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jose Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 7 de Julio de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

EVALUACIÓN DE LA FOTOCATÁLISIS CON NP-ZnO EN LA REMOCIÓN DE DQO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CERVECERÍA ARTESANAL, 2023

Autores:

1. ROSA LUZ GARCIA CASTRO – EAP. Ingeniería Ambiental
2. JOUBERTH IVAN VELASQUEZ RAMOS – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 14 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Dr. José Vladimir Cornejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

El principal agradecimiento a Dios, por cada día que nos brinda para poder alcanzar nuestras metas. A la Universidad Continental, por contribuir en nuestra formación profesional. Al Dr. José Vladimir Cornejo Tueros, por su asesoramiento y tiempo para orientarnos a la culminación de nuestra investigación. A nuestras familias, por el apoyo constante. A todas las personas que de una u otra forma colaboraron para la culminación del presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi hija, que me enseña día a día que podemos construir un sueño juntas. A mi familia, quien me apoyó y alentó para continuar cuando parecía que me iba a rendir, gracias por su respaldo y porque me enseñaron que siempre hay una luz al final del camino.

Bach. Rosa Luz Garcia Castro.

A mis padres, que han hecho un enorme esfuerzo para guiarme y formarme con valores y hábitos lo cual me ha ayudado a seguir formándome como profesional. También dedico a mi esposa y mis hijos, quienes han sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y seguir luchando para ser un ejemplo para ellos.

Bach. Joubberth Ivan Velasquez Ramos.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.2. Formulación del problema.....	2
1.1.2.1. Problema general	2
1.1.2.2. Problemas específicos	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación e importancia	3
1.3.1. Justificación ambiental	3
1.3.2. Justificación metodológica	4
1.3.3. Justificación social.....	4
1.4. Delimitación del estudio	5
1.4.1. Territorial.....	5
1.4.2. Temporal.....	5
1.4.3. Conceptual.....	5

1.5.	Hipótesis y variables.....	6
1.5.1.	Hipótesis general.....	6
1.5.2.	Hipótesis específicas.....	6
1.5.3.	Variables.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....		9
2.1.	Antecedentes del problema.....	9
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	9
2.1.2.	Antecedentes regionales.....	12
2.1.3.	Antecedentes locales.....	15
2.2.	Bases teóricas.....	16
2.2.1.	Agua residual.....	16
2.2.1.1.	Clasificación de aguas residuales.....	17
2.2.1.2.	Parámetros de calidad de aguas.....	18
2.2.2.	Agua residual de la industria cervecera.....	21
2.2.2.1.	Proceso de fabricación de cerveza.....	22
2.2.3.	Tratamiento fotocatalítico.....	24
2.2.3.1.	Componentes necesarios para el proceso de fotocátalisis.....	25
2.2.4.	Nanotecnología.....	27
2.2.5.	Nanopartículas.....	27
2.2.6.	Nanopartículas de ZnO.....	28
2.2.7.	Límites Máximos Permisibles.....	29
2.2.7.1.	Límite Máximo Permissible de efluentes para alcantarillado.....	29
2.2.7.2.	Límites Máximos Permisibles de efluentes para aguas superficiales.....	30
2.3.	Definición de términos básicos.....	31
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		33
3.1.	Método, tipo y nivel de la investigación.....	33
3.1.1.	Métodos de la investigación.....	33
3.1.2.	Tipo de investigación.....	39

3.1.3.	Nivel de investigación.....	39
3.2.	Diseño de la investigación.....	39
3.3.	Población y muestra	40
3.3.1.	Población	40
3.3.2.	Muestra	40
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	41
3.4.1.	Técnicas.....	41
3.4.2.	Instrumentos	41
3.5.	Procesamiento de datos.....	42
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		43
4.1.	Resultados del tratamiento de datos	43
4.1.1.	Caracterización de las aguas residuales de cervecería	43
4.1.2.	Efecto de la concentración de las NP de ZnO, pH y tiempo de iluminación para la remoción de DQO	43
4.1.3.	Efecto de la concentración de las nanopartículas en la remoción de DQO51	43
4.1.4.	Efecto del pH en la remoción de DQO	53
4.1.5.	Efecto del tiempo de iluminación en la remoción de DQO	55
4.2.	Mecanismo de la fotocatalisis heterogénea.....	56
4.3.	Prueba de hipótesis.....	58
4.3.1.	Pruebas de hipótesis específicas	58
4.3.2.	Prueba de hipótesis general	61
4.4.	Discusión de resultados	62
CONCLUSIONES.....		65
RECOMENDACIONES		67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		68
ANEXOS.....		71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de toma de muestra de agua residual.	34
Figura 2. Remoción de DQO de las 3 réplicas.	45
Figura 3. Remoción de DQO promedio.	46
Figura 4. Efectos estandarizados de las variables.	47
Figura 5. Gráfico de interacción de variables.	48
Figura 6. Efectos principales de las variables en la remoción de DQO.	49
Figura 7. Interacción de pH y concentración de NP de ZnO.	49
Figura 8. Interacción de la concentración de NP de ZnO y tiempo de iluminación.	50
Figura 9. Interacciones de las variables de pH y tiempo.	51
Figura 10. Variación de la concentración de NP de ZnO a pH 4,5.	52
Figura 11. Variación de la concentración de NP de ZnO a pH 10.	52
Figura 12. Variación de pH a 250 mg/L.	53
Figura 13. Variación de pH a 500 mg/L.	54
Figura 14. Variación de tiempo de iluminación a pH 4.5.	55
Figura 15. Variación de tiempo de iluminación a pH 10.	56
Figura 16. Proceso fotocatalítico con ZnO.	57
Figura 17. Prueba de normalidad para remoción de DQO.	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	8
Tabla 2. Rango promedio de valores para aguas residuales de cervecería.....	21
Tabla 3. LMP de efluentes para alcantarillado.	30
Tabla 4. LMP de efluentes para aguas superficiales.....	31
Tabla 5. Características de NP-ZnO.....	37
Tabla 6. Diseño factorial de 2 ³	40
Tabla 7. Caracterización de aguas residuales de la industria cervecera Wayayo.	43
Tabla 8. Remoción de DQO.	44
Tabla 9. Porcentaje de remoción de DQO.....	47
Tabla 10. Estadística descriptiva para la hipótesis específica 2.	59
Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis para la hipótesis específica 2.....	59
Tabla 12. Estadística descriptiva para la hipótesis específica 3.	60
Tabla 13. Prueba de Kruskal-Wallis para la hipótesis específica 3.....	60
Tabla 14. Estadística descriptiva para la hipótesis específica 4.	60
Tabla 15. Prueba de Kruskal-Wallis para la hipótesis específica 4.....	61
Tabla 16. Prueba de Chi-cuadrado para hipótesis general.....	61
Tabla 17. Comparación de resultados a diferentes concentraciones de NP-ZnO.....	62
Tabla 18. Comparación de resultados a diferentes pH.	63
Tabla 19. Comparación de resultados a diferentes tiempos de iluminación.....	64

RESUMEN

Se determinó el efecto de la concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo. Para el desarrollo experimental, primero se realizó el monitoreo de las aguas residuales de cervecería, para ello se acudió a la planta cervecera del Wayayo ubicada en Chupaca, esto con la finalidad de obtener 12 L de agua residual del cual se sacaron muestras de 1000 mL por unidad experimental. Al realizar la caracterización de dicha agua, se obtuvo que el DQO que contiene fue de 1184,51 mg/L, valor que sobrepasa los Límites Máximos Permisibles (LMP) de efluentes para alcantarillado de las actividades de cerveza nueva (Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE). Para el tratamiento de estas aguas, se realizaron las variaciones de la concentración de las nanopartículas de ZnO (250 mg/L y 500 mg/L), pH (4,5 y 10) y tiempo de iluminación (2 horas y 10 horas), dando que las mejores condiciones de trabajo son a 250 mg/L de nanopartículas de ZnO, pH 4,5 y tiempo de iluminación de 10 horas, obteniendo la remoción de DQO hasta 90,67 mg/L, el cual representó una eficiencia de remoción del 92,08 %, concluyendo así que el proceso fotocatalítico con nanopartículas de ZnO es adecuado para el tratamiento de aguas residuales de la industria cervecera.

Palabras clave: concentración, nanopartícula, ZnO, fotocátalisis, pH, DQO y tiempo.

ABSTRACT

The effect of the concentration of ZnO nanoparticles, pH and illumination time was determined in a photocatalysis process for the removal of COD from the wastewater of the Wayayo's craft brewery. For the experimental development, first the monitoring of brewery wastewater was carried out, for this we went to the Wayayo brewing plant located in Chupaca, this with the purpose of obtaining 12 L of wastewater from which 1000 mL samples were taken per experimental unit. When carrying out the characterization of said water, it was obtained that the COD it contains was 1184,51 mg/L, a value that exceeds the "LMP" of effluents for sewage from new beer activities (Supreme Decree N° 003-2002-PRODUCE). For the treatment of these waters, variations in the concentration of ZnO nanoparticles (250 mg/L and 500 mg/L), pH (4,5 and 10) and illumination time (2 hours and 10 hours) were carried out, giving that the best working conditions are 250 mg/L of ZnO nanoparticles, pH 4,5 and illumination time of 10 hours, obtaining COD removal up to 90,67 mg/L, which represented an efficiency of removal of 92,08 %, thus concluding that the photocatalytic process with ZnO nanoparticles is suitable for the treatment of wastewater from the brewing industry.

Keywords: concentration, nanoparticles, ZnO, photocatalysis, pH, COD and time.

INTRODUCCIÓN

En el Perú en los últimos años hubo un gran crecimiento en la formación de empresas de cerveza artesanal, las cuales utilizan recursos hídricos para la producción de cerveza y limpieza de equipos generando así una gran cantidad de efluentes con una elevada carga de contaminantes orgánicos e inorgánicos, los cuales llegan a producir turbidez en el efluente que no solo afecta a la parte estética del recurso hídrico, sino que también por el exceso de carga orgánica se pone en riesgo de la biodiversidad acuática.

Es por ello que, en los últimos años con el propósito de abordar esta problemática, se han desarrollado diversos tratamientos ya sean físicos, químicos o biológicos los cuales en ocasiones suelen ser complejos y costosos.

Por lo que científicos en estudios recientes han realizado la aplicación de la fotocatalisis heterogénea, que es una técnica moderna para descomponer contaminantes orgánicos. La acción electromagnética de la radiación se utiliza para llevar a cabo el proceso en presencia de un fotocatalizador a base de un material de óxido semiconductor. Entre varios tipos de fotocatalizadores, el óxido de zinc (ZnO) ha demostrado ser un catalizador adecuado para llevar a cabo la degradación fotocatalítica, destacando por su rentabilidad y alta actividad fotocatalítica.

Es por ello que el presente trabajo busca evaluar el efecto de la concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en un proceso de fotocatalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal. Para el desarrollo de la investigación se cuenta con cuatro capítulos:

El planteamiento del problema, los objetivos, la justificación, las hipótesis y la identificación de la variable se presentan en el primer capítulo. El segundo capítulo incluye una revisión de la literatura consultada, que incluye los antecedentes, el marco teórico y el marco conceptual.

El tercer capítulo detalla la metodología y el diseño del experimento que se realizó tanto en el laboratorio como en el campo. Los datos obtenidos se presentan en el cuarto capítulo a través de tablas y gráficas. Luego se discuten los resultados y se verifican las hipótesis generales y específicas, para así alcanzar conclusiones de la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Como la cerveza es la más consumida del mundo, ocupa un lugar estratégico en la producción de bebidas. Sin embargo, su proceso de fabricación genera algunos impactos ambientales, como un alto consumo de energía, materias primas y agua, así como una generación significativa de desechos sólidos, emisiones de CO₂ y aguas residuales, lo que tiene un impacto en el medio ambiente, la economía y la sociedad (1). Además, se sabe que el proceso de obtención de cerveza consume de 4 litros a 20 litros de agua por litro de producto elaborado (2). Este efluente no puede ser utilizado de ninguna manera porque tiene una alta demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno, fósforo y otras cargas orgánicas (3).

Con el propósito de abordar esta problemática, es fundamental alcanzar un tratamiento de aguas que brinden tasas de reducción de DQO, superiores al 80 %. Aunque lograr esta eficiencia demanda la combinación de procesos, sin embargo, suelen ser más complejos y costosos. En este contexto, la degradación fotocatalítica emerge como una opción prometedora, gracias a la generación altamente oxidativa de radicales hidroxilos que degradan la carga orgánica. Entre varios tipos de fotocatalizadores, el óxido de zinc (ZnO) ha demostrado ser un catalizador

adecuado para llevar a cabo la degradación fotocatalítica, destacando por su rentabilidad y alta actividad fotocatalítica (4).

El presente estudio examina cómo la concentración de nanopartículas de ZnO, el pH y el tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis afectan la eliminación de DQO de las aguas residuales de las industrias cerveceras. Esta investigación busca determinar las condiciones ideales para el tratamiento de aguas contaminadas por esta industria.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la caracterización fisicoquímica del agua residual de la cervecería artesanal Wayayo?
- ¿Cuál es el efecto de la concentración de las nanopartículas de ZnO en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo?
- ¿Cuál es el efecto del pH en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo?
- ¿Cuál es el efecto del tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente el agua residual de la cervecería artesanal Wayayo.
- Determinar el efecto de la concentración de las nanopartículas de ZnO en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.
- Determinar efecto del pH en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.
- Determinar efecto del tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación ambiental

La importancia del presente trabajo radica en abordar el desafío que representa la gran cantidad de aguas utilizadas y desechadas por las industrias cerveceras. Esta situación demanda urgentemente un tratamiento adecuado para dichas aguas, ya sea para su vertimiento seguro a ríos o para su reutilización dentro de la propia industria cervecera. El presente trabajo es justificado en un enfoque ambiental, ya que busca lograr una disminución significativa de la DQO, garantizando que los

niveles de contaminación cumplan con los Límites Máximos Permisibles (LMP), lo que permitiría su reintegración segura al medio ambiente o su reutilización. Además, esta investigación tiene un fuerte respaldo social, debido que, al reducir el grado de contaminación en las aguas residuales, se estaría contribuyendo directamente a la prevención de enfermedades y problemas de salud asociados con la contaminación hídrica. Desde un punto de vista económico, el uso del proceso de fotocátalisis con ZnO representa una ventaja importante, ya que requiere de una baja inversión. Esto se traduce en una opción más viable y sostenible para las industrias cerveceras, permitiéndoles abordar sus desafíos de tratamiento de aguas sin incurrir en costos excesivos.

1.3.2. Justificación metodológica

Los resultados y conocimientos obtenidos a través de esta investigación tienen un valor trascendental para futuras investigaciones relacionadas con la remoción de DQO en aguas residuales de la industria cervecera. Esta investigación servirá como una base sólida para continuar avanzando en el desarrollo de procesos cada vez más eficientes y sostenibles para el tratamiento de aguas industriales, beneficiando tanto al medio ambiente como a la sociedad en su conjunto.

1.3.3. Justificación social

Se considera un problema grave el mal manejo de las aguas residuales de cervecería ya que al presentar un gran contenido de materia orgánica y nutrientes los cuales pueden afectar en sus fuentes receptoras ocasionado modificaciones en su composición y a largo plazo un problema de eutrofización, lo cual puede causar problemas a las personas que utilizan estas fuentes receptoras para sus actividades como ganadería o agricultura ya que se vuelven fuentes de enfermedades para plantas, animales y personas. Los riesgos asociados con la contaminación del agua y la remediación de esta son puntos importantes en la agenda de políticos, técnicos y comunidad científica. La legislación actual establece un marco

legal para proteger el agua de actividades potencialmente contaminantes; sin embargo, la situación actual de contaminación del agua es el resultado de malas prácticas en el pasado, especialmente relacionadas con la mala gestión de aguas residuales domésticas e industriales, por ello, el tratamiento de dichas aguas residuales y el evitar la contaminación de fuentes receptoras será de provecho para los pobladores del Valle del Mantaro.

1.4. Delimitación del estudio

1.4.1. Territorial

El estudio se llevó a cabo con las aguas residuales producidas por la industria cervecera artesanal de la empresa Wayayo, ubicada en la Provincia de Chupaca, Departamento de Junín.

1.4.2. Temporal

El estudio se llevó a cabo desde inicios del mes de agosto del 2023 hasta el 2024, teniendo en consideración que durante este tiempo se desarrolló el planteamiento del plan de tesis y su aprobación, también el desarrollo de la parte experimental y pruebas de laboratorio, así como se consideró el desarrollo del borrador y presentación ante la universidad.

1.4.3. Conceptual

Se tuvieron en cuenta conceptos básicos del proceso de fotocatalisis con nanopartículas de ZnO para tratar aguas residuales de cervecería, para poder establecer los procedimientos adecuados para el desarrollo de la parte experimental, donde se tomó en consideración ello de los artículos ya que trabajos del tema en estudio a nivel regional y local son escasos, además si consideramos el parámetro de estudio de remoción de DQO estos se van reduciendo.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1. Hipótesis general

*H₀: La concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis no presentan efectos significativos en la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

*H_a: La concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis presentan efectos significativos en la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

1.5.2. Hipótesis específicas

*H₀₂: La caracterización fisicoquímica no presenta concentraciones significativamente superiores a las normativas establecidas para las aguas residuales industriales.

*H_{a2}: La caracterización fisicoquímica presenta concentraciones significativamente superiores a las normativas establecidas para las aguas residuales industriales.

*H₀₃: La concentración de las nanopartículas de ZnO no presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

*H_{a3}: La concentración de las nanopartículas de ZnO presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

*H₀₄: El pH no presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

*H_{a4}: El pH presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

*H₀₅: El tiempo de iluminación no presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

*H_{a5}: El tiempo de iluminación presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

1.5.3. Variables

- Variables independientes:
 - Presencia concentración de nanopartículas de ZnO.
 - pH.
 - Tiempo de iluminación.
- Variable dependiente:
 - DQO.

Tabla 1. *Operacionalización de variables.*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Concentración de nanopartículas de ZnO	Semiconductor utilizado en la fotocatalisis heterogénea con gran estabilidad química, alta conductividad térmica, banda prohibida de energía compatible con UV-Vis y bajos costos de producción para la degradación de DQO.	La variable de concentración de nanopartículas de ZnO conto con dos niveles de estudios un alto y uno bajo de 500 mg/L y 250 mg/L respectivamente que se usara para el tratamiento de las aguas residuales de cervecería.	Concentración de NP-ZnO	mg/L	Nominal
pH	Es una forma de medir el grado de acidez o alcalinidad de una solución. Este tiene la función de mejorar la formación de radicales hidroxilos en condiciones alcalinas	La variable pH fue ajustada en dos niveles bajo y alto de 4 y 10 respectivamente y con ayuda de agentes como el HCl A 1M para acidificar y el NaOH a 1M para alcalinizar.	pH	Unidades de pH	Nominal
Tiempo de iluminación	Es el tiempo en el cual se dará el proceso de fotocatalisis. El tiempo de iluminación será el periodo en el cual se dará la reducción de DQO.	El tiempo de iluminación se llevó cabo con una lámpara ultravioleta (UVA) (Philips, 7,7 W, 350nm - 400 nm) y fue estudiado en el nivel bajo de 2 h y el nivel alto de 10 h.	Tiempo de iluminación	Horas	Nominal
DQO	Antes y después del tratamiento, se evaluará la demanda química de oxígeno, y los resultados se compararán con la LMP para cervecías.	El DQO fue analizado por el método de colorimetría de reflujo cerrado en el cual existe una variación de color anaranjado a diferentes tonalidades de verde según la concentración del DQO.	Concentración de DQO	mg/L	Nominal

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el artículo titulado: “Degradación fotocatalítica de vinaza de caña de azúcar usando fotocatalizador de ZnO: parámetros operativos, estudios cinéticos, evaluaciones de fitotoxicidad y reutilización”, se tuvo el objetivo de determinar el impacto de varios parámetros en la degradación fotocatalítica de la vinaza digerida anaeróbicamente (AnVE) a través de la decoloración y la eficiencia de reducción de la DQO utilizando fotocatalizador de óxido de zinc (ZnO). Como metodología, se realizaron experimentos de fotodegradación en un vaso de precipitado pírex de 1 L y el volumen de trabajo fue de 500 mL. Se utilizó una lámpara ultravioleta A (UVA) como fuente de luz en el fotorreactor. En el vaso de precipitado se colocó a 5,0 cm de la fuente de luz. Los ensayos fotocatalíticos se realizaron con una determinada cantidad de catalizador disperso en 500 mL de vinaza (pH diluido o preajustado) y tuvieron una duración de 10 h. Antes de encender la fuente de luz, la adsorción se llevó a cabo durante 30 min agitando para asegurar el máximo equilibrio de adsorción-desorción. la aireación se suministró en el experimento con la temperatura ambiente de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Como resultados y conclusiones, se mostró que la eficiencia de reducción de DQO y la decoloración alcanzaron el 83,40 %

y el 99,29 % respectivamente, en condiciones de concentración inicial de DQO de 250 mg/L, pH 10 y dosificación de catalizador de 2,0 g/L. La reducción de la longitud de la raíz y el peso del frijol mungo indicó que la vinaza de caña de azúcar contiene enormes cantidades de sustancias orgánicas que afectan el crecimiento de la planta. Además, la recuperación del catalizador alcanzó el 93 % en la prueba de reutilización (4).

En el artículo titulado: "Tratamiento de vinaza de caña de azúcar mediante fotocatalisis heterogénea con nanopartículas de óxido de zinc", se tuvo como propósito utilizar la fotocatalisis heterogénea con nanopartículas de óxido de zinc (ZnO-NP) tanto como proceso antibacteriano como para reducir la DQO y la DBO₅. Como metodología, las ZnO-NP se sintetizaron mediante la precipitación de sulfato de zinc heptahidratado e hidróxido de sodio, lo que dio como resultado nanopartículas con un tamaño de 21,6 nm ± 0,3 nm y una banda prohibida de energía de 2,6 eV. Los exámenes microscópicos revelaron que los microorganismos *Saccharomyces cerevisiae* están presentes en la vinaza y que la concentración inhibitoria mínima para las ZnO-NP es de 1,56 g/L. La fotocatalisis con 40 mg/L de ZnO-NP durante 4 h de exposición a la luz solar resultó en eficacias de reducción de DQO y DBO del 17,1 % y 71,7 % respectivamente. En forma de conclusión, este estudio demuestra la viabilidad del uso de ZnO-NP en el tratamiento de vinaza, contribuyendo a aplicaciones sostenibles y reduciendo los impactos ambientales de la fertiirrigación (5).

En el artículo titulado: "Biosíntesis de nanopartículas de óxido de zinc utilizando extracto de hoja de *Prosopis juliflora* como potencial fotocatalizador para el tratamiento de efluentes de papeleras", se planteó el objetivo asociado a la síntesis de ZnO-NP a partir de *P. juliflora* por el método de la ruta verde y la evaluación de su actividad fotocatalizadora para el tratamiento de efluentes de papeleras. Como metodología, se utilizaron varios métodos de caracterización, incluida la difracción de rayos X (XRD), la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR), el microscopio electrónico de barrido (SEM) y el microscopio electrónico de transmisión TEM. Las NP de ZnO tienen una estructura de wurtzita hexagonal con una orientación preferencial de 101 planos, según XRD. Los grupos funcionales que se encuentran en las NP de ZnO aisladas de las

hojas son los responsables de los picos de FT-IR que les corresponden. La morfología de las nanopartículas producidas es una forma esférica, como se muestra en las imágenes SEM. Como conclusiones, el examen TEM reveló NP de ZnO con un tamaño de 50 - 55 nm. Estas NP de ZnO se utilizaron para remediar los contaminantes en los efluentes de las fábricas de papel y pudieron eliminar el 86 % de los contaminantes orgánicos de la muestra a una dosis de 0,05 mg/L y reducir el 89 % de los contaminantes orgánicos durante un tiempo reflejo de 5 h. Por su parte, para la fotocatalisis de efluentes de papeleras, se ha observado que la DQO se eliminó en un 74,30 %, 63,23 % y 57,96 % para el primer, segundo y tercer ciclo respectivamente (6).

En el artículo titulado: "Degradación fotocatalítica de colorantes azoicos dispersos en aguas residuales textiles utilizando nanopartículas de óxido de zinc verde sintetizadas en extracto de plantas: una revisión crítica", se tuvo como objetivo explorar la eficiencia y el mecanismo de la fotodegradación de los tintes de aguas residuales textiles utilizando nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NP) sintetizadas en el extracto de la planta. Como metodología, la literatura indica que alrededor del 70 al 80 % de los estudios utilizan fotocatalisis utilizando ZnO/TiO₂ como fotocatalizador en el tratamiento de aguas residuales, sin embargo, los fotocatalizadores utilizados tienen un potencial limitado para eliminar los tintes de las aguas residuales textiles. Por lo tanto, se requirió mejorar la síntesis de ZnO NP para maximizar la eficiencia de PD para degradar los tintes de aguas residuales textiles. Como conclusiones, la mayor eficiencia de fotólisis se encontró a bajas concentraciones de colorante y pH para mejorar los parámetros operativos iniciales. La fotólisis aumenta con el aumento de la fotocatalisis en el área superficial y con una cantidad óptima de fotocatalizador. Además, también es necesaria una fotoirradiación adecuada para llevar a cabo el proceso fotocatalítico a temperatura ambiente (7).

En el artículo titulado: "Eliminación de la demanda química de oxígeno de los efluentes agrícolas mediante fotocatalisis ZnO y foto-Fenton", se tuvo como objetivo investigar la degradación fotocatalítica de ZnO en condiciones aireadas y no aireadas, y foto-Fenton para reducir la demanda

química de oxígeno en el efluente de sagú. Como metodología, la fotólisis del efluente de sagú en presencia de radiación ultravioleta y aireación dio como resultado la eliminación del 68 % de la DQO. En forma de resultados y conclusiones, se indica una alta reducción de la DQP para diferentes concentraciones de efluente de sagú a 1:10, 1:100 y 1:1000 diluido con agua destilada después del tratamiento fotocatalítico con ZnO en medio aireado. Para la proporción de efluente de sagú de 1:1000, tras 2 horas de tratamientos fotocatalítico aireados y no aireados respectivamente. Se consiguieron reducciones de la DQO del 90 - 95 % y del 85 % utilizando 3 g/L de ZnO. Por otro lado, sólo el 8 % de la DQO se redujo significativamente cuando el tratamiento fotocatalítico sin aireación con ZnO se combinó con el efluente de sagú 1:10 más concentrado. Las tasas de degradación de la DQO se vieron significativamente afectadas por las cantidades de Fe^{2+} (10 - 60 mM) y H_2O_2 (50 - 150 mM). Bajo tratamiento foto-Fenton con 2 horas de irradiación UV, los parámetros ideales de 10 mM de Fe^{2+} y 50 mM de H_2O_2 fueron capaces de reducir el 97 % de la DQO del efluente de sagú 1:1000 bajo el tratamiento foto-Fenton con 2 h de irradiación ultravioleta. Por lo tanto, tanto la fotocatalisis ZnO como el foto-Fenton se pueden aplicar como posibles métodos de tratamiento para reducir la DQO en el efluente del procesamiento del sagú (8).

2.1.2. Antecedentes regionales

En la investigación titulada: “Influencia de la radiación solar en la descontaminación de aguas residuales urbanas a través de la fotodegradación”, se tuvo como objetivo evaluar la fotodegradación de una muestra de agua de una quebrada contaminada por efluentes domésticos exponiéndola a la radiación solar en un laboratorio de escala. En forma de metodología, para reflejar la luz del sol, se utilizaron cubos de vidrio de 10 litros colocados sobre una superficie de plástico blanco. El proceso de tratamiento consistió en colocar tres volúmenes de agua residual en capas de agua de diferentes profundidades o espesores (4, 8 y 16 cm). Se requirió un tiempo de exposición acumulativo de 24 horas durante los períodos del día en los que hay una alta radiación solar, utilizando

Accuweather. El tratamiento se completó al cabo de los 7 días. Como resultados y conclusiones, se mostró que a medida que aumentaba la profundidad de la capa de agua, el grado de tratamiento aumentaba. El pH disminuyó en un 2 %, el oxígeno disuelto aumentó en un 66,7 %, la DBO y la DQO disminuyeron en un 75,7 %, y los coliformes totales se eliminaron en un 76,3 % y 100 % respectivamente. Estos hallazgos respaldan la recomendación de instalar sistemas de fotodegradación solar para el tratamiento de aguas residuales domésticas contaminadas. La fotodegradación solar es una tecnología de gestión ambiental económica y respetuosa con el medio ambiente (9).

En la investigación titulada: “Eficiencia de remoción de la carga orgánica mediante la tecnología MBBR del agua residual procedente de una planta de cerveza artesanal”, se tuvo por objetivo determinar la eficiencia de la tecnología MBBR para eliminar la carga orgánica del agua residual de una industria de cerveza artesana. Como metodología, se empleó un experimento a escala de laboratorio, con un diseño de tres factores y dos niveles. Se realizaron ocho experimentos en total. Las variables fueron el tiempo de retención hidráulica (h), el porcentaje de llenado del volumen del portador (%) y la polimerización, dosis de coagulante de cloruro de aluminio (ppm). Los resultados de la caracterización mostraron que los contaminantes SST, DBO₅ y DQO fueron de 274 mg/L, 1494,2 mg/L y 3114 mg/L en el agua de muestra respectivamente. Las tasas de remoción de DBO₅, DQO y SST utilizando la tecnología MBBR fueron respectivamente de 83,55 %, 92,44 % y 93,19%, lo que cumple con los LPM de descarga de aguas residuales en D.S. N° 003-2002-PRODUCE. Como conclusión, la tecnología MBBR demostró ser una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales en la industria de la cerveza artesanal porque se eliminó con éxito más del 80 % de la carga orgánica (10).

En la investigación titulada: “Degradación fotocatalítica del colorante azul BR 25 con ZnO y generación de energía eléctrica en un reactor de flujo continuo”, se tuvo por objetivo investigar la generación de electricidad y la degradación fotocatalítica del colorante azul BR 25 por ZnO en un reactor de flujo continuo. Como metodología, se empleó un reactor de vidrio con caudales de 50, 80 y 160 mL/min y electrodos de Cu/Fe, además, se

utilizaron concentraciones de colorante de 25, 50 y 100 ppm, además de tres concentraciones de H_2O_2 de 6,0 mg/mL, 8,4 mg/mL y 10,8 mg/mL, con diferentes tiempos de retención hidráulica de 2, 4 y 6 horas. En forma de conclusión, las mejores condiciones de trabajo fueron de concentración de colorante de 25 ppm, 10,8 mg/mL H_2O_2 , caudal de 80 mL/min y un tiempo de 4 horas, pues se logró una degradación total. Así también, con una concentración de 25 ppm, 10,8 mg/mL H_2O_2 y 6 horas se generaron 0,88 V y 1,09 mA. Debido a la buena interacción entre el tinte, el H_2O_2 , el ZnO y la radiación solar, que produce radicales OH, este proceso descompone el tinte de manera muy eficiente y genera electricidad (11).

En la investigación titulada: “Tecnologías fotocatalíticas para su aplicación práctica en la remediación de efluentes generados por el molino de aceite de palma: revisión sistemática”, se tuvo por objetivo determinar los aspectos más pertinentes de la aplicación práctica de tecnologías fotocatalíticas para la remediación de los efluentes producidos por el molino de aceite de palma. Como metodología, se realizó una revisión sistemática de 70 artículos científicos, que fueron eliminados la mayoría quedando 25 estudios. En forma de resultados, los fotocatalizadores más comunes son TiO_2 y ZnO, se utilizaron en una proporción significativa del 39 %. Los fotocatalizadores CaFe_2O_4 y Wo_3 también se utilizaron en una proporción significativa del 11 %. Esto se debe a que el TiO_2 es el fotocatalizador más prometedor para la fotocatalisis heterogénea. Esto se debe a su fuerte actividad fotocatalítica, no toxicidad, alta estabilidad química, bajo costo y alta transparencia a la luz visible. El rendimiento de eliminación de los fotocatalizadores de TiO_2 y ZnO es comparable al límite máximo de DQO permitido de 50 mg/L. Además, el porcentaje promedio de eliminación de DQO mediante fotocatalizadores es del 80 % al 100 %, la eliminación de DBO es del 60 % al 90 % y la eliminación de color es del 90 % al 100 %. Como conclusión, las propiedades físicas y químicas de un fotocatalizador influyen en su rendimiento fotocatalítico, y el área de superficie específica (SST) es una de las propiedades más importantes. Además, los autores descubrieron que la mayoría de los fotocatalizadores examinados tenían un SSA muy bajo, menor a 30 $\text{m}^2/\text{año}$ (12).

2.1.3. Antecedentes locales

En la investigación titulada: “Nanopartículas de óxido de zinc para la reducción del fenol en aguas residuales sintéticas Huancayo 2021”, se tuvo por objetivo evaluar el uso de nanopartículas de óxido de zinc para reducir el fenol en las aguas residuales sintéticas de Huancayo en 2021. utilizando tanto el tipo de investigación aplicada como experimental. Como metodología, se utilizó una jarra para preparar 200 mL de agua con una solución sintética de fenol a 5 mg/L. Las dosis de nanopartículas utilizadas en los experimentos fueron de 0,2 y 0,8 g, así como las variaciones de pH (3 y 6), y el tiempo (30 y 60 minutos). Se planteó con un arreglo factorial completamente al azar (dos dosis x dos pH x dos tiempos). Los resultados de la reducción del fenol demostraron que el tratamiento 8 (0,8 g de nanopartículas de ZnO, 6 de pH y 60 minutos) alcanzó un porcentaje de remoción del fenol del 93,56 %. Como conclusiones, las nanopartículas de ZnO son una opción efectiva y fácil de usar para eliminar el fenol de las aguas residuales sintéticas (13).

En la investigación titulada: “Reducción de DQO y DBO₅ por fotocátalisis heterogénea con TiO₂ y H₂O₂ de las aguas residuales del camal municipal de la provincia de Chupaca”, se tuvo por objetivo evaluar la degradación de los compuestos orgánicos de las aguas residuales del camal municipal de la provincia de Chupaca mediante fotocátalisis con TiO₂. Como metodología, tras completar la caracterización fisicoquímica de las muestras de aguas residuales de la ciudad de Chupaca, se llevó a cabo la parte experimental en los laboratorios de la Universidad Nacional del Centro del Perú, donde se prepararon con catalizadores y se expusieron a la radiación ultravioleta. Para llevar a cabo las pruebas experimentales, se emplearon tiempos de retención de 30 y 45 minutos, y las concentraciones de TiO₂ fueron de 1 y 2 g. Como resultados, se observó que los porcentajes de reducción de DQO y DBO₅ alcanzaron el 87,40 % y el 89,39 % respectivamente, para una dosis de TiO₂ de 1 g; en términos de tiempo, se observó el mismo porcentaje de reducción de DQO y DBO con 1 g de TiO₂ en 45 minutos. Se concluyó entonces que con una dosis de 1 g de TiO₂ y un tiempo de 45 minutos se obtuvieron los mejores resultados (14).

En la investigación titulada: “Aplicación del método de descomposición fotocatalítica utilizando nanopartículas de óxido de zinc para el tratamiento de aguas residuales”, se tuvo por objetivo investigar los fotocatalizadores utilizando nanopartículas de óxido de zinc, que se utilizan para descomponer agentes contaminantes orgánicos mediante la acción de la luz visible. Como metodología, la sal de zinc se combinó con una solución de etilenglicol y agua destilada en un medio alcalino y se calentó y agitaba constantemente para producir el fotocatalizador. Se utilizó la actividad fotocatalítica de las muestras de nanopartículas de ZnO para eliminar materia orgánica y evaluar su idoneidad para el tratamiento de aguas residuales. Para ello, se manipuló el pH (5 y 8), la concentración de nanopartículas de ZnO (0,5 g/L y 2,5 g/L) y el tiempo de tratamiento (2 y 4 horas). Como resultados, se encontró que con una concentración de 2,5 g/L de nanopartículas y un tiempo de 4 horas, se logró la mayor eficiencia en la remoción de DQO, con un 94,30 %. Como conclusión, debido a que el proceso de oxidación fotocatalítica tiene un mayor efecto en la descomposición de la materia orgánica a un valor de pH ácido, se pudo demostrar que existe una interacción entre diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de zinc y el valor del pH (15).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua residual

Las aguas residuales son aquellas que han sufrido alteraciones a causa de diversas actividades realizadas por el humano y el deterioro de su calidad generando que este recurso demande la aplicación de tratamientos antes de ser vertidos a un cuerpo natural, es decir, que las aguas residuales son una mezcla de todo tipo de componentes tanto como orgánicos (carbohidratos/azúcares, proteínas, aceites y grasas, entre otros) e inorgánicos (sales, arena, arcilla, etc.). Estos componentes se encuentran parcialmente suspendidos y algunos disueltos de forma parcial en el agua (16).

2.2.1.1. Clasificación de aguas residuales

- Aguas residuales domésticas: se refiere al agua que los seres humanos emplean para fines de higiene, como baños, cocinas, lavandería, entre otros. Este tipo de agua contiene principalmente desechos humanos y restos de productos de cuidado personal. Estos desechos provienen de las casas, centros comerciales, oficinas y edificaciones parecidas. Las aguas generadas en este contexto son notables por su alto contenido de material orgánico biodegradable y nutrientes (16).
- Aguas residuales industriales: es el resultado de las actividades realizadas por las industrias, la cual exhibe características específicas determinadas por el sector industrial que la origina, como la agroindustria, la agricultura, la minería, la producción de energía, entre otros. Debido a la diversidad de aplicaciones, esta agua puede albergar particularidades únicas. Por ejemplo, puede incluir plomo, cobre, mercurio, níquel y otros metales pesados tóxicos, dependiendo del tipo de industria. Estos elementos deben ser sometidos a un tratamiento antes de ser liberados en los sistemas de alcantarillado. Dadas sus particularidades, estas aguas residuales son desafiantes de tratar y necesitan consideraciones específicas en su diseño y manejo (16).
- Aguas residuales municipales: estas aguas son comúnmente denominadas "aguas residuales", ya que contienen una mezcla de diversos tipos de agua, incluyendo aguas pluviales, aguas domésticas e incluso aguas industriales que han sido sometidas previamente a tratamiento (16).
- Aguas negras: provienen principalmente de instalaciones de baño como urinarios e inodoros. Se distinguen por su contenido de excrementos y bacterias coliformes, y además incluyen componentes como sólidos suspendidos y nitrógeno (N), entre otros (16).

- Aguas grises: son aguas con una cantidad baja de aceites, grasas y sólidos suspendidos. Los lavamanos, los lavaplatos, las duchas, las lavadoras, los jacuzzis, las tinas y otros dispositivos similares son sus principales fuentes. No contienen ni heces ni bacterias coliformes en su composición (16).
- Aguas pluviales: este tipo de agua es originada por el escurrimiento superficial que resulta de la lluvia, y proviene de manera considerable al acumularse en suelos y superficies de techos (16).

2.2.1.2. Parámetros de calidad de aguas

Resulta apropiado examinar los criterios empleados para determinar su calidad. Algunos de estos criterios se utilizan para supervisar los procedimientos de tratamiento a través de mediciones que pueden ser continuas o intermitentes. Estos criterios pueden ser categorizados en cuatro conjuntos principales: físicos, químicas y biológicos (17):

- a) Características físicas: según Alarcón y Fernández (17 págs. 20-24), se mencionan los más relevantes para el trabajo:
- Color: se refiere a su habilidad para absorber determinadas radiaciones dentro del espectro visible. Aunque no puede ser atribuido a un solo componente, algunos colores presentes en el agua natural pueden sugerir la existencia de ciertos contaminantes.
 - Olor: la mayoría de las veces, los olores provienen de la liberación de gases durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual fresca emite un olor desagradable, pero suele ser más tolerable que el del agua residual séptica.
 - Turbidez: se debe a que el agua no puede transmitir luz debido a las partículas insolubles suspendidas en ella,

ya sean coloidales o de tamaño muy pequeño. Esta situación es frecuente en aguas superficiales. Estas partículas son difíciles de separar por decantación y filtración y pueden causar sedimentos en conductos de agua y equipos de procesamiento.

- Temperatura: la temperatura del agua residual suele ser más alta que la del agua de suministro principalmente porque las aguas calientes de los hogares y varios procesos industriales están presentes. El mayor calor específico del agua en comparación con el aire es la causa de esto.

b) Características químicas: según Alarcón y Fernández (17 págs. 28-27):

- Materia orgánica: el carbono, el hidrógeno, el oxígeno y, ocasionalmente, el nitrógeno son los principales componentes de la materia orgánica. Las proteínas, que suelen representar entre el 40 % y el 60 % de los compuestos orgánicos de las aguas residuales, los hidratos de carbono, que suelen representar entre el 25 % y el 50 %, y las grasas y aceites, que suelen representar entre el 10 % y el 20 % de los compuestos orgánicos de las aguas residuales. Otra sustancia orgánica muy presente en la orina es la urea, que es el principal componente.
- DBO: el indicador más utilizado para medir la contaminación orgánica de las aguas residuales y superficiales es la demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO_5). Este parámetro mide la cantidad de oxígeno disuelto que utilizan los microorganismos durante cinco días para oxidar bioquímicamente los materiales orgánicos.
- DQO: se utiliza para calcular la cantidad de materia orgánica presente en las aguas residuales municipales o industriales que contiene sustancias perjudiciales para la vida biológica. La demanda bioquímica de

oxígeno (DBO) y la calidad de vida (DQO) de las aguas residuales rara vez son iguales. Esto se debe a que la DQO implica más moléculas oxidadas biológicamente que moléculas oxidadas químicamente.

- Materia inorgánica: los niveles de compuestos inorgánicos en el agua aumentan como resultado de la interacción del agua con diferentes formaciones geológicas y la adición de aguas residuales, tratadas o no. Las aguas naturales pueden disolver ciertos minerales y rocas. La disolución aumenta la cantidad de materiales inorgánicos en el agua.
 - pH: la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución acuosa. Describe la acidez o alcalinidad de una solución, lo que puede afectar el resultado de una aplicación de agua específica. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH que oscila entre 6 y 8. Medirlo es sencillo con un medidor de pH. Es sencillo medirlo con un pH-metro bien calibrado o tiras reactivas cuyo color cambia con el pH.
- c) Características biológicas: para evaluar las características biológicas de las aguas residuales, es esencial tener un conocimiento detallado de los aspectos biológicos relacionados con ellas según Alarcón y Fernández (17 págs. 47-51). Esto implica familiarizarse con los siguientes aspectos:
- Principales grupos de microorganismos: es importante comprender los grupos dominantes de microorganismos presentes en aguas residuales y superficiales.
 - Microorganismos patógenos: debe haber una identificación de los organismos patógenos presentes en las aguas residuales, ya que su presencia puede tener implicaciones para la salud pública.

- Indicadores de contaminación: se deben identificar y comprender los organismos que sirven como indicadores de la contaminación en el agua.
- Toxicidad del agua tratada: se deben conocer los métodos utilizados para evaluar la toxicidad del agua tratada.

2.2.2. Agua residual de la industria cervecera

Además de basura y subproductos, el negocio cervecero produce grandes cantidades de aguas residuales debido a la limpieza de tanques, botellas, equipos y plantas. Dependiendo del consumo preciso en cada instalación industrial, la fabricación de 1 litro de cerveza requiere la generación de 3 a 10 litros de aguas residuales. Los niveles de carga orgánica varían significativamente entre las distintas fuentes de generación. Por ejemplo, la aportación de carga orgánica más significativa se produce durante la limpieza de los depósitos utilizados en las fases iniciales del proceso de fabricación, como la generación del mosto, la fermentación y la maduración, sin embargo, a pesar de tener una carga orgánica menor en comparación con los otros tipos de aguas residuales, el lavado de botellas, equipos y la propia instalación producen la mayor parte del volumen de aguas residuales (18).

Tabla 2. *Rango promedio de valores para aguas residuales de cervecería.*

PARÁMETROS	RANGO DE VALORES
pH	3 - 12
Temperatura (°C)	18 - 40
DQO (mg/L)	2000 - 6000
DBO ₅ (mg/L)	1200 - 3600
Ácidos grasos volátiles (mg/L)	1000 - 2500
Fosfatos (PO ₄ ³⁻) (mg/L)	10 - 50
Nitrógeno kieldahl (mg/L)	25 - 80
Sólidos totales (mg/L)	5100 - 8750
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	2900 - 3000
Sólidos disueltos totales	2020 - 5940

Nota: DQO: Demanda Química de Oxígeno. DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno.
Fuente: Gabriel (18 pág. 7).

2.2.2.1. Proceso de fabricación de cerveza

La fabricación de cerveza es un conjunto de etapas que transforman los ingredientes básicos, como malta, lúpulo, agua y levadura, en la deliciosa bebida que todos conocemos. A continuación, se presenta una descripción general de las principales etapas del proceso de fabricación de cerveza:

- Germinación o malteado: es el proceso mediante el cual los granos desarrollan las enzimas requeridas para la fase subsiguiente de maceración. Para lograr esto, es necesario que las semillas alcancen un nivel de humedad cercano al 45 %. Para lograrlo, las semillas se someten a un proceso de remojo utilizando agua a 16°C y luego se procede a un proceso de drenaje, donde los granos se dejan al aire para evitar cambios de temperatura abruptos (19).
- Secado y tostado: el molino recibe las semillas de malta. En esta operación se utiliza la molienda en seco o la molienda en húmedo. El proceso de secado se elige para eliminar hasta un 5 % de la humedad de los granos. debería tener como resultado prolongar la viabilidad de almacenamiento de los granos en caso de que no se vayan a moler inmediatamente después de la germinación. Además, el tostado se realiza para reducir la cantidad de agua de los granos. Durante este proceso, los granos adquieren un color marrón oscuro. El objetivo principal del tostado es introducir diferentes sabores en los granos, lo que producirá una cerveza más amarga y/o de color más oscuro (19).
- Molienda: el objetivo de la trituración es reducir el tamaño de las partículas para que las enzimas utilizadas en el proceso de maceración del tanque puedan descomponer fácilmente las partículas más pequeñas (19).
- Maceración: los granos se colocan en un recipiente denominado cuba durante el proceso de maceración. Es el momento de añadir agua acidificada hasta un pH de 5,5.

Sobre la base de una proporción de tres litros de agua por kilogramo de cereales, se calcula la cantidad de agua consumida hasta obtener una pasta con la consistencia deseada, se mezcla la mezcla (19).

- Aspersión: el método consiste en hacer pasar repetidamente el mosto por el grano para limpiarlo y eliminar los restos de carbohidratos que hayan podido quedar adheridos al grano. Para obtener la mayor concentración de azúcares en el extracto, el procedimiento se repite con agua caliente a 70°C. Es esencial tener cuidado al utilizar agua a una temperatura demasiado alta, nunca superior a 80°C para evitar la extracción de sustancias como dextrinas o taninos que perjudican el sabor de la cerveza (19).
- Cocción o hervido: pasaremos a la fase de ebullición una vez obtengamos el mosto, un líquido dulce con un matiz acaramelado (el color variará en función de cuánto se haya tostado el grano y cuánto tiempo se haya macerado). En este punto, la mezcla se llevará a ebullición durante 90 minutos mientras se añade el lúpulo (19).
- Enfriamiento: el mosto se enfría mediante un sistema de refrigeración que incluye un intercambiador de calor, por el que circula agua a 8°C para la levadura lager o a 20°C para la levadura ale, dependiendo del tipo de levadura que se utilice. Es seguro añadir la levadura después de que el líquido alcance la temperatura correcta, ya que exponerla a una temperatura más alta podría dañar la cepa e impedir que se produzca la fermentación (19).
- Fermentación: una vez enfriado, el mosto se prepara para iniciar el proceso de fermentación. Las diferencias en la cantidad de levadura de arranque añadida tendrán un impacto considerable en el resultado, aunque las cantidades de levadura de arranque pueden variar según los procedimientos de cada empresa. Si no se añade suficiente levadura al principio del proceso de fermentación, el

procedimiento durará más tiempo y tendrá un impacto negativo en la economía (19).

- Terminación y maduración: la cerveza se traslada a la cuba de maduración una vez que ha alcanzado la fase de fermentación deseada. Aquí, la bebida pasa por el proceso de maduración, que aumenta la producción de dióxido de carbono, a la temperatura adecuada según el tipo de cerveza. La fase de maduración del proceso es esencial porque garantiza el desarrollo de los sabores y aromas de la cerveza. La duración de la maduración afecta directamente a las sutilezas de la cerveza, ya que cuanto más tiempo pase en esta fase, más complejos y variados serán los sabores que surjan en el producto final (19).
- Filtración: esencialmente, se trata de un procedimiento mecánico que consiste en deshacerse de toda la levadura viva que hay en la bebida. La cerveza se filtra a través de una o varias capas con distintos grados de porosidad, una o varias veces (19).

2.2.3. Tratamiento fotocatalítico

En soluciones acuosas o sobre superficies sólidas, el tratamiento fotocatalítico es un sofisticado procedimiento químico que emplea la energía de la luz para descomponer impurezas y compuestos no deseados. El material fotocatalizador de este proceso, que suele ser un semiconductor como el dióxido de titanio (TiO_2) o el óxido de zinc (ZnO), interactúa con la luz para producir pares electrón-hueco en su estructura atómica (20).

Este método se utiliza con frecuencia en aplicaciones de limpieza y descontaminación del agua y el aire. Algunos ejemplos son la filtración de agua potable, la eliminación de contaminantes de aguas residuales industriales y la descomposición de moléculas orgánicas en la atmósfera. Además, como el tratamiento fotocatalítico utiliza la energía solar como

fuerza de activación, es una opción sostenible y respetuosa con el medio ambiente (5).

En procesos fotocatalíticos, el electrón del material semiconductor absorbe un fotón con energía superior a la brecha energética. Esta absorción provoca la excitación del electrón desde la banda de valencia hacia la banda de conducción, generando un par de electrones y originando un hueco (h^+) en la banda de valencia. Este hueco (h^+) inicia reacciones de oxidación y/o reducción en los sustratos presentes en la superficie de adsorción. En soluciones acuosas, el ion hidroxilo ($OH\cdot$) interactúa con el catalizador y produce un agente oxidante que se emplea para tratar vertidos contaminantes. Los principales materiales semiconductores utilizados en la fotocatálisis heterogénea son óxidos metálicos, como el óxido de zinc (ZnO), el dióxido de titanio (TiO_2), el dióxido de estaño (SnO_2), sulfatos, selenio y compuestos de telurio, como sulfuro de cadmio (CdS), sulfuro de zinc (ZnS) y seleniuro de cadmio ($CdSe$) (5).

Las características fotocatalíticas de las nanopartículas de óxido de zinc ($ZnO-NP$) han sido extensamente examinadas debido a:

- A. Su estabilidad química.
- B. Alta conductividad térmica.
- C. Adecuada brecha energética para absorber luz UV-Vis.
- D. Costos de producción comparativamente bajos en comparación con otros óxidos metálicos.

Recientemente, la fotocatálisis heterogénea que emplea $ZnO-NPs$ como semiconductores ha sido aplicada en la descontaminación de desechos alimentarios, así como en el tratamiento de vertidos de la industria farmacéutica, textil y doméstica (5).

2.2.3.1. Componentes necesarios para el proceso de fotocatálisis

Los elementos necesarios para que se produzca la reacción de fotocatálisis son una sustancia que debe degradarse, una sustancia oxidante como el oxígeno del aire, un medio en el que

se produzca la reacción, en este caso el propio aire, un fotocatalizador, normalmente un material semiconductor. Un compuesto semiconductor de banda prohibida ancha que sirve de fotocatalizador y de fuente de luz visible o ultravioleta ya sea natural (del sol) o artificial (de lámparas), luz visible o ultravioleta (21).

- A. Fotocatalizador: está formado por una sustancia semiconductor que cuya conductividad aumenta con la temperatura y acelera las reacciones de oxidación. Aumenta la temperatura de su superficie y acelera las reacciones de oxidación en el exterior (21).
- B. Oxidante: el elemento que proporciona electrones al fotocatalizador y lo oxida con mayor frecuencia es el oxígeno. Aunque los cationes metálicos también pueden desempeñar esta función, normalmente lo hacen los electrones. Como el oxígeno abunda en el aire, sobre todo en fase gaseosa, es muy sencillo de suministrar (21).
- C. Suministrador de oxígeno: las moléculas que suministran electrones al proceso suelen ser las que incluyen un grupo OH. Estos compuestos reaccionan para producir un radical hidroxilo, que luego promueve la oxidación de las especies adsorbidas. A pesar de ello, es importante señalar que se ha demostrado que hay otras moléculas adsorbidas en la fase gaseosa donde no hay saturación de agua. Otras moléculas adsorbidas que actúan como donadores de electrones se oxidan inmediatamente al saturarse el agua se oxidan directamente (21).
- D. Luz Ultravioleta: tanto la luz natural como la artificial pueden influir en la realización de la fotocatalisis. Iluminación LED. Esta última tiene la ventaja de que sólo requiere una única longitud de onda UV, lo que permite que el semiconductor se excite y comience a funcionar. Para ello son útiles tanto las lámparas con luz artificial ultravioleta como la luz proveniente de la radiación solar, cuya longitud de onda menor es de 300 nm (21).

2.2.4. Nanotecnología

La nanotecnología se emplea extensamente en diversos ámbitos como la química, física, ingeniería eléctrica, ciencias de materiales y biociencias. Hay múltiples beneficios asociados con la aplicación de la nanotecnología. Debido a las características de reducción química, alta área y reactividad superficiales inherentes a las nanopartículas, estas pueden servir como una alternativa sumamente eficaz para abordar la limpieza del entorno. La nanotecnología engloba la creación y manipulación de materiales a una escala nanométrica (nm), ya sea organizando grupos individuales de átomos o refinando y disminuyendo materiales a granel. Un nanómetro equivale a 1×10^{-9} m, es decir, una millonésima parte de un milímetro. Las propiedades de muchos materiales convencionales experimentan cambios al ser generados en forma de nanopartículas. Esto suele deberse al incremento del área superficial por unidad de peso en las nanopartículas en comparación con partículas más grandes, lo que aumenta su reactividad con diversas moléculas. Las nanopartículas ya están siendo utilizadas o están en fase de evaluación para su aplicación en una variedad de campos (22).

2.2.5. Nanopartículas

Las nanopartículas son estructuras diminutas que varían en tamaño desde unos pocos nanómetros hasta algunas centenas de nanómetros. Estas partículas poseen características únicas debido a su tamaño reducido, lo que les confiere propiedades distintivas en comparación con sus contrapartes a mayor escala (23).

Algunas de las características destacadas de las nanopartículas son:

- A. Tamaño y escala: las nanopartículas son extremadamente pequeñas, con dimensiones que se miden en nanómetros (1 nanómetro es igual a 10^{-9} metros). Esta escala les otorga una gran superficie en relación con su volumen.

- B. Gran área superficial: debido a su tamaño minúsculo, las nanopartículas tienen una relación superficie-volumen muy alta. Esto les permite tener una superficie de contacto mucho mayor en comparación con partículas más grandes, lo que influye en su reactividad química y capacidad de interacción con otras sustancias.
- C. Reactividad Química: la gran superficie de las nanopartículas contribuye a su mayor reactividad química. En las reacciones químicas, estas partículas pueden ser más reactivas, lo que se utiliza en catálisis y otros procesos.
- D. Propiedades mecánicas: a nivel nanométrico, las propiedades mecánicas de los materiales pueden cambiar. Por ejemplo, los nanomateriales pueden ser más resistentes o más frágiles que sus contrapartes macroscópicas.
- E. Aplicaciones diversas: las nanopartículas se utilizan en diversos sectores, como la medicina (terapia y diagnóstico), la electrónica (sensores y dispositivos), la energía (células solares y baterías) y la industria (materiales avanzados y revestimientos), debido a sus cualidades únicas.

2.2.6. Nanopartículas de ZnO

Las nanopartículas de óxido de zinc presentan propiedades no tóxicas y se pueden emplear como absorbentes para eliminar contaminantes del entorno. Estas pequeñas partículas de óxido de zinc han captado un gran interés en la investigación debido a sus características singulares y su versatilidad en múltiples aplicaciones, como la electrónica transparente, generadores de luz ultravioleta (UV), dispositivos piezoeléctricos, sensores químicos y electrónica de espín. El ZnO ha sido sintetizado mediante varios métodos, que abarcan desde técnicas químicas húmedas, sol-gel y síntesis hidrotermal, hasta deposición química de vapor, precipitación, condensación por vaporización láser y pirólisis por aspersion, Igualmente, el óxido de zinc se presenta como un semiconductor inorgánico cristalino biocompatible y de coste relativamente bajo (23).

Es posible generar este compuesto en un entorno de laboratorio utilizando diferentes métodos sintéticos. Esto a su vez posibilita una exploración exhaustiva de sus propiedades únicas, especialmente solicitada en el ámbito de las nanoestructuras debido a sus potenciales exclusivos en investigaciones científicas. Además, el material exhibe una notable fotoestabilidad, estabilidad térmica, un amplio rango de capacidad de adsorción y un extenso intervalo de banda, cualidades que lo posicionan como una alternativa rentable a los nanomateriales de titanio en aplicaciones de fotocatalisis (13).

2.2.7. Límites Máximos Permisibles

Un límite crítico es la concentración o nivel de los componentes, sustancias o características físicas, químicas y biológicas que identifican un efluente o emisión. Superar este límite pone en peligro el medio ambiente, el bienestar humano y la salud. Para respetar estos límites hay que seguir la normativa y los criterios legales (24).

La expresión de estos límites varía según el parámetro específico, pudiendo establecerse como valores máximos, mínimos o intervalos permitidos.

2.2.7.1. Límite Máximo Permisible de efluentes para alcantarillado

Abarca la cantidad de elementos o sustancias presentes en los efluentes liberados al sistema de alcantarillado, cuyo aumento por encima de ciertos límites puede provocar daños en la infraestructura de dicho sistema y en los procesos de tratamiento de aguas residuales. Esto puede tener como resultado impactos negativos en los ecosistemas acuáticos y en la salud de las personas. Tiene como objetivo evitar que los efluentes liberados en el sistema de alcantarillado contengan niveles excesivos de sustancias o contaminantes que puedan dañar las redes de alcantarillado y los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Además, busca proteger la calidad de los cuerpos receptores, como ríos, lagos y océanos, y salvaguardar la salud pública (24).

Las instalaciones industriales y comerciales, así como los sistemas de alcantarillado municipales, están sujetos a monitoreo regular para asegurarse de que cumplan con los límites máximos permisibles. Esto implica pruebas y análisis periódicos de los efluentes para verificar su conformidad.

Tabla 3. LMP de efluentes para alcantarillado.

Parámetros	Cemento		Cerveza		Papel		Curtiembre	
	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva
pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9		6 - 9
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	100	50	500	350	1000	500		500
Aceites y grasas (mg/L)			20	15	100	50	100	50
DBO ₅ (mg/L)			1000	500		500		500
DQO (mg/L)			1500	1000		1000		1000
Sulfuros (mg/L)								3
Cromo VI (mg/L)								0,4
Cromo total (mg/L)								2
N - NH ₄ (mg/L)								30
Coliformes Fecales NMP/100mL							*	*

Nota: DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno. DQO: Demanda Química de Oxígeno. N-NH₄: Nitrógeno amoniacal. NMP: Número más probable.

Fuente: Ministerio del Ambiente (24 pág. 4).

2.2.7.2. Límites Máximos Permisibles de efluentes para aguas superficiales

El nivel de uno o más elementos o compuestos en los vertidos que se vierten en las aguas superficiales que, si supera unos umbrales específicos, puede perjudicar o tiene el potencial de perjudicar a los ecosistemas acuáticos, la salud humana y las

infraestructuras de tratamiento y saneamiento. Las autoridades medioambientales y reguladoras establecen estas restricciones para proteger la calidad del agua, mantener el bienestar de los ecosistemas acuáticos y proteger la salud pública (24).

Tabla 4. LMP de efluentes para aguas superficiales.

Parámetros	Cemento		Cerveza		Papel		Curtiembre	
	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva	En curso	Nueva
pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9	5 - 8,5	5 - 8,5
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	50	30	50	30	100	30	50	30
Aceites y grasas (mg/L)			5	3	20	10	25	20
DBO ₅ (mg/L)			50	30		30	50	30
DQO (mg/L)			250	50		50	250	50
Sulfuros (mg/L)							1	0,5
Cromo VI (mg/L)							0,3	0,2
Cromo total (mg/L)							2,5	0,5
N - NH ₄ (mg/L)							4000	10
Coliformes Fecales NMP/100mL							20	1000

Nota: DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno. DQO: Demanda Química de Oxígeno. N-NH₄: Nitrógeno amoniacal. NMP: Número más probable.

Fuente: Ministerio del Ambiente (24 pág. 4).

2.3. Definición de términos básicos

- A. Agua residual: las aguas residuales son agua y sólidos que ingresan al alcantarillado de una forma u otra y son transportados a través de ella. Suelen tener su origen en residuos líquidos de viviendas, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto a los residuos de actividades industriales y agrícolas, así como de aguas subterráneas, superficiales o precipitaciones, que eventualmente pueden añadirse a las aguas residuales. Dependiendo de su

origen, las aguas residuales se pueden dividir en 3 categorías: las domésticas, municipales e industriales (19).

- B. Aguas residuales de cervecería: para la elaboración de cerveza, la limpieza general, el envasado y la limpieza de suelos y sótanos se necesitan grandes cantidades de agua. Estas aguas vierten grandes volúmenes de aguas residuales con altas concentraciones de contaminantes orgánicos, caracterizados por altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) (25).
- C. Demanda Química de Oxígeno: es uno de los parámetros más eficaces para monitorear la calidad del agua. Significa la cantidad de oxidante químico necesario para oxidar los materiales presentes en el agua y se expresa en mg O₂/L. Cuantifica la cantidad total de materia orgánica químicamente oxidable (biodegradable y no biodegradable) en una muestra líquida y la utiliza para determinar el grado de contaminación (26).
- D. Fotocatálisis: implica una combinación de fotoquímica y fotocatalisis. Tanto la luz como los catalizadores son necesarios para provocar o acelerar reacciones químicas. Por tanto, la fotocatalisis se puede definir como el uso de catalizadores para acelerar reacciones luminosas. En el caso de la fotocatalisis heterogénea se utilizan semiconductores (sólidos en agua o suspensión gaseosa) de tipos fotosensibilizadores, como, por ejemplo: Al₂O₃, ZnO, Fe₂O₃ y TiO₂ (27).
- E. Nanopartícula: se trata de estructuras de menos de 100 nanómetros (1x10⁻⁷ metros) que pueden sintetizarse a partir de una variedad de materiales, incluidos metales. Para observarlos se necesita un microscopio de alta resolución, como un microscopio electrónico de barrido (SEM) o un microscopio electrónico de transmisión (TEM) (28).
- F. Óxido de zinc: es un polvo inoloro de color blanco o amarillo pálido, casi insoluble en agua, pero soluble en ácido. El ZnO₂ es un peróxido muy estable en condiciones normales, pero cuando alcanza los 150°C comienza a descomponerse y producir oxígeno para formar ZnO. Además, es un material semiconductor muy utilizado en la industria de procesamiento de caucho y plástico, también es usado como oxidante en explosivos y pirotecnia mixta, y en los últimos años en cosmética y productos farmacéuticos (29).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

A. Método general o teórico de la investigación:

El método de la investigación fue experimental, basándose en la implementación de un experimento en el cual se aplica una intervención específica a un proceso o tratamiento, lo que dio lugar a un efecto observado en una o más variables dependientes. La observación de este método se llevó a cabo en condiciones que podían ser de mayor o menor control (30).

B. Método específico de la investigación:

Se utilizó la técnica de observación directa como enfoque particular de investigación, ya que implica una interacción directa con el objeto de estudio, con el propósito de adquirir conocimiento sobre el entorno en cuestión (31).

a. Toma de muestra del agua residual de la empresa Wayayo:

El tipo de muestreo fue puntual ya que según el instructivo para la toma de muestras de aguas residuales del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia (32) que se tomó exactamente a la salida del tanque final del proceso de producción de cerveza artesanal Wayayo, debido a que fue de conveniencia del estudio y es representativo de todo el proceso de producción.

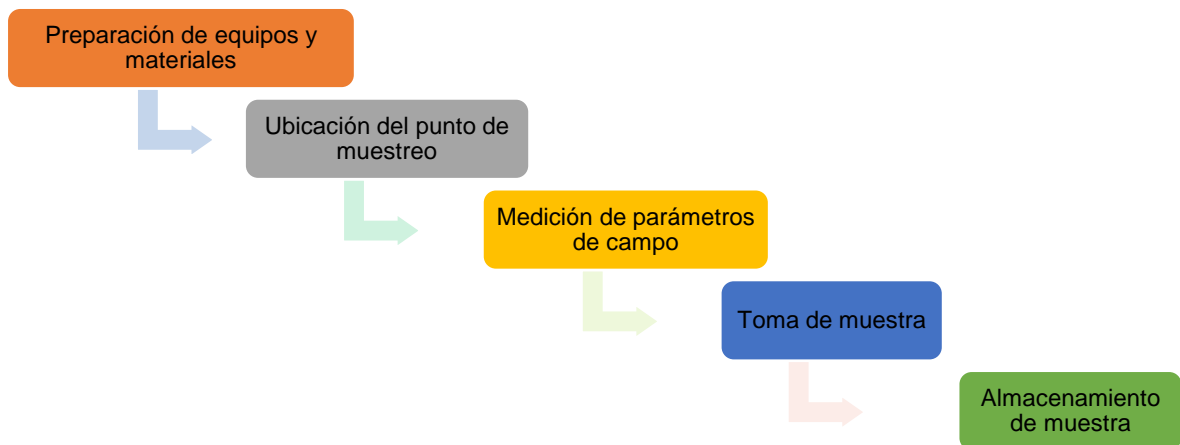


Figura 1. Diagrama de toma de muestra de agua residual.

Fuente: elaboración propia según lo propuesto por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (32).

1. Preparación de equipos y materiales:

- Se organizaron las botellas respectivamente rotuladas, los reactivos para la preservación de muestra y formatos de toma de datos como cadenas de custodia.
- También se alistó el equipo de protección personal como guardapolvos, mascarillas, cofias y guantes.
- Entre los equipos que fueron alistados, se tuvo al GPS el cual se debe verificar su funcionamiento y si cuenta con batería suficiente, también se contó con un multiparámetro al cual se le debe realizar una calibración de pH y conductímetro para asegurar su funcionamiento adecuado (dicho proceso fue realizado por el laboratorio en donde se alquiló el equipo).

- Además, se alistaron tableros, bolsas de residuos, baldes de 5 L y botellas de 8 L para la toma de muestra.
 - Todo lo mencionado fue llenado en un cooler para ser transportados con mayor facilidad.
2. Ubicación del punto de muestreo:
- Una vez en el lugar, se ubicó el punto de monitoreo y se procedió a sacar todos los materiales cerca el punto para poder tenerlos a la mano el momento de iniciar el muestro.
 - Seguidamente con ayuda del GPS se tomaron las coordenadas del punto de monitoreo por información solicitada en las cadenas de custodia.
3. Medición de parámetros de campo:
- Establecido en el punto, se procedió a sacar una muestra primaria de la válvula de salida del tanque en el balde de 5 L y con ayuda de un vaso se precipitación de 250 mL se sacó una submuestra.
 - Dicho vaso se ubicó en un lugar estable y se tomaron los datos de los parámetros de campo con ayuda de un multiparámetro.
 - Se ubicó el electrodo del multiparámetro en la muestra, oprima la tecla pH, espere a que los valores en la pantalla del equipo se estabilicen (el valor deja de titilar) y cuando se estabilice la medición, registre los datos de pH en la cadena de custodia. El mismo procedimiento se repitió para la temperatura y conductividad eléctrica.
 - Se lavaron los electrodos con abundante agua ya que los valores extremos que pueden presentar los efluentes industriales los deterioran más rápidamente.
4. Toma de muestra:
- Se tomó la muestra en los baldes de 5 L de la válvula de salida del tanque una vez llenó se procedió a homogenizar el contenido del balde con ayuda de la agitación y se procedió al llenado.

- Se tomaron 500 mL de muestra en una botella ámbar la cual se llenó evitando la presencia de burbujas para realizar la caracterización inicial.
- Las botellas de 8 L en primer lugar fueron enjuagadas con pequeñas muestras del agua residual de cervecería para evitar interferencias, seguidamente se llenó completamente evitando presencia de burbujas y cerraron con cuidado para ser llevadas al laboratorio para el uso de la parte experimental.

5. Almacenamiento de muestra:

- Se mantuvo etiquetadas las botellas con las muestras para su reconocimiento.
- Tan pronto se terminó con el muestro, se colocaron las botellas dentro del cooler en posición vertical para mantenerlas a una temperatura de 4°C con ayuda de ice pack.
- Se lavo con agua destilada los baldes y todos los instrumentos utilizados.

b. Obtención de las nanopartículas de ZnO:

Las nanopartículas de ZnO fueron adquiridas de la empresa Skyspring Nanomaterials Inc. (ver Anexo 6). Dichas partículas presentaron características detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 5. Características de NP-ZnO.

Características de nanopartículas de Óxido de Zinc	
Nombre del producto	Nanopartículas de Óxido de Zinc/Nanopolvo
Número del producto	8410DL
Forma	Polvo
Número de CAS	1314-13-2
Formula	ZnO
Tamaño de partícula	10 nm ~ 30 nm
Pureza	99,8 %
Color	Blanco ligeramente amarillo
Impurezas típicas	Cu: 25 ppm
	Cd: 25 ppm
	Mn: 25 ppm
	Pb: 20 ppm
	As: 20 ppm

Fuente: recopilado de la empresa Skyspring Nanomaterials Inc.

c. Proceso de fotocatalisis:

El procedimiento de fotocatalisis se tomó de lo establecido en Kee *et al.* (4 págs. 3-4). Los experimentos de fotodegradación se realizaron en un vaso de precipitados de 1 L con un volumen de trabajo de 500 mL. Se hizo la modificación del pH a 4,5 y 10. Para alcalinizar el pH: hidróxido de sodio 1 M. La cantidad preparada fue:

$$W = M(\overline{PM} * V)$$

$$W = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} (39,98 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 0,1 \text{ L})$$

$$W = 4 \text{ g de NaOH}$$

Se necesitó 4 g de NaOH (0,1 M) en 100 mL de agua destilada. Para acidificar el pH: ácido clorhídrico 1 M La cantidad preparada fue:

$$\frac{v^2 * M * \overline{PM}}{\% \text{ p/p} * \rho}$$

$$V = \frac{100^2 \text{ mL} * 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} * 36,5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{37 * 1119 \frac{\text{g}}{\text{L}}}$$

$$V = 8,82 \text{ mL de HCl}$$

Se necesitó 8,82 mL de HCl (0,1 M) en 100 mL de agua destilada. Los ensayos fotocatalíticos se realizaron con una determinada cantidad de catalizador según indica nuestro diseño experimental. Antes de encender la fuente de luz, se añadió la concentración de ZnO a nuestras muestras según indica nuestro diseño, la adsorción se llevó a cabo durante 30 min agitando para asegurar el máximo equilibrio. Posteriormente, se utilizó una lámpara ultravioleta A (UVA) (Philips, 7,7 W, 350 - 400 nm) como fuente de luz en el fotorreactor. El vaso de precipitado se colocó a 5,0 cm de la fuente de luz. El proceso se realizó a temperatura ambiente por el tiempo que se estableció en nuestro diseño experimental. Las muestras de agua tratadas se enviaron al laboratorio para su respectivo análisis de DQO.

d. Cálculo de % de reducción de DQO:

Se calculó el % de reducción de DQO mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de reducción} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} \times 100$$

Donde:

* C_o = Concentración inicial (mg/L).

* C_f = Concentración final (mg/L).

e. Análisis de muestra:

Las muestras tomadas para la caracterización y las muestras tratadas con el proceso fotocatalítico fueron enviadas al laboratorio "GRUPO JHACC SAC", lugar en el cual se realizaron los análisis respectivos a través de los métodos de "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" que se

encuentran aprobadas por las normativas APHA y además de ser adecuadas para análisis según el Instituto Nacional de Calidad del Perú (INACAL).

3.1.2. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación utilizó una metodología de tipo aplicada porque consistió en mantener conocimientos y aplicarlos en la práctica, así como en realizar estudios científicos para encontrar respuestas a posibles aspectos de mejora en situaciones de la vida cotidiana (30).

3.1.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación que se adoptó en este estudio fue el explicativo, donde se identificaron las variables independientes como las causas y las variables dependientes como los efectos, resultados o consecuencias. Esta elección metodológica permitió una comprensión más profunda de los fenómenos y problemas que se investigan (30).

3.2. Diseño de la investigación

El diseño que se utilizó fue un diseño de bloques completamente aleatorio con arreglo factorial de 2^3 debido a que se usará 3 factores con 2 niveles cada uno. Asimismo, se trabajó con un total de 3 réplicas obteniendo 24 corridas experimentales.

Tabla 6. *Diseño factorial de 2³*.

Concentración de nanopartículas de ZnO (mg/L)	pH	Tiempo de iluminación (horas)	Concentración final de DQO			Promedio
			R1	R2	R3	
250	4,5	2	DQO final	DQO final	DQO final	DQO final
		10	DQO final	DQO final	DQO final	DQO final
	10	2	DQO final	DQO final	DQO final	DQO final
		10	DQO final	DQO final	DQO final	DQO final
500	4,5	2	DQO final	DQO final	DQO final	DQO final
		10	DQO final	DQO final	DQO final	DQO final
	10	2	DQO final	DQO final	DQO final	DQO final
		10	DQO final	DQO final	DQO final	DQO final

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Nuestra población de estudio fue las aguas residuales del estanque final en la producción de la cervecería artesanal Wayayo, la cual fue de 200 L en un día de producción según información brindada por la empresa.

3.3.2. Muestra

La toma de muestra se realizó tomando en consideración lo propuesto por Kee *et al.* (4 pág. 3) y Tamashiro *et al.* (5 pág. 3), donde la muestra fue sacada del estanque final del procesamiento de vinaza, por lo cual se aplicó lo mismo en nuestro estudio.

Como se conocía la cantidad de agua residual producida, se determinó la cantidad de muestra aplicando la ecuación para tamaño de muestra de población finitas, es decir:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q}$$

Donde:

*N: total de la población.

*n: tamaño de muestra aproximado.

*Z: 1,96 al cuadrado (si la seguridad es del 95 %).

*p: proporción esperada (en este caso 5 % = 0.05).

*q: 1 - p (en este caso 1 - 0.05 = 0.95).

*d: precisión (9 %).

$$n = \frac{200 \times 1,96^2 \times 0,05 \times 0,95}{0,09^2 \times (200 - 1) + 1,96^2 \times 0,05 \times 0,95}$$

$$n = 20,33 \text{ L}$$

De dicha muestra recolectada de 20 L, se sacaron muestras de 500 mL para la caracterización fisicoquímica del agua residual de la cervecería artesanal Wayayo, y de aquella también se tomó una cantidad de 500 mL para cada unidad experimental según lo establecido en el estudio de Kee *et al.* (4 pág. 3).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

Las técnicas empleadas fueron:

- Observación *in situ*.
- Los tratamientos experimentales para determinar la concentración final de DQO.
- Análisis de laboratorio.

3.4.2. Instrumentos

Para la presente investigación, se usaron los siguientes instrumentos:

- Cadenas de custodia.
- Reportes del laboratorio del análisis de DQO en las aguas residuales de la industria cervecera Wayayo tratadas y sin tratar.

- Reportes del laboratorio de análisis de DQO de muestra tratada.

Los instrumentos utilizados no necesitaron el juicio de un experto debido a que son instrumentos que son proporcionados por un laboratorio el cual ya está validado en sus instalaciones por sus expertos.

3.5. Procesamiento de datos

El análisis estadístico del diseño aplicado para el estudio se llevó a cabo utilizando el programa estadístico Minitab V18, que comenzó con el análisis de normalidad para determinar si los datos obtenidos provienen de una población normal y determinó el tipo de análisis estadístico que se utilizaría para realizar la prueba de hipótesis. El software R se utilizó para crear representaciones gráficas de barras para describir los resultados obtenidos. Por otro lado, las gráficas de efectos e interacción de variables y de contorno se crearon utilizando el proceso de análisis de población del programa Minitab.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento de datos

4.1.1. Caracterización de las aguas residuales de cervecería

Las concentraciones iniciales de DQO de las aguas residuales de la industria cervecera Wayayo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7. *Caracterización de aguas residuales de la industria cervecera Wayayo.*

Código	pH	Conductividad (μS/cm)	Turbidez (NTU)	STD (mg/L)	DQO (mg/L)
ARI-00	6,70	870	96,4	430	1185,51

De acuerdo con el D.S. N° 003-2002-PRODUCE, la concentración de DQO de 1185,51 mg/L supera la LMP de efluentes para alcantarillado de las actividades de cerveza nueva, que es de 1000 mg/L.

4.1.2. Efecto de la concentración de las NP de ZnO, pH y tiempo de iluminación para la remoción de DQO

Para determinar de la concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en el proceso de fotocatalisis para la remoción de DQO, se utilizaron 2 niveles para cada variable concentración de las nanopartículas de ZnO de 250 mg/L y 500 mg/L, pH de 4,5 y 10, en el tiempo de iluminación 2 horas y 10 horas, dando como resultados lo expuesto en la tabla 8.

Tabla 8. Remoción de DQO.

Concentración NP_ZnO (mg/L)	Variables		DQO (mg/L)			Promedio
	pH	Tiempo (horas)	RI	RII	RII	DQO (mg/L)
0	6,70	0	1184,51	1154,92	1096,47	1145,30
250	4,5	2	592,41	586,41	567,87	582,23
250	4,5	10	90,83	91,48	89,70	90,67
250	10	2	823,74	803,96	776,11	801,27
250	10	10	598,82	579,27	566,36	581,48
500	4,5	2	561,49	549,99	535,42	548,97
500	4,5	10	194,84	201,68	189,55	195,36
500	10	2	806,69	799,63	754,29	786,87
500	10	10	739,64	731,50	700,84	723,99

La tabla 8 muestra que la mejor remoción de DQO promedio fue de 90,67 mg/L en condiciones de trabajo con una concentración de nanopartículas de 250 mg/L, un pH de 4,5 y un tiempo de iluminación de 10 horas. De acuerdo con el D.S. N° 003-2002-PRODUCE, que establece que la DQO debe ser de 1000 mg/L, todos los resultados obtenidos están dentro de los LMP de efluentes para el alcantarillado de las actividades de cerveza nueva.

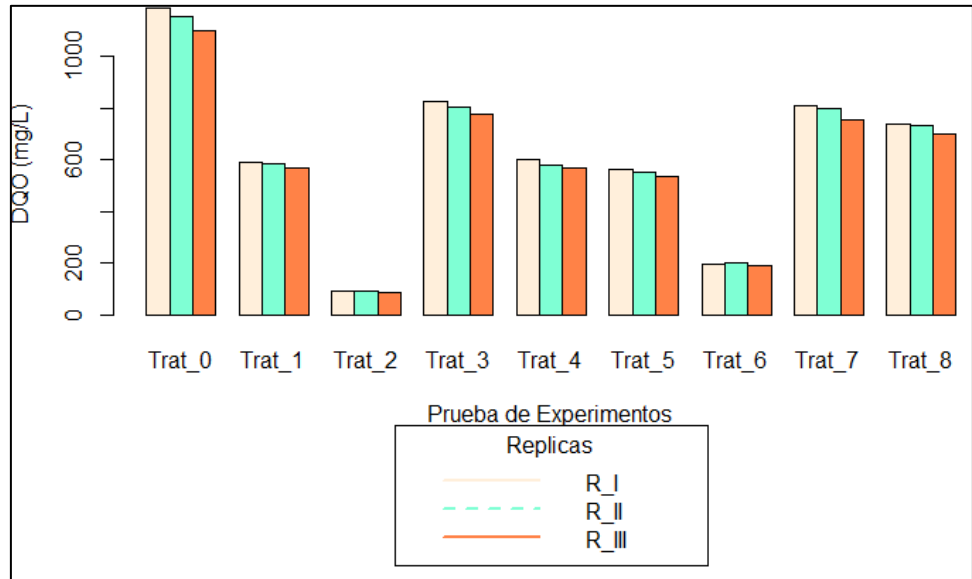


Figura 2. Remoción de DQO de las 3 réplicas.

Fuente: elaboración propia en el programa R.

En la figura 2 se muestra que los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento 2 debido a que hubo una remoción de casi la decimotercera parte de la concentración inicial, así también, el tratamiento 6 tuvo resultados favorables, pero no tanto como el tratamiento debido a que removi6 la 6ta parte de la concentración inicial, mientras que el tratamiento que tuvo baja remoci6n fue la 3 dado que solo logr6 reducir 344,3 mg/L de DQO que representa casi la tercera parte de la concentraci6n inicial. Adem6s, se observa que entre las 3 r6plicas que se realizaron para cada tratamiento no hubo diferencia significativa en los resultados que pudiera generar alguna confusi6n al momento de sus an6lisis.

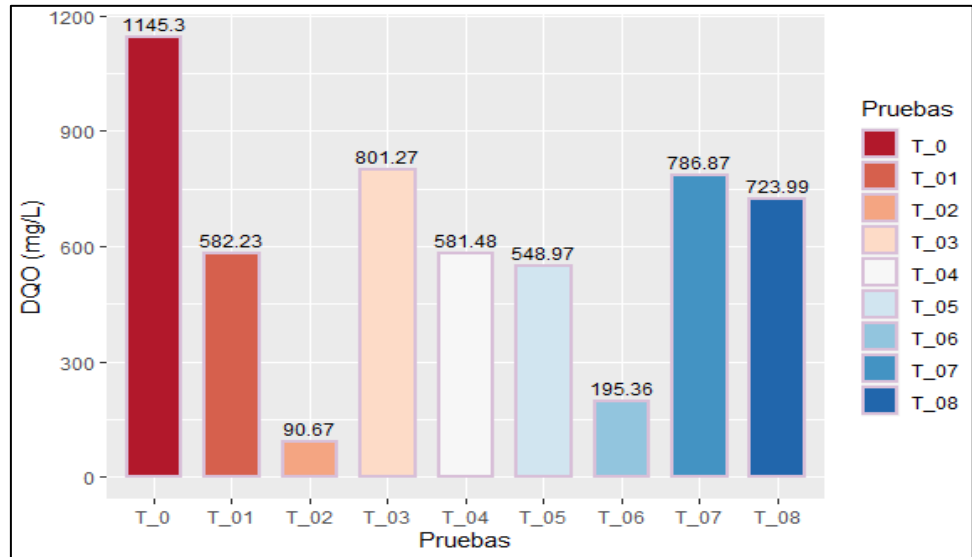


Figura 3. Remoción de DQO promedio.

Fuente: elaboración propia en el programa R.

En la figura 3 se muestra el gráfico de barras a partir de los datos promedios de remoción de DQO. Como se puede observar, el mejor tratamiento es el segundo dado que se dio una reducción alta de 1054,63 mg/L de DQO a partir de la concentración inicial logrando que se obtenga el mejor, resultado y cumpliendo con los LMP, además el segundo mejor resultado fue el tratamiento seis que logró reducir en 949,94 mg/L.

La siguiente fórmula se puede utilizar para calcular los porcentajes de eliminación de DQO a partir de los resultados de la tabla 8:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} \times 100$$

Donde:

* C_o = Concentración inicial (mg/L).

* C_f = Concentración final (mg/L).

Para el caso del primer dato de la tabla a concentración de 250 mg/L, pH 4,5 y tiempo de 2 horas, reemplazando en la ecuación el resultado es:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{(1184,51 - 592,41)}{1184,51} \times 100$$

$$\% \text{ de remoción} = 49,99 \%$$

Este cálculo se realizó para todos los resultados obtenidos a las diferentes condiciones.

Tabla 9. Porcentaje de remoción de DQO.

Conc_NP_ZnO (mg/L)	Variables		% de remoción DQO			Promedio DQO (%)
	pH	Tiempo (horas)	RI	RII	RIII	
250	4,5	2	49,99	49,23	48,21	49,14
250	4,5	10	92,33	92,08	91,82	92,08
250	10	2	30,46	30,39	29,22	30,02
250	10	10	49,45	49,84	48,35	49,21
500	4,5	2	52,60	52,38	51,17	52,05
500	4,5	10	83,55	82,54	82,71	82,93
500	10	2	31,90	30,76	31,21	31,29
500	10	10	37,56	36,66	36,08	36,77

La tabla 9 muestra que las condiciones de trabajo con una concentración de nanopartículas de 250 mg/L, un pH de 4,5 y un tiempo de iluminación de 10 horas produjeron el mayor porcentaje de remoción, siendo en promedio de DQO el 92,08 %. El porcentaje promedio de 82,93 % a condiciones de concentración de nanopartículas de 500 mg/L, pH 4,5 y tiempo de iluminación de 10 horas se encuentra a continuación.

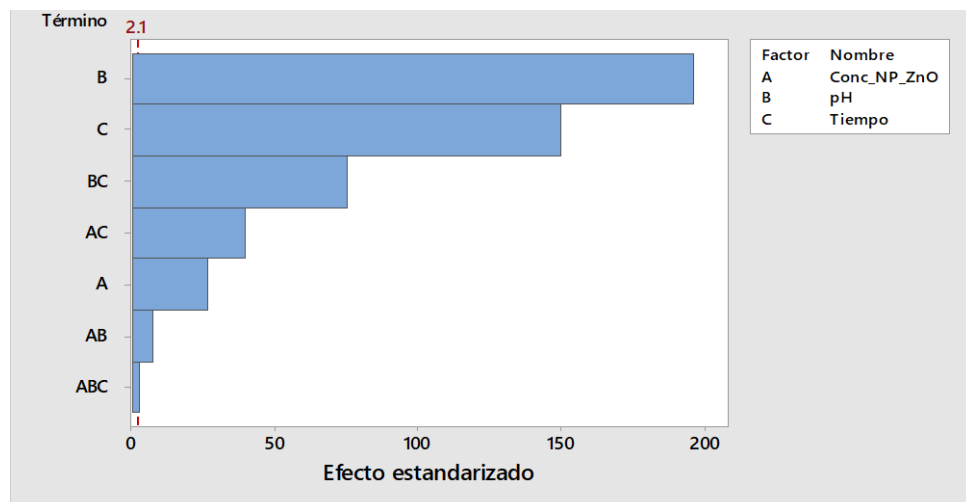


Figura 4. Efectos estandarizados de las variables.

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

En la figura 4 se observan los efectos estandarizados de las variables de estudio, con lo cual podemos decir que el pH tiene más efectos de manera individual dentro del proceso, seguido por el tiempo de iluminación y finalmente la concentración de las nanopartículas. Así también, en las interacciones hay mayores efectos observados en la interacción de las variables de pH y tiempo de iluminación, mientras que al interactuar las 3 variables se observan menores efectos.

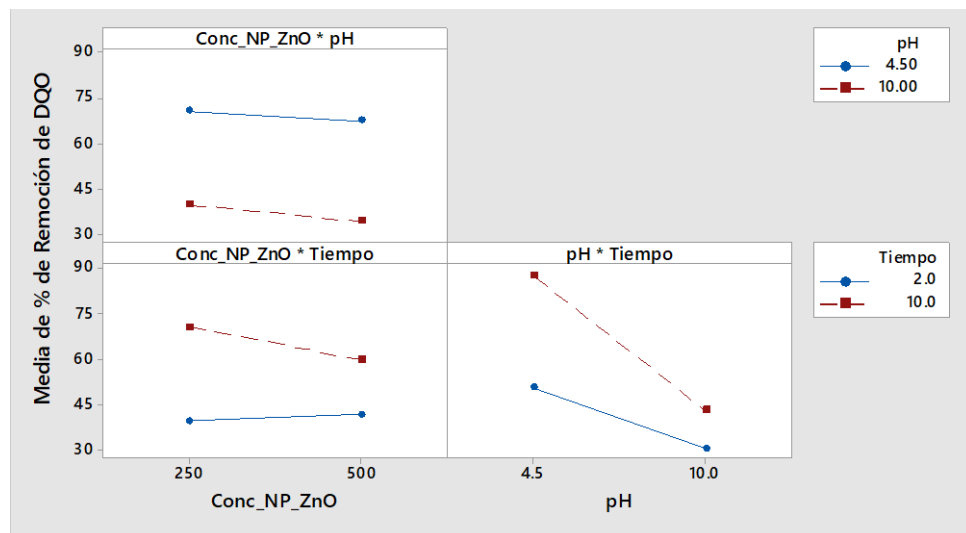


Figura 5. Gráfico de interacción de variables.

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

La figura 5 muestra las interacciones de las variables con respecto a la remoción de DQO, lo que significa que cuando hay menos nanopartículas y un pH más ácido, hay mejores resultados de remoción. Por lo tanto, cuanto mayor es el tiempo de iluminación, mejores son los resultados.

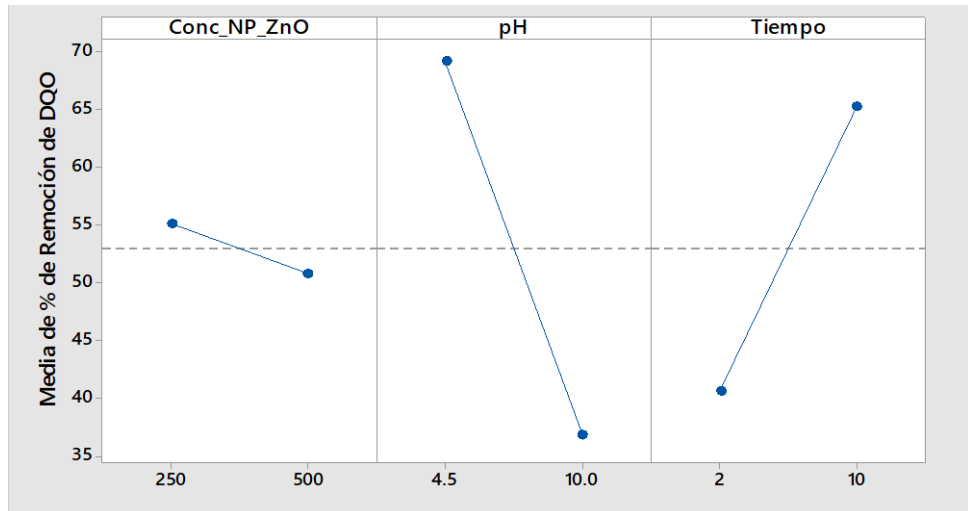


Figura 6. Efectos principales de las variables en la remoción de DQO.

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

En la figura 6 se puede observar que cuando la concentración de nanopartículas de ZnO es de 250 mg/L, la remoción es mayor pues se obtiene 55 % de la media, mientras que cuando el pH es 4,5 la remoción de DQO es mayor pues se obtiene 70 % de la media y finalmente el tiempo tiene de iluminación da mejores resultados cuando es 10 ya que remueve 65 % de la media.

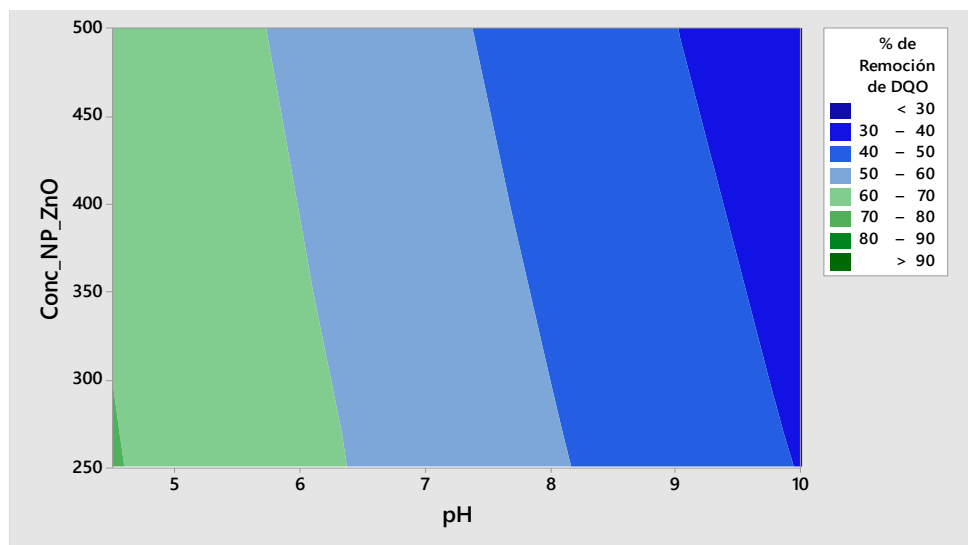


Figura 7. Interacción de pH y concentración de NP de ZnO.

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

La figura 7 muestra la influencia del pH y la concentración de nanopartículas en la eliminación de DQO, indicando que cuando el pH es más ácido y la concentración es mayor a 300mg/L, lo que se representa por el contorno verde hade, que produce una eliminación del 60 % al 70 %, por lo tanto, se recomienda utilizar 250 mg/L de nanopartículas con un pH de 4,5.

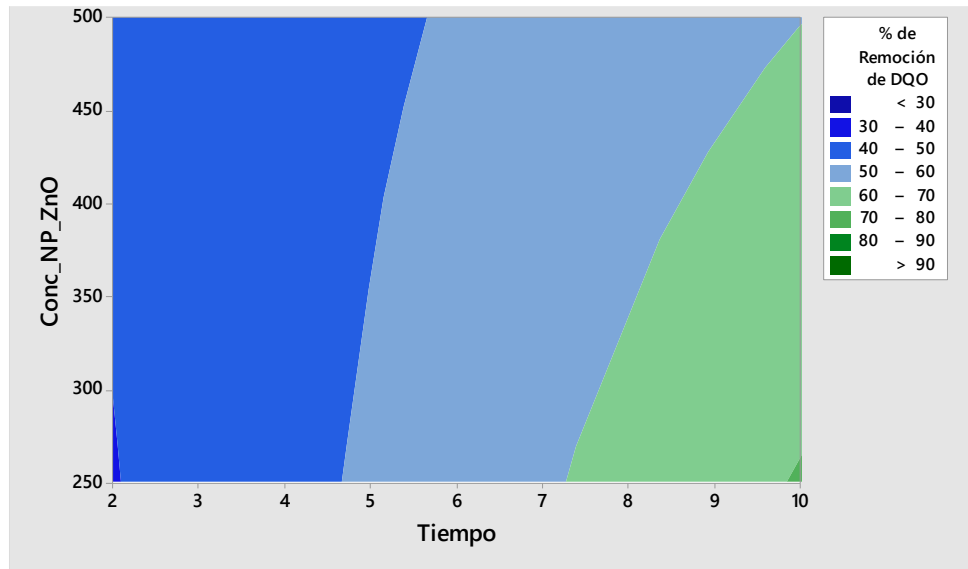


Figura 8. Interacción de la concentración de NP de ZnO y tiempo de iluminación.

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

En la figura 8 se puede observar la interacción de concentración de nanopartículas con el tiempo de iluminación en el cual el contorno de color verde hade indica los mejores resultados en un rango del 60 % al 70 % obtenidos cuando el tiempo es mayor a 8 horas y la concentración de NP de ZnO es menor a 350 mg/L, por lo que los mejores resultados fueron obtenidos a un tiempo de 10 horas y concentraciones de 250 mg/L.

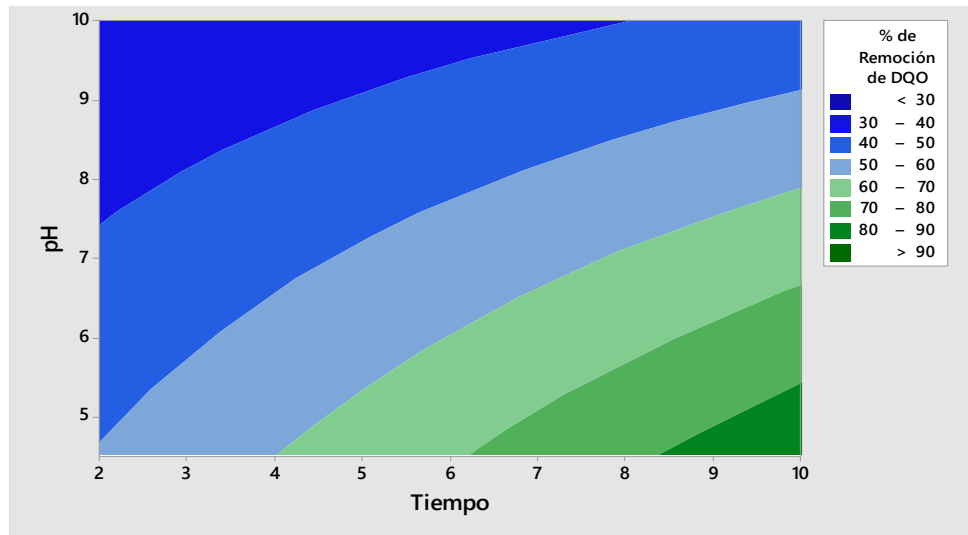


Figura 9. Interacciones de las variables de pH y tiempo.

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

En la figura 9 se puede observar la interacción del tiempo y el pH en el cual el contorno de color verde muestra los mejores resultados en un rango de 80 % a 90 % cuando el pH es mejor a 5 y el tiempo es mayor a 8 h, por lo que los mejores resultados se obtuvieron a pH 4,5 y tiempo de iluminación de 10 h.

4.1.3. Efecto de la concentración de las nanopartículas en la remoción de DQO

La tabla 9 muestra que de los dos niveles de concentración de nanopartículas aplicadas, el 250 mg/L logró remover el 92,08 % de DQO, mientras que el nivel de 500 mg/L logró remover el 82,93 % de DQO, con una diferencia del 9 % entre ambas concentraciones.

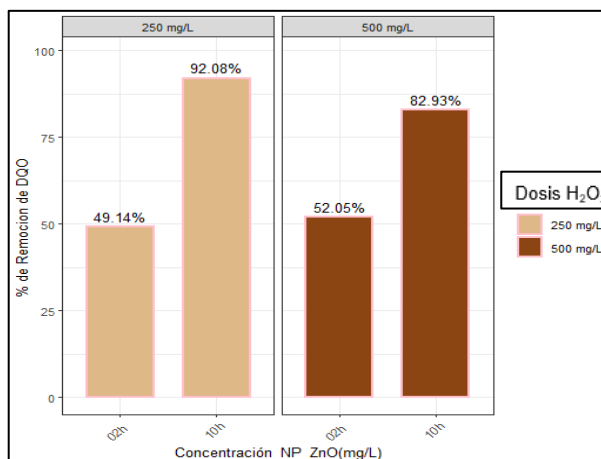


Figura 10. Variación de la concentración de NP de ZnO a pH 4,5.

Fuente: elaboración propia en el programa R.

En la figura 9 se pueden observar los resultados de la variación de la concentración de la nanopartícula de ZnO a un pH de 4,5 donde el mejor resultado del 92,08 % se obtuvo a la concentración de 250 mg/L en un tiempo de 10 horas, sin embargo, al tiempo de 2 horas se puede observar que la concentración de 500 mg/L iba teniendo mejores resultados con 52,05 %, sin embargo, al cabo de las 10 horas no logró aumentar progresivamente como lo estaba haciendo. Así también, se puede observar una diferencia de casi el 10 % entre los mejores resultados de ambas concentraciones, comprobando que con 250 mg/L de NP ZnO existe mayor remoción de carga orgánica (DQO).

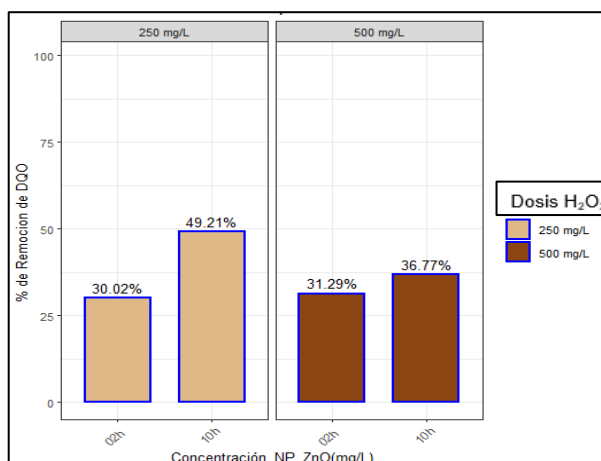


Figura 11. Variación de la concentración de NP de ZnO a pH 10.

Fuente: elaboración propia en el programa R.

En la figura 11 se puede observar la variación de la concentración de la nanopartícula de ZnO a un pH 10 donde el mejor resultado fue obtenido fue de 49,21 % a una concentración de nanopartículas de 250 mg/L y un tiempo de 10 horas, sin embargo, en la concentración de nanopartículas de 500 mg/L al cabo de las 2 horas fue el que tuvo un mejor resultado de 31,29 % pero esta no fue aumentando progresivamente y al cabo de las 10 horas no logró obtener el mejor resultado. Así también, se puede observar una diferencia de casi el 12 % entre los mejores resultados de ambas concentraciones, comprobando que con 250 mg/L de NP ZnO existe mayor porcentaje de remoción de DQO.

4.1.4. Efecto del pH en la remoción de DQO

En la tabla 9 se muestra que, de los dos niveles de pH aplicados, el 4,5 tuvo el mejor resultado porque eliminó el 92,08 % de DQO, mientras que el pH 10 tuvo un mejor resultado del 49,21 %, dándose una diferencia del 43 % entre ambos valores de pH.

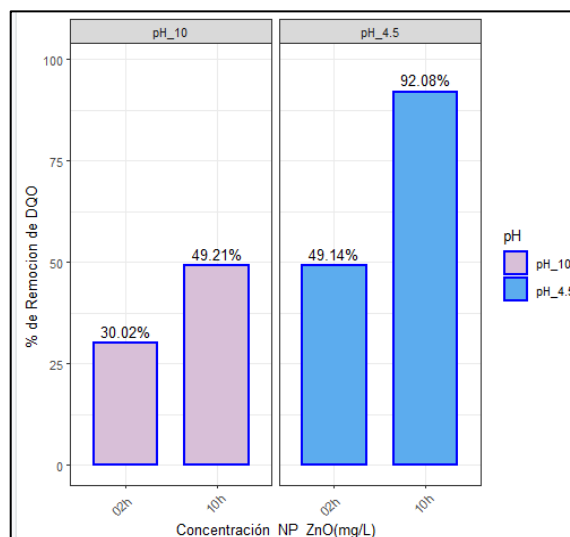


Figura 12. Variación de pH a 250 mg/L.

Fuente: elaboración propia en el programa R.

En la figura 12 se pueden observar los resultados de la variación de pH a una concentración de 250 mg/L, donde el mejor resultado fue 92,08 % se

obtuvo a un pH de 4,5 en un tiempo de 10 horas, mientras que a un pH 10 a pesar del tiempo no hubo una mejora significativa pues solo se logró alcanzar un porcentaje de remoción menor al 50 %. Así también, se puede mencionar que existe una variación significativa entre los mejores resultados de los diferentes pH, debido a que esta diferencia es de casi el 43 % lo cual nos indica la importancia de tener en consideración esta variable al momento de aplicar las nanopartículas de ZnO en la remoción de DQO ya que de esta manera podemos ayudar o perjudicar a nuestro tratamiento al momento de remover el contaminante.

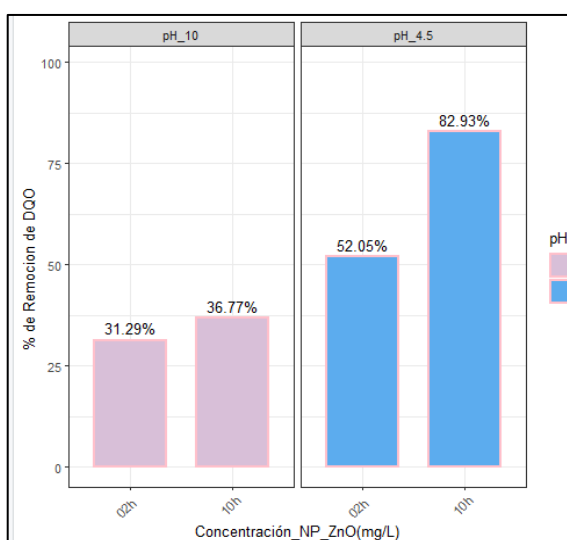


Figura 13. Variación de pH a 500 mg/L.

Fuente: elaboración propia en el programa R.

En la figura 13 se pueden observar los resultados de la variación de pH a una concentración de 500 mg/L donde el mejor resultado fue 82,93 % se obtuvo a un pH de 4,5 en un tiempo de 10 horas, mientras que a un pH 10 a pesar del tiempo no hubo una mejora significativa pues solo se logró alcanzar un porcentaje de remoción menor al 40 %. Así también, podemos mencionar que existe una variación significativa entre los mejores resultados de los diferentes pH, debido a que esta diferencia es de casi el 46 %, además que esto nos permite afirmar que cuando el pH tiende a ser ácido (4,5) existe un mejor proceso de remoción de DQO con las NP-ZnO.

4.1.5. Efecto del tiempo de iluminación en la remoción de DQO

En la tabla 9 se observa que, entre los dos niveles de tiempo de iluminación aplicados, el que tuvo mejor resultado fue el de 10 horas debido a que logró remover el 92,08 % de DQO, en comparación a las 2 horas el cual su mejor resultado fue de 52,05 % existiendo una diferencia del 40 % entre ambos tiempos.

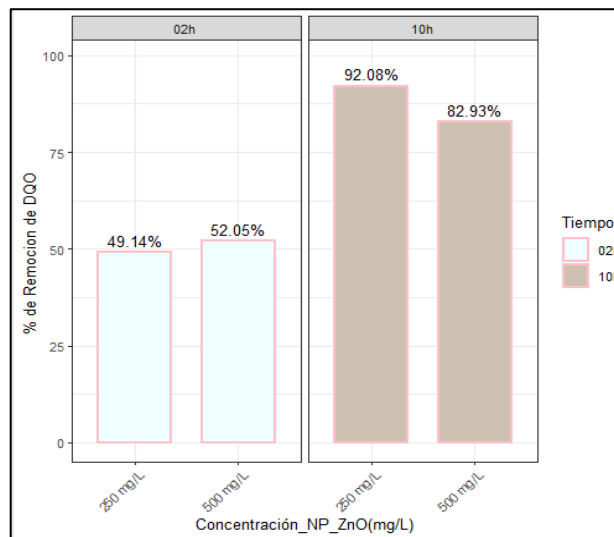


Figura 14. Variación de tiempo de iluminación a pH 4.5.

Fuente: elaboración propia en el programa R.

La figura 14 muestra los resultados de la variación de tiempo de iluminación a un pH de 4,5 donde se logró el mayor porcentaje de remoción del 92,08 % a las 10 horas con una concentración de 250 mg/L. Además, los resultados con una concentración de 500 mg/L también fueron positivos, llegando al 82,93 %, sin embargo, en el tiempo de 2 horas y con ambas concentraciones de 250 mg/L y 500 mg/L, no se pudo lograr una remoción de DQO superior como resultado, hay una diferencia significativa de casi el 40 % entre ambos tiempos, lo que indica que el tiempo de iluminación es un factor crucial para lograr porcentajes altos de eliminación de contaminantes.

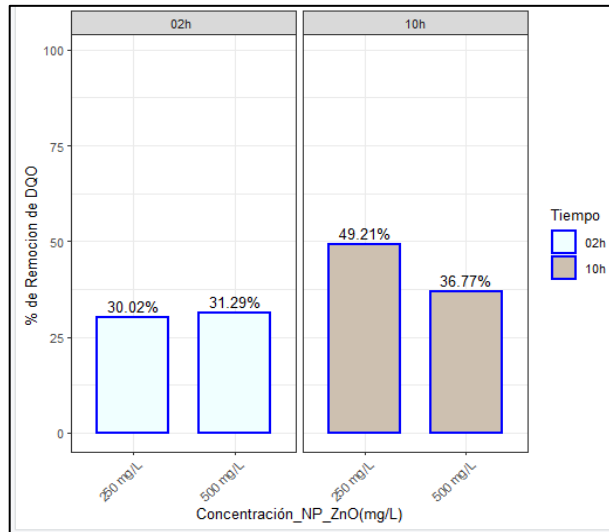


Figura 15. Variación de tiempo de iluminación a pH 10.

Fuente: elaboración propia en el programa R.

En la figura 15 se pueden observar los resultados de la variación de tiempo de iluminación a un pH de 10, donde el mejor resultado del 49,21 % se obtuvo a las 10 horas y una concentración de 250 mg/L, en cambio al tiempo de 2 horas y con ambas concentraciones de 250 mg/L y 500 mg/L no se pudo superar más del 32 % de remoción de DQO. Así también, se puede observar una diferencia de casi el 18 % entre los mejores resultados de los diferentes tiempos.

4.2. Mecanismo de la fotocatalisis heterogénea

Según Soto, “la fotoxidación da como resultado H_2O_2 y luego óxido de zinc. Los radicales OH y HO_2 , que se formaron en la oscuridad y se adsorbieron en el semiconductor, participan en el proceso de formación de peróxido de hidrogeno. Cuando el ZnO absorbe el fotón ultravioleta o la luz visible, comienza la reacción fotocatalítica”.

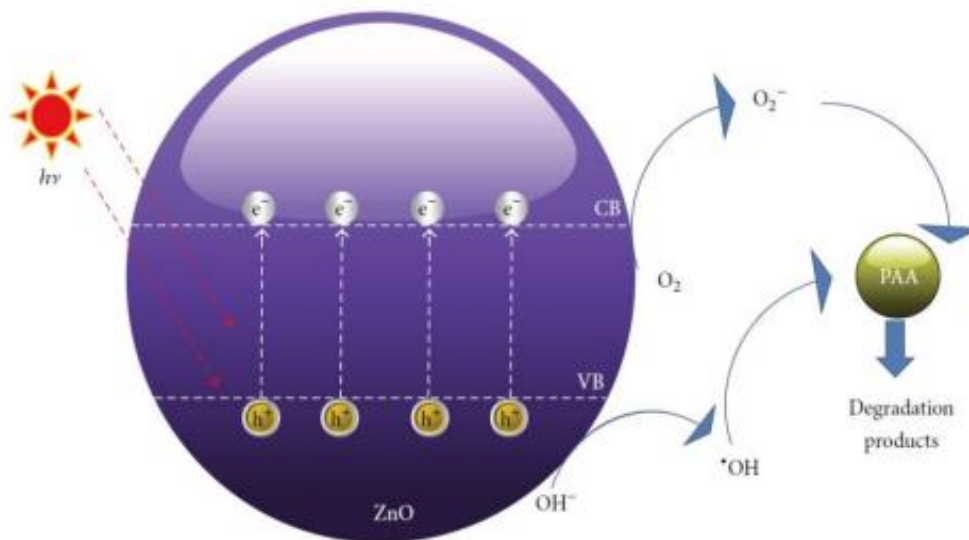
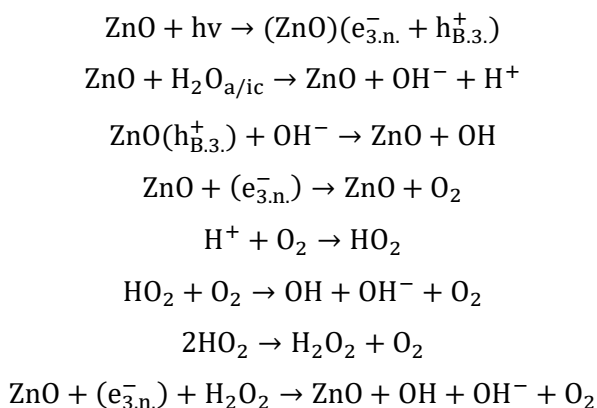


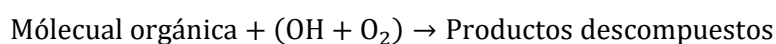
Figura 16. Proceso fotocatalítico con ZnO.

Fuente: Benítez y Quezada (11 pág. 19).

Los electrones de la banda de valencia se mueven a la banda de conducción al absorber la luz, lo que provoca la formación de un agujero positivo (h^+) en la banda de valencia, como se muestra en la figura 16. Los electrones y los agujeros foto generables tienen la capacidad de provocar una reacción redox en las moléculas orgánicas. El fotocatalizador se ralentizará durante el proceso de descomposición debido a la recombinación rápida de los pares de agujeros de electrones, que se disipa en forma de calor.



Entonces:



4.3. Prueba de hipótesis

Para realizar la prueba de hipótesis, primero se identificó el diseño factorial de 2^3 , ya que se utilizaron 3 factores con 2 niveles cada uno, lo que resultó en 8 pruebas por réplica. El programa MINITAB se utilizó para realizar el análisis.

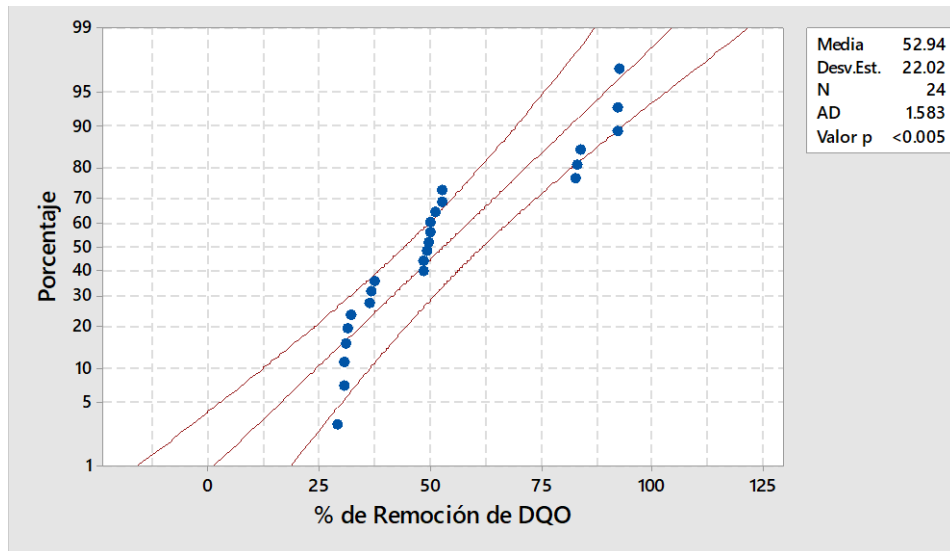


Figura 17. Prueba de normalidad para remoción de DQO.

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

La figura 17 muestra la prueba de normalidad para la remoción de DQO, donde el valor de "p" es menor a 0,005, lo que es menor al nivel de significancia de 0,05, lo que indica que los datos provienen de una población no normal, por lo tanto, la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y Chi-cuadrado fueron las que se utilizaron.

4.3.1. Pruebas de hipótesis específicas

Se decidió que los resultados de DQO no provienen de una distribución normal, por lo que se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para verificar la hipótesis.

Prueba de hipótesis específica 2:

*H₀₃: La concentración de las nanopartículas de ZnO no presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

*H_{a3}: La concentración de las nanopartículas de ZnO presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

Tabla 10. *Estadística descriptiva para la hipótesis específica 2.*

Conc. NP	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
250	12	49,340	12,5	0,00
500	12	44,365	12,5	0,00
General	24		12,5	

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

Tabla 11. *Prueba de Kruskal-Wallis para la hipótesis específica 2.*

GL	Valor H	Valor p
1	0,00	0,000

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

La tabla 11 muestra un valor de "p" de 0,000 para la variación de la concentración de nanopartículas de ZnO para la remoción de DQO, valor el cual es menor a la significancia (0,05), lo que significa que la variación de la concentración de nanopartículas de ZnO tiene un impacto significativo en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

Prueba de hipótesis específica 3:

*H₀₄: El pH no presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

*H_{a4}: El pH presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

Tabla 12. *Estadística descriptiva para la hipótesis específica 3.*

Conc. NP	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
4,5	12	67,57	18,1	3,87
10,0	12	33,99	6,9	-3,87
General	24		12,5	

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

Tabla 13. *Prueba de Kruskal-Wallis para la hipótesis específica 3.*

GL	Valor H	Valor p
1	14,96	0,000

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

La tabla 13 muestra un valor de "p" de 0,000 para la variación del pH para la remoción de DQO, valor el cual es menor a la significancia (0,05), lo que significa que la variación del pH tiene un impacto significativo en el proceso de fotocátalisis para eliminar DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

Prueba de hipótesis específica 4:

*H₀₅: El tiempo de iluminación no presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

*H_{a5}: El tiempo de iluminación presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

Tabla 14. *Estadística descriptiva para la hipótesis específica 4.*

Conc. NP	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
2	12	40,055	9,1	-2,37
10	12	66,190	15,9	2,37
General	24		12,5	

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

Tabla 15. Prueba de Kruskal-Wallis para la hipótesis específica 4.

GL	Valor H	Valor p
1	5,60	0,018

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

La tabla 15 muestra un valor de "p" de 0,018 para la variación del tiempo de iluminación para la remoción de DQO, que es menor al valor de significancia (0,05), por lo tanto, la variación del tiempo de iluminación tiene un impacto significativo en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

4.3.2. Prueba de hipótesis general

*H₀: La concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis no presentan efectos significativos en la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

*H_a: La concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis presentan efectos significativos en la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

Tabla 16. Prueba de Chi-cuadrado para hipótesis general.

	Chi-cuadrada	GL	Valor p
Pearson	87,709	23	0,000
Relación de verosimilitud	85,413	23	0,000

Fuente: elaboración propia en el programa Minitab.

La tabla 16 muestra un valor "p" de 0,000 para la variación de concentración, pH y tiempo de iluminación para la remoción de DQO, valor menor al de significancia (0,05), es decir, la variación de la concentración de las nanopartículas de ZnO, el pH y el tiempo de iluminación durante un proceso de fotocátalisis tienen un impacto significativo en la eliminación de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.

4.4. Discusión de resultados

La investigación utilizó el método de fotocátalisis heterogéneo con nanopartículas de óxido de zinc en diferentes concentraciones, modificaciones de pH y tiempos de iluminación para obtener resultados sobre la eliminación de DQO de las aguas de la industria cervecera Wayayo.

Tabla 17. Comparación de resultados a diferentes concentraciones de NP-ZnO.

Estudios	Datos del estudio	Estudio de Kee <i>et al.</i> (4)	Estudio de Abbas <i>et al.</i> (6)	Estudio de Tamashiro <i>et al.</i> (5)
Concentración de nanopartícula	250 mg/L	2 g/L	0,05 mg/L	1,56 g/ L
Remoción de DQO	92,08 %	83,40 %	89 %	17,1 %

Los niveles de la concentración de NP de ZnO fueron de 250 mg/L y 500 mg/L obtenidos de los antecedentes como de Kee *et al.* (4), dando como resultado que a menor concentración de nanopartículas de ZnO, es decir a 250 mg/L, se obtuvieron mejores efectos de la fotocátalisis heterogénea en la oxidación de la materia orgánica con un porcentaje de reducción del DQO del 92,08 %, resultados similares se observaban en la tabla 17 donde encontrados en el trabajo de Kee *et al.* (4 págs. 7-9), titulado “Degradación fotocatalítica de vinaza de caña de azúcar usando fotocatalizador de ZnO”, donde determinaron que con una concentración mínima de 2,0 g/L de catalizador, se alcanzaron resultados de reducción de DQO hasta del 83,40 %. Así también, en el trabajo realizado por Tamashiro *et al.* (5 págs. 9-11) titulado “Tratamiento de vinaza de caña de azúcar mediante fotocátalisis heterogénea con nanopartículas de óxido de zinc”, demostraron que las concentraciones mínimas de la nanopartícula de ZnO es de 1,56 g/ L con la que se obtuvo una reducción de DQO hasta el 17,1 % el cual fue superior de todos los resultados; si lo comparamos a los obtenidos por nuestro estudio es inferior, sin embargo esto puede deberse a que el trabajo se realizó con luz solar y sin ayuda de ninguna lámpara UV. En el caso del estudio de Abbas *et al.* (6 págs. 8-10), titulado “Biosíntesis de nanopartículas de óxido de zinc utilizando extracto de hoja de *Prosopis juliflora* como potencial fotocatalizador para el tratamiento de efluentes de papeleras”, nos menciona que a concentraciones de 0,05 mg/L se puede reducir

el 89 % de los contaminantes orgánicos, también se ha observado que la DQO se eliminó en un 74,30 %, 63,23 % y 57,96 % para el primer, segundo y tercer ciclo del proceso de obtención de papel, respectivamente. Con todo podemos concluir que a concentraciones que la influencia de la concentración en el proceso de fotocátalisis es significativa, además que esta se encuentra relacionada de manera indirecta con el porcentaje de remoción de DQO ya que a menores concentraciones de las NP de ZnO mayores resultados de remoción.

Tabla 18. Comparación de resultados a diferentes pH.

Estudios	Datos del estudio	Estudio de Aljuboury et al. (33)	Estudio de Kee et al. (4)
pH	4,5	6,8	10
Remoción de DQO	92,08 %	76 %	83,40 %

También se trabajó con dos niveles de pH con los valores de 4,5 y 10, dando como resultados de nuestro estudio que dicha variable influye en cómo se descompone la materia orgánica pues a 4,5 se obtuvieron resultados favorables de porcentaje de remoción del 92,08 %. Según la tabla 18, se puede mencionar que los resultados obtenidos van a lo puesto de lo determinado por Kee *et al.* (4 págs. 9-11), donde mencionan que a un pH de 10 se obtuvieron mejores resultados de reducción de DQO de 83,40 % el cual es inferior a nuestros resultados obtenidos en casi 10 %, sin embargo, en el estudio de Aljuboury *et al.* (33), titulado “Evaluación de la fotodegradación de DQO y TOC en aguas residuales de refinerías de petróleo mediante el uso de fotocatalizador TiO_2/ZnO ”, determinaron que los mejores resultados se obtuvieron a un pH de 6,8 obteniendo remoción de DQO mayores al 76 %, demostrando así que cuando el pH tiende a ser ácido el proceso de oxidación de materia orgánica se desarrolla de mejor manera. Además, en el presente estudio se cumple con lo mencionado en teoría de Soto, que menciona que en un proceso de oxidación avanzada por fotocátalisis se desarrolla de manera óptima cuando el pH está en rangos ácidos de 3 a 6, lo cual se demostró al obtener mejores resultados a un valor de 4,5. Con esto se afirma que el pH influye significativamente el proceso de fotocátalisis, ya que este nos permitirá una mejor oxidación de la materia orgánica, así también, podemos mencionar que el valor del pH está relacionado con el porcentaje de remoción de DQO, debido que a menores valores de pH, es decir, cuando tiende a ser ácido mayor remoción del contaminante.

Tabla 19. Comparación de resultados a diferentes tiempos de iluminación.

Estudios	Datos del estudio	Estudio de Aljuboury <i>et al.</i> (33)	Estudio de Abbas <i>et al.</i> (6)
Tiempo de iluminación	10 h	3 h aprox.	5 h
Remoción de DQO	92,08 %	76 %	89 %

Los tiempos de iluminación que se consideraron en el trabajo fueron de 2 horas y 10 horas, demostrando que los mejores resultados de reducción de DQO se obtuvieron al cabo de 10 horas de exposición con un porcentaje de remoción alcanzado de 92,08 %. Estos resultados, según la tabla 19, se comprueban en el trabajo de Abbas *et al.* (6 págs. 8-10), donde se menciona que, a un tiempo de exposición de 5 horas, el cual es el nivel más alto de sus variables, logró reducir hasta el 89 % de los contaminantes orgánicos, dicho porcentaje obtenido es cercano al nuestro. Además, en el estudio de Aljuboury *et al.* (33), los mejores resultados se obtuvieron en el mayor tiempo de exposición que en este caso es de 170 min con la que se logró una tasa máxima de eliminación de TOC y DQO fue del 99,3 % y el 76 % respectivamente, pero debido a que este tiempo de exposición fue mucho menor que el nuestro es la diferencia de resultados de remoción que se obtuvo que es casi del 16 %. En el caso de Kee *et al.* (4 págs. 9-11) se determinó que el tiempo de exposición adecuado debe ser mayor para obtener resultados de reducción de DQO del 83,40 %. Con todo lo mencionado y revisado en los antecedentes se puede mencionar que las diferencias de tiempos de exposición con respecto a nuestro estudio se pueden deber a la intensidad de luminosidad de la lámpara con la cual se trabajó en cada estudio ya que este también es un factor que influye en el proceso de fotocatalisis y puede ser un indicio para futuras investigaciones. También podemos decir que el tiempo de exposición influye de manera significativa en el tratamiento de las aguas residuales de cervecería, además que el porcentaje de remoción de los contaminantes se encuentran relacionados de forma directa pues ambos aumentan cuando el otro lo hace.

Debido a lo mencionado y analizado, la interacción de las tres variables nos permitió obtener una remoción mayor al 90 % debido a que cada uno de ellos tiende a influir en el proceso fotocatalítico, pues estos 3 ocasionan que haya mejor formación de agujero positivo y formación de radicales hidroxilos y oxígeno los cuales ayudan a la descomposición de la materia orgánica y, por ende, a la reducción del DQO.

CONCLUSIONES

Se evaluó la concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en un proceso de fotocatalisis en la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo, dando como resultados que estas tres variables presentan efectos significativos en el proceso debido a que en sus diferentes niveles de sus variables como la concentraciones de nanopartícula en 250 mg/L y 500 mg/L, pH de 4,5 y 10, en el caso de tiempo de iluminación 2 horas y 10 horas; dieron como resultados que los diferentes niveles e interacciones de las variables presentaron diferencias significativas en sus resultados de remoción logrando así el mejor resultado de concentración final de DQO en 90,83 mg/L que presenta una eficiencia del 92,33 % de remoción del proceso a condiciones de trabajo de 250 mg/L de nanopartículas de ZnO, pH 4,5 y tiempo de iluminación de 10 horas, además que con estos resultados se ha logrado estar dentro de los LMP según el Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE, que menciona que el DQO en dicha agua debe de ser como máximo de 1000 mg/L, dando a conocer que la concentración y el pH se encuentran relacionados indirectamente proporcional con el porcentaje de remoción ya que cuando estos tienen a ser mejores la remoción aumenta, mientras que el tiempo de iluminación se encuentra relacionado de forma directa ya que cuando este es mayor la remoción de DQO también.

Las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo tuvieron un pH de 6,7, una conductividad de 870 μ S/cm, una turbidez de 96,4 NTU, un STD de 430 mg/L y una DQO de 1184,51 mg/L. Este último parámetro fue superior a los LMP de efluentes para alcantarillado de las actividades de cerveza nueva (Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE) valor que es 1000 mg/L.

Se determinó que la variación en la concentración de nanopartículas de ZnO tenía un impacto significativo en la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo, pues se observó que a medida que aumentaba la concentración de nanopartículas, la remoción de DQO disminuía. Por lo tanto, la concentración con la que se obtuvo el mejor resultado fue de 250 mg/L, ya que proporcionó una remoción de DQO superior al 92 %.

Se determinó que la variación del pH tenía un impacto significativo en la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo, porque se observó que cuando el pH era más alcalino, la eficiencia de remoción de DQO disminuía en comparación con lo

que ocurría cuando el pH era más ácido. Por lo tanto, el pH con el que se obtuvieron los mejores resultados fue de 4,5 porque lograron extraer un 92,33 % más de DQO.

Se determinó que la variación del tiempo de iluminación tenía un impacto significativo en la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo, ya que se observó que a medida que aumentaba el tiempo de iluminación, aumentaba el porcentaje de remoción. Como resultado, el período de 10 horas fue el que dio los mejores resultados.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios del proceso de fotocátalisis con las nanopartículas de ZnO en aguas residuales de cervecería tomando en cuenta otras variables dependientes que permitan realizar el cumplimiento completo de la normativa peruana Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE.
- Se recomienda realizar una caracterización de estas aguas de manera minuciosa para determinar variables dependientes de interés para futuros estudios y demás para ser fuente de información sobre la composición detallada de dichas aguas.
- Se recomienda realizar estudios de la capacidad de remoción la nanopartícula de ZnO aplicando los diferentes tipos de isotermas.
- Se recomienda realizar más experimentos con diferentes pH ácidos para poder observar de manera más detallada como es el efecto que tiene esta variable en el proceso de fotocátalisis con las nanopartículas de ZnO.
- Se recomienda evaluar el tiempo de iluminación tomando en consideración diferentes intensidades de iluminación para de esta para ver cómo afecta la intensidad en el tiempo que se expone a ella el agua a tratar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SANTACRUZ, A., y otros. Sostenibilidad en la industria cervecera: una revisión crítica de los residuos generados y su gestión. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2023, 21(1), 161-177 pp. ISSN: 1692-3561.
- (2) ZEPEDA, A., y otros. Tratamiento de las aguas residuales de la industria cervecera, en un reactor de lotes secuenciados (SBR). *Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa*, 2000, 35(1).
- (3) ENITAN, A., y otros. Characterization of brewery wastewater composition. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 2015, 9(9), 1073-1076 pp. ISSN: 2375-3854.
- (4) KEE, W., y otros. Photocatalytic degradation of sugarcane vinasse using ZnO photocatalyst: operating parameters, kinetic studies, phytotoxicity assessments and reusability. *International Journal of Environmental Research*, 2021, 16(3). ISSN: 2008-2304.
- (5) TAMASHIRO, J., y otros. Treatment of sugarcane vinasse using heterogeneous photocatalysis with zinc oxide nanoparticles. *Sustainability*, 2022, 14(23). ISSN: 2071-1050.
- (6) ABBAS, A., y otros. Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using leaf extract of *Prosopis juliflora* as potential photocatalyst for the treatment of paper mill effluent. *Applied Sciences*, 2021, 11(23). ISSN: 2076-3417.
- (7) DIHOM, H., y otros. Photocatalytic degradation of disperse azo dyes in textile wastewater using green zinc oxide nanoparticles synthesized in plant extract: a critical review. *Journal of Water Process Engineering*, 2022, 47. ISSN: 2214-7144.
- (8) KANAKARAJU, D., YAHYA, M. y WONG, S. Removal of chemical oxygen demand from agro effluent by ZnO photocatalysis and photo-Fenton. *SN Applied Sciences*, 2019, 1(7). ISSN: 2523-3971.
- (9) NIETO, F. Influencia de la radiación solar en la descontaminación de aguas residuales urbanas a través de la fotodegradación. Tesis de Maestría (Maestro en Ciencias en Agroecología). Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2020.
- (10) VELA, F., REVOREDO, J. y MANCO, O. Eficiencia de remoción de la carga orgánica mediante la tecnología MBBR del agua residual procedente de una planta de cerveza artesanal. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Callao: Universidad Nacional del Callao, 2023.

- (11) BENITEZ, F. y QUEZADA, P. Degradación fotocatalítica del colorante azul BR 25 con ZnO y generación de energía eléctrica en un reactor de flujo continuo. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2023.
- (12) FERNANDEZ, T. y MUÑOZ, J. Tecnologías fotocatalíticas para su aplicación práctica en la remediación de efluentes generados por el molino de aceite de palma: revisión sistemática. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2022.
- (13) MONTROYA, G. Nanopartículas de óxido de zinc para la reducción del fenol en aguas residuales sintéticas Huancayo 2021. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2021.
- (14) RAU, M. y SUAZO, J. Reducción de DQO y DBO₅ por fotocátalisis heterogénea con TiO₂ y H₂O₂ de las aguas residuales del camal Municipal de la Provincia de Chupaca. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2021.
- (15) HUANCA, Y. Aplicación del método de descomposición fotocatalítica utilizando nanopartículas de óxido de zinc para el tratamiento de aguas residuales. Tesis Doctoral. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2023.
- (16) ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL. *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Lima: OEFA, 2014.
- (17) ALARCON, R. y FERNANDEZ, E. Tratamiento de aguas residuales de la industria cervecera de los Andes "Yungueña" a nivel laboratorio. Proyecto de Grado. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés, 2014.
- (18) GABRIEL, L. Procesos de tratamiento y valorización de efluentes líquidos de la industria cervecera. Tesis Doctoral. Argentina: Universidad Nacional del Litoral, 2015.
- (19) DIAZ, M. Diagnóstico del método del tratamiento de agua residual en cervecería backus - Motupe. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2021.
- (20) BERMEJO, M. Fotocatálisis y su capacidad descontaminante. Aplicación en Gran Vía. Trabajo de Grado. España: Universidad Politécnica de Madrid, 2018.
- (21) LISBONA, L. Materiales fotocatalíticos y sus aplicaciones en construcción. Trabajo Final de Máster. España: Universitat Politècnica de Catalunya, 2016.
- (22) MENDOZA, G. y RODRÍGUEZ, J. La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Perfiles Latinoamericanos*, 2017, 14(29), 161-186 pp. ISSN: 0188-7653.
- (23) LOPEZ, H., y otros. Nanopartículas: aplicaciones actuales y futuras en la industria alimentaria. *Ciencia cierta*, 2016, 48(3), 1-9 pp.

- (24) MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Calidad ambiental*. Lima: Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental, 2011.
- (25) MENDEZ, A., CHAPARRO, T. y RUEDA-BAYON, J. Biohydrogen from anaerobic treatment of brewery wastewaters: a preliminary study. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2022, 13(3). ISSN: 2007-2422.
- (26) CARBONELL, R., y otros. Evaluación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas de la Provincia de Granma, Cuba. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 2012, 8(1), 15-20 pp.
- (27) GARCÉS, L., MEJÍA, E. y SANTAMARÍA, J. Photocatalysis as an alternative to treat waste water. *Revista Lasallista*, 2004, 1(1), 83-92 pp. ISSN: 1794-4449.
- (28) GARZÓN, M. Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 2018, 27(2), 75-80 pp.
- (29) COLONIA, R., y otros. Síntesis de nanopartículas de ZnO empleando 2 ultrasonido: caracterización estructural y morfológica para aplicaciones bactericidas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2013, 79(2), 126-135 pp. ISSN: 1810-634X.
- (30) HERNANDEZ-SAMPIERI, R. y MENDOZA, C. *Metodología de la investigación: las rutas cuantativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw Hill, 2018. ISBN: 978-1-4562-6096-5.
- (31) CEGARRA, J. *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. España: Diaz de Santos, 2018. ISBN: 9780333227794.
- (32) INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES [En línea]. Toma de muestras de aguas residuales, 2007. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResidual es.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428.
- (33) ALJUBOURY, D., y otros. Evaluating photo-degradation of COD and TOC in petroleum refinery wastewater by using TiO₂/ZnO photo-catalyst. *Water Science & Technology*, 2016, 74(6), 1312-1325 pp.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
<p>General: *¿Cuál es el efecto de la concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo?</p> <p>Específicos: *¿Cuál es la caracterización fisicoquímica del agua residual de la cervecería artesanal Wayayo? *¿Cuál es el efecto de la concentración de las nanopartículas de ZnO en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo? *¿Cuál es el efecto del pH en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo? *¿Cuál es el efecto del tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo?</p>	<p>General: *Evaluar el efecto de la concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.</p> <p>Específicos: *Caracterizar fisicoquímicamente el agua residual de la cervecería artesanal Wayayo. *Determinar el efecto de la concentración de las nanopartículas de ZnO en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo. *Determinar efecto del pH en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo. *Determinar efecto del tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.</p>	<p>General: *La concentración de las nanopartículas de ZnO, pH y tiempo de iluminación en un proceso de fotocátalisis presentan efectos significativos en la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.</p> <p>Específicas: *La caracterización fisicoquímica presenta concentraciones significativamente superiores a las normativas establecidas para las aguas residuales industriales. *La concentración de las nanopartículas de ZnO presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo. *El pH presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo. *El tiempo de iluminación presenta efectos significativos en el proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas residuales de la cervecería artesanal Wayayo.</p>	<p>Variables independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concentración de nanopartículas de ZnO. • pH. • Tiempo de iluminación. <p>Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DQO. 	<p>mg/L</p> <p>-</p> <p>min</p> <p>mg/L</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Tipo de investigación: Aplicada</p> <p>Nivel de la investigación: Correlacional</p> <p>Diseño experimental: Puro con un DCA con arreglo factorial de 2³.</p> <p>Población: Agua residual obtenida del proceso de fermentación de la industria cervecera Wayayo.</p>

Anexo 2. Presupuesto para el trabajo de investigación.

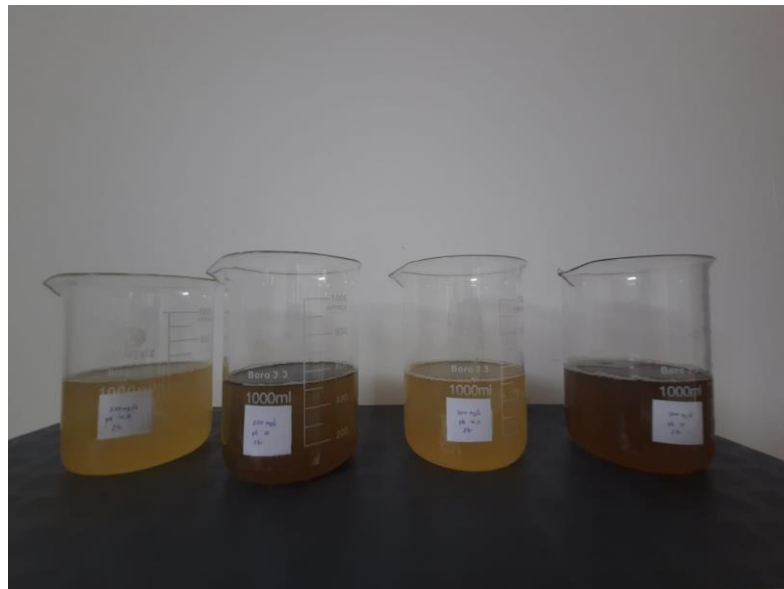
DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO S/	COSTO TOTAL S/
BIENES				
Recopilación de información: Libros, textos y otros materiales impresos.	Unid.	8	50,00	400,00
Recopilación de información: Servicio de internet.	Horas	300	1,00	300,00
Materiales de oficina en general (lapiceros, borrador, hojas, resaltador, etc.).	Varios	1	300,00	300,00
Implementos de laboratorio: Guardapolvo.	Unid.	1	30,00	30,00
Mascarillas.	Caja	1	5,00	5,00
Guantes quirúrgicos.	Caja	1	50,00	50,00
EQUIPOS Y MATERIALES				
HCl.	G	400	20,00	20,00
NaOH.	G	400	20,00	20,00
Lámpara ultravioleta A.	Unid.	1	30,00	30,00
Laboratorio.	Lab.	1	3000,00	3000,00
SERVICIOS				
Movilidad (pasajes y gastos de transporte).	Soles	20	5,00	100,00
SUB TOTAL				4255,00
IMPREVISTOS (10 %)				425,50
TOTAL (S/)				4680,50

Anexo 3. Toma de muestra.



Anexo 4. Parte experimental.





Anexo 5. Reportes de laboratorio.



LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES

INFORME DE ENSAYO N° 1-0120/23

Pág. 1/1

Cliente : Rosa Luz Garcia Castro
 Joubert Ivan Velasquez Ramos
Dirección : Jr. Viru Mz 6 Lte. 03
 Psje. La Cima N° 144
Proyecto : Evaluación del efecto de concentración de nanopartículas de ZnO en un
 proceso de fotocatalisis para la remoción de DQO de las aguas
 residuales de la cervecería artesanal Wayayo, 2023
Muestra(s) Declarada(s) : Agua residual industrial
Procedencia de las Muestras : Cervecería artesanal Wayayo
Cantidad de Muestras : 01
Presentación de las Muestras : Frasco de plastico
Fecha de Recepción : 16/09/23
Fecha de Ejecución de Ensayo : 16/09/23
Fecha de Término del Ensayo : 16/09/23
Fecha de Emisión de Informe : 21/09/23
N° de Cotización de Servicio :



PARÁMETROS DE CAMPO

Código del cliente	Ensayo	Unidad	Resultados
R.J-0	Temperatura	°C	19
	pH	Unidades de pH	6.8
	Conductividad	uS/cm	870

CALIDAD DEL AGUA

Código del cliente	Ensayo	Unidad	Resultados
R.J-0	DQO	mg/L O2	1184.51
	TDS	mg/L	430
	Turbidez	NTU	964

* Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
 * El cliente renuncia al derecho de la difinencia
Método de Análisis:
 Demanda Química oxígeno: SMENW-APHA-18WVA-WEF Par 4500-H₂O, 2380 Ed.2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

Huancayo, 21 de Setiembre de 2023


GRUPO JHACC S.A.C.
 Ing. Henry R. Ochoa León
 CIP N° 12423
 JEFE DE LABORATORIO

*El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente Informe.
 *Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC
 *Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema
 de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev. 01

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682
 Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
 www.grupojhacc.com

INFORME DE ENSAYO N° 1-0121/23

Pág. 1/1

Cliente: : Rosa Luz García Castro
 Joubert Ivan Velasquez Ramos
Dirección : Jr. Viru Mz 6 Lte. 03
 Psje. La Cimo N° 144
Proyecto : Evaluación del efecto de concentración de nanopartículas de ZnO en un
 proceso de fotocátalisis para la remoción de DQO de las aguas
 residuales de la cervecería artesanal Wayayo, 2023.
Muestra(s) Declarada(s) : Agua residual industrial.
Procedencia de las Muestra : Cervecería artesanal Wayayo
Cantidad de Muestras : 08
Presentación de las Muestras : Frasco de plástico.
Fecha de Recepción : 16/09/23
Fecha de Ejecución de Ensayo : 16/09/23
Fecha de Término del Ensayo : 20/09/23
Fecha de Emisión de Informe : 21/09/23
N° de Cotización de Servicio :



CALIDAD DEL AGUA

Código del cliente	Ensayo	Unidad	Resultados
RJ-111- R1	DQO	mg/L O2	592.41
RJ-112- R1	DQO	mg/L O2	90.83
RJ-121- R1	DQO	mg/L O2	823.74
RJ-122- R1	DQO	mg/L O2	598.82
RJ-211- R1	DQO	mg/L O2	561.49
RJ-212- R1	DQO	mg/L O2	194.84
RJ-221- R1	DQO	mg/L O2	806.69
RJ-222- R1	DQO	mg/L O2	739.64

- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la difamación

Método de Análisis:

Demanda Química de oxígeno: SM70W-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed.2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

Huancayo, 21 de Setiembre de 2023

 **GRUPO JHACC S.A.C.**
Ing. Henry B. Ochoa León
 CIP N° 124232
 JEFE DE LABORATORIO

*El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe

*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC

*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema

de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 1-0123/23

Pág. 1/1

Cliente: : Rosa Luz García Castro
 Joubert Ivan Velasquez Ramos
Dirección : Jr. Virú Mz 6 Lta 03
 Psje. La Cimo N° 144
Proyecto : Evaluación del efecto de concentración de nanopartículas de ZnO en un
 proceso de fotocatalisis para la remoción de DQO de las aguas
 residuales de la cervecería artesanal Wayayo, 2023.
Muestra(s) Declarada(s) : Agua residual industrial
Procedencia de las Muestra : Cervecería artesanal Wayayo
Cantidad de Muestras : 08
Presentación de las Muestras : Frasco de plastico
Fecha de Recepción : 22/09/23
Fecha de Ejecución de Ensayo : 23/09/23
Fecha de Término del Ensayo : 25/09/23
Fecha de Emisión de Informe : 28/09/23
N° de Cotización de Servicio :



CALIDAD DEL AGUA

Código del cliente	Ensayo	Unidad	Resultados
RJ-01	DQO	mg/L O2	1154.92
RJ-111- R2	DQO	mg/L O2	586.41
RJ-112- R2	DQO	mg/L O2	91.48
RJ-121- R2	DQO	mg/L O2	803.96
RJ-122- R2	DQO	mg/L O2	579.27
RJ-211- R2	DQO	mg/L O2	549.99
RJ-212- R2	DQO	mg/L O2	201.68
RJ-221- R2	DQO	mg/L O2	799.63
RJ-222- R2	DQO	mg/L O2	731.5

- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente.
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

Método de Análisis:

Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part.4500-H+ B, D, 23rd Ed.2017. Closed Reflux, colorimetric Method.

Huancayo, 28 de Setiembre de 2023

GRUPO JHACC S.A.C

Ing. Henry R. Ochoa León

GR-124232
JEFE DE LABORATORIO

"El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe"

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC"
 "Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce."

LAA-GJ

Rev: 01

INFORME DE ENSAYO N° 1-0124/23

Pág. 1/1

Cliente: Rosa Luz García Castro
 Joubert Ivan Velasquez Ramos
Dirección: Jr. Viru Mz 6 Lte D3
 Psje. La Cima N° 144
Proyecto: Evaluación del efecto de concentración de nanopartículas de ZnO en un
 proceso de fotocatalisis para la remoción de DQO de las aguas
 residuales de la carvercería artesanal Wayayo, 2023
Muestra(s) Declarada(s): Agua residual industrial
Procedencia de las Muestra: Cervecería artesanal Wayayo
Cantidad de Muestras: 08
Presentación de las Muestras: Frasco de plastico
Fecha de Recepción: 30/09/23
Fecha de Ejecución de Ensayo: 02/10/23
Fecha de Término del Ensayo: 03/10/23
Fecha de Emisión de Informe: 06/10/23
N° de Cotización de Servicio: :



CALIDAD DEL AGUA

Código del cliente	Ensayo	Unidad	Resultados
RJ-02	DQO	mg/L O2	1096.47
RJ-111- R3	DQO	mg/L O2	567.87
RJ-112- R3	DQO	mg/L O2	89.7
RJ-121- R3	DQO	mg/L O2	776.11
RJ-122- R3	DQO	mg/L O2	566.36
RJ-211- R3	DQO	mg/L O2	535.42
RJ-212- R3	DQO	mg/L O2	189.55
RJ-221- R3	DQO	mg/L O2	754.29
RJ-222- R3	DQO	mg/L O2	700.84

- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dimensión

Método de Análisis:

Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed.2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

Huancayo, 6 de Octubre de 2023


GRUPO JHACC S.A.C
 Ing. Henry R. Ochoa León
 CIP N° 124232
 JEFE DE LABORATORIO

*El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe

*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC

*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Anexo 6. Información de nanopartículas de ZnO.



Maximize your productivity through
Skyspring nanomaterials

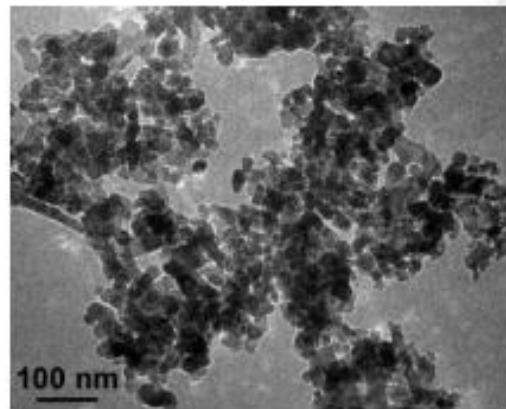
Zinc Oxide Nanoparticles/ Nanopowder (ZnO, 99.8%, 10~30nm)

Product Name: Zinc Oxide Powder
Product Number: 8410DL
Form: Powder
CAS Number: 1314-13-2
Empirical Formula: ZnO

Specifications

D50: 10~30nm
Purity: 99.8%
Color: white to light yellow
Typical Impurities (Max ppm):

Cu:	25
Cd:	25
Mn:	25
Pb:	20
As:	20



Skyspring Nanomaterials, Inc.

2935 Westhollow Drive, Houston, TX 77082, USA
Email: sales@ssnano.com | www.ssnano.com
Ph: 281-870-1700 | Fax: 281-870-8002

Anexo 7. Certificados de acreditación de equipos.

Multiparámetro:

KOSSOMET		LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 006		INACAL DA - Perú Laboratorio de Calibración Acreditado Registro N° LC - 006	
<h1>Certificado de Calibración</h1> <h2>Calibration Certificate</h2>				N° CE23-C-0124	
Ciente: <i>Customer</i>	GRUPO JHACC S.A.C. CONSULTORIA E INGENIERÍA AMBIENTAL	<p>Este Certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. mantiene y calibra sus patrones de referencia para garantizar la cadena de trazabilidad de las mediciones que realiza, así mismo realiza certificaciones metroológicas a solicitud de los interesados y brinda asistencia técnica en temas relacionados al campo de la metrología en la industria peruana.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p> <p><i>This Calibration Certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>KOSSODO METROLOGIA S.A.C. supports and calibrates his standards of reference to guarantee the chain of traceability of the measurements realized, as well as the metrological certifications realize at the request of the interested parties and offers technical assistance in topics related to the metrology field in the Peruvian industry.</i></p> <p><i>In order to assure the quality of measurements the user should recalibrate his instruments at appropriate intervals.</i></p>			
Dirección: <i>Address</i>	Jr. Santa Rosa 1361 - El Tambo - Huancayo				
Instrumento de medición: <i>Measuring instrument</i>	MULTIPARÁMETRO (Conductímetro)				
Marca: <i>Brand</i>	HORIBA				
Modelo: <i>Model</i>	LAQUA PC1100				
Número de serie: <i>Serial Number</i>	BB1K0003				
Identificación del medidor: <i>Identification of the meter:</i>	EL-030				
Lugar de Calibración: <i>Place of Calibration</i>	Laboratorio de Físico-Químico de KOSSODO METROLOGÍA S.A.C.				
Orden de Trabajo: <i>Work Order</i>	OT-02303157				
Fecha de Calibración: <i>Date of Calibration</i>	2023-11-24				
Fecha de Emisión: <i>Date of Issue</i>	2023-11-27				
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL OBJETO CALIBRADO <i>Technical specifications of the calibrated object</i>					
Intervalo de Indicación: <i>Indication interval</i>	0 µS/cm a 2000 mS/cm	Resolución: <i>Resolution</i>	0,01 0,1 1 0,01	µS/cm µS/cm µS/cm mS/cm	
Marca de Sonda: <i>Mark Probe:</i>	HORIBA	Exactitud: <i>Accuracy</i>	± 0,6 % F.S.		
Modelo de Sonda: <i>Probe model</i>	9382	Serie de Sonda: <i>Probe Series</i>	9C1H0048		
Código de Sonda: <i>Probe code</i>	No indica				
MÉTODO DE CALIBRACIÓN <i>Calibration Method</i>					
La calibración se realizó por comparación de la indicación del instrumento con valores asignados a materiales de referencia de conductividad certificados; siguiendo el procedimiento, PC-022 "Procedimiento para la Calibración de Conductímetros", 1ra edición del SNM-INDECOPI. <i>The calibration was performed by comparing the indication of the instrument with values assigned to certified conductivity reference materials; following the procedure, PC-022 "Procedure for the Calibration of Conductimeters", 1st edition of the SNM-INDECOPI.</i>					
		Jefe de Laboratorio <i>Laboratory Boss</i>  Olga Toro Sayas			
FO-LAB-2-3		Versión: 4		Aprobado el 2023-06-05	
<small>Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo Metrología S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo Metrologia S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature</small>					
<small>Dirección: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú Teléfonos: (+ (51-1) 619-8400 Anexo Ventas: 1414 Anexo Laboratorio:1406 E-mail: metrologia@kossomet.com www.kossomet.com</small>					

N° CE23-C-0124

PATRONES UTILIZADOS
Standards Used

Nombre del patrón <i>Standard name</i>	Código y/o serie del Patrón <i>Pattern code and/or series</i>	N° de Certificado <i>Certificate number</i>	Trazabilidad <i>Traceability</i>
Solución standard de conductividad a 10 µS/cm <i>Conductivity standard solution at 10 µS/cm</i>	PT-SC10-64	4175-14116859	Patrones de referencia del NIST
Solución standard de conductividad a 1413 µS/cm <i>Conductivity standard solution at 1413 µS/cm</i>	PT-SC1413-84	MRC-C-025-2023	Patrones de referencia del INACAL
Solución standard de conductividad a 12880 µS/cm <i>Conductivity standard solution at 12880 µS/cm</i>	PT-SC12880-56	MRC-C-011-2023	Patrones de referencia del INACAL
Termómetro digital <i>Digital thermometer</i>	PT-TDIG-08 / 181228816	LT-292-2023	Patrones de referencia del DM-INACAL
Baño Termostático <i>Thermostatic bath</i>	EQ-BTER-05 / 1405831	LT-0465-2023	Patrones de referencia del SAT S.A.C.
Termohigrómetro <i>Thermohygrometer</i>	IM-THIG-36 / 192570367	TH23-C-0318	Patrones de referencia de KOSSODO METROLOGÍA

CONDICIONES AMBIENTALES
Environment Conditions

Temperatura ambiente inicial: <i>Initial temperature</i>	21,8 °C	Humedad Relativa inicial: <i>Initial relative humidity</i>	55,7 %
Temperatura ambiente final: <i>Final temperature</i>	21,8 °C	Humedad Relativa final: <i>Final relative humidity</i>	59,4 %

RESULTADOS ANTES DEL AJUSTE A 25 °C
Results before adjust to 25 °C

Previo al ajuste del instrumento se encontró el siguiente resultado para el valor de conductividad.

Before the adjust of the instrument, it was found the following result for the conductivity value.

Valor Nominal <i>Nominal value</i>	Error
µS/cm	µS/cm
9,65	-2,29
1414	122

Valor Nominal <i>Nominal value</i>	Error
mS/cm	mS/cm
12,83	0,11

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DE LA ESCALA DEL INSTRUMENTO A 25 °C
Calibration results of the instrument scale at 25 °C

Valor Certificado <i>Certified Value</i>	Lectura del conductímetro <i>Reading of the conductimeter</i>	Error <i>Error</i>	Incertidumbre <i>Uncertainty</i>
µS/cm	µS/cm	µS/cm	µS/cm
9,65	11,89	2,24	0,62
1414	1397	-17	6

Valor Certificado <i>Certified Value</i>	Lectura del conductímetro <i>Reading of the conductimeter</i>	Error <i>Error</i>	Incertidumbre <i>Uncertainty</i>
mS/cm	mS/cm	mS/cm	mS/cm
12,83	12,84	0,01	0,05

N° CE23-C-0124

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN*Measurement Uncertainty*

La incertidumbre de medición calculada (U), ha sido determinada a partir de la Incertidumbre estándar de medición combinada, multiplicada por el factor de cobertura $k=2$. Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

The calculated uncertainty of measurement (U), it has been determined from the combined Standard Uncertainty of Measurement multiplied by the coverage factor $k=2$. This value has been calculated for a confidence level of about 95 %.

OBSERVACIONES*Comments*

El instrumento se ajustó con solución estándar de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 12880 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

The instrument was adjusted with standard solution of 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 12880 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El instrumento tiene sensor de temperatura incorporado.

The instrument has built-in temperature sensor.

NOTAS*Notes*

Los resultados contenidos en el presente documento son válidos únicamente para las condiciones del instrumento durante la calibración. KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de ningún perjuicio que puedan derivarse del uso inadecuado del objeto calibrado.

The values indicated in this document are only valid for the conditions of the instrument during calibration. KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. takes no responsibility for any damages caused by bad use of the calibrated object.

Los resultados declarados en el presente documento se relacionan solamente con el ítem sometido a calibración indicado en la página 1 de éste documento.

The results declared in this document relate only to the item undergoing calibration indicated on page 1 of this document.

Una copia de este documento será mantenida en archivo electrónico en el laboratorio por un periodo de por lo menos 4 años.

A copy of this document will be kept in electronic device in the laboratory for 4 years at least.

La versión en inglés de este documento es una traducción relativa. En caso de duda, es válida la versión original en español.

The version in english of this document is not a binding translation. If any controversy arises, the original version in spanish must be considered.

El cliente es responsable de toda la información proporcionada durante el servicio y que puedan afectar a la validez de los resultados.

The client is responsible for all information provided during the service that may affect the validity of results.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 006



Registro N° LC - 006

N° PH23-C-0294

OBSERVACIONES

Comments

El instrumento se ajustó con soluciones estándar de pH 4, pH 7 y pH 10.

The instrument was adjusted with standard buffer solutions of pH 4, pH 7 and pH 10.

El instrumento tiene sensor de temperatura incorporado

The instrument has built-in temperature sensor.

NOTAS

Notes

Los resultados contenidos en el presente documento son válidos únicamente para las condiciones del instrumento durante la calibración. KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de ningún perjuicio que puedan derivarse del uso inadecuado del objeto calibrado.

The values indicated in this document are only valid for the conditions of the instrument during calibration. KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. takes no responsibility for any damages caused by bad use of the calibrated object.

Los resultados declarados en el presente documento se relacionan solamente con el ítem sometido a calibración indicado en la página 1 de éste documento.

The results declared in this document relate only to the item undergoing calibration indicated on page 1 of this document.

Una copia de este documento será mantenida en archivo electrónico en el laboratorio por un período de por lo menos 4 años.

A copy of this document will be kept in electronic device in the laboratory for 4 years at least.

La versión en inglés de este documento es una traducción relativa. En caso de duda, es válida la versión original en español.

The version in english of this document is not a binding translation. If any controversy arises, the original version in spanish must be considered.

El cliente es responsable de toda la información proporcionada durante el servicio y que puedan afectar a la validez de los resultados.

The client is responsible for all information provided during the service that may affect the validity of results.

N° PH23-C-0294

PATRONES UTILIZADOS
Standards Used

Nombre del patrón <i>Standard name</i>	Código y/o serie de Patrón <i>Pattern code and / or series</i>	N° de Certificado <i>Certificate number</i>	Trazabilidad <i>Traceability</i>
Solución standard de valor nominal pH 4 <i>Standard solution with nominal value of pH 4</i>	PT-SB04-161	Material de referencia del NIST N° 4280-13922060	Soluciones estándar con incertidumbres de pH 0,011
Solución standard de valor nominal pH 7 <i>Standard solution with nominal value of pH 7</i>	PT-SB07-163	Material de referencia del NIST N° 4281-13962975	Soluciones estándar con incertidumbres de pH 0,011
Solución standard de valor nominal pH 10 <i>Standard solution with nominal value of pH 10</i>	PT-SB10-162	Material de referencia del NIST N° 4282-13986231	Soluciones estándar con incertidumbres de pH 0,011
Termómetro digital <i>Digital thermometer</i>	PT-TDIG-08 / 181228816	Patrones de referencia del DM-INACAL N° LT-292-2023	Indicador digital con incertidumbre de orden máximo 0,022 °C
Termohigrómetro <i>Thermo-hygrometer</i>	IM-THIG-36 / 192570367	Patrones de referencia de KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. N° TH23-C-0318	Indicador digital con incertidumbre de orden máximo 0,4 °C; 2,7 %
Baño termostático <i>Thermostatic bath</i>	EQ-BTER-05 / 1405831	Patrones de referencia de SAT S.A.C. N° LT-0465-2023	Indicador digital con incertidumbre de orden máximo 0,03

CONDICIONES AMBIENTALES
Environment Conditions

Temperatura ambiente inicial: <i>Initial temperature</i>	23,2 °C	Humedad Relativa inicial: <i>Initial relative humidity</i>	61,4 %
Temperatura ambiente final: <i>Final temperature</i>	21,9 °C	Humedad Relativa final: <i>Final relative humidity</i>	54,5 %

RESULTADOS ANTES DEL AJUSTE A 25 °C
Results before adjust to 25 °C

Previo al ajuste del instrumento se encontró el siguiente resultado para el valor de pH.
Before the adjust of the instrument, it was found the following result for the pH value.

Valor de Referencia <i>Reference Value</i>	Error <i>Error</i>
pH	pH
4,00	-0,18
7,00	-0,11
10,01	-0,10

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN A 25 °C
Calibration results to 25 °C

Lectura del Instrumento <i>Instrument Reading</i>	Valor Certificado <i>Certified Value</i>	Error <i>Error</i>	Incertidumbre <i>Uncertainty</i>
pH	pH	pH	pH
4,00	4,00	0,00	0,02
7,00	7,00	0,00	0,02
10,01	10,01	0,00	0,02

Los resultados de pH están dados a la temperatura de 25 °C
pH results are given to the temperature of 25 °C.

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN
Measurement Uncertainty

La incertidumbre de medición calculada (U), ha sido determinada a partir de la Incertidumbre estándar de medición combinada, multiplicada por el factor de cobertura $k=2$. Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

The calculated uncertainty of measurement (U), it has been determined from the combined Standard Uncertainty of Measurement multiplied by the coverage factor $k=2$. This value has been calculated for a confidence level of about 95 %.

Certificado de Calibración

Calibration Certificate

N° PH23-C-0294

Cliente: <small>Customer</small>	GRUPO JHACC S.A.C. CONSULTORIA E INGENIERÍA AMBIENTAL	Este Certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. mantiene y calibra sus patrones de referencia para garantizar la cadena de trazabilidad de las mediciones que realiza, así mismo realiza certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados y brinda asistencia técnica en temas relacionados al campo de la metrología en la industria peruana. Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados. <small>This Calibration Certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI). KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. supports and calibrates his standards of reference to guarantee the chain of traceability of the measurements realized, as well as the metrological certifications realize at the request of the interested parties and offers technical assistance in topics related to the metrology field in the Peruvian industry. In order to assure the quality of measurements the user should recalibrate his instruments at appropriate intervals.</small>
Dirección: <small>Address</small>	Jr. Santa Rosa 1361 - El Tambo - Huancayo	
Instrumento de Medición: <small>Measuring Instrument</small>	MULTIPARÁMETRO (Medidor de pH)	
Marca: <small>Brand</small>	HORIBA	
Modelo: <small>Model</small>	LAQUA PC1100	
Número de serie: <small>Serial Number</small>	BB1K0003	
Identificación: <small>Identification</small>	EL-030	
Lugar de Calibración: <small>Place of Calibration</small>	Laboratorio de Físico-Químico de KOSSODO METROLOGIA S.A.C.	
Orden de Trabajo: <small>Work Order</small>	OT-02303157	
Fecha de Calibración: <small>Date of Calibration</small>	2023-11-24	
Fecha de Emisión: <small>Date of Issue</small>	2023-11-27	

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL OBJETO CALIBRADO
Technical specifications of the calibrated object

Intervalo de Indicación: <small>Indication interval</small>	-2,00 pH a 20,00 pH	Modelo de Electrodo: <small>Electrode model</small>	9615S
Resolución: <small>Resolution</small>	0,01 pH	Serie del Electrodo: <small>Electrode serial</small>	9X1K0440
Exactitud: <small>Accuracy</small>	± 0,003 pH	Código del Electrodo: <small>Electrode Code:</small>	No indica

MÉTODO DE CALIBRACIÓN
Calibration Method

La calibración se realizó por comparación de la indicación del instrumento con valores asignados a materiales de referencia de pH certificados; siguiendo el procedimiento, PC-020 "Procedimiento para la Calibración de Medidores de pH", Segunda edición de la DM-INACAL

Calibration was performed by comparison the indication of the instrument with assigned values to reference materials Certified pH, following the procedure, the PC-020 "Calibration Procedure for pH Meters", Second edition of the DM-INACAL


Jefe de Laboratorio
Laboratory Boss


Olga Toro Sayas

Balanza:

KOSSOMET
KOSSODO METROLOGÍA S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 006



Certificado de Calibración

Calibration Certificate

N° BD21-C-0584

Cliente: <i>Customer</i>	GRUPO JHACC S.A.C. CONSULTORIA E INGENIERIA AMBIENTAL	<p>Este Certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. mantiene y calibra sus patrones de referencia para garantizar la cadena de trazabilidad de las mediciones que realiza, así mismo realiza certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados y brinda asistencia técnica en temas relacionados al campo de la metrología en la industria peruana.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p> <p><i>This Calibration Certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI). KOSSODO METROLOGIA S.A.C. supports and calibrates his standards of reference to guarantee the chain of traceability of the measurements realized, as well as the metrological certifications realize at the request of the interested parties and offers technical assistance in topics related to the metrology field in the Peruvian industry.</i></p> <p><i>In order to assure the quality of measurements the user should recalibrate his instruments at appropriate intervals.</i></p>
Dirección: <i>Address</i>	Jr. Santa Rosa N° 1361 (Junin/Huancayo/El Tambo)	
Instrumento de medición: <i>Measuring instrument</i>	Balanza Electrónica	
Marca: <i>Brand</i>	MRC Ltd.	
Modelo: <i>Model</i>	ASB-220-C2-V2	
Número de Serie: <i>Serial Number</i>	587601/18	
Identificación: <i>Identification</i>	005-GJ-BA (**)	
Lugar de Calibración: <i>Place of Calibration</i>	Laboratorio de Análisis Ambiental	
Orden de Trabajo: <i>Service Work</i>	OT-02101362	
Fecha de Calibración: <i>Date of Calibration</i>	2021-08-20	
Fecha de Emisión: <i>Date of Issue</i>	2021-08-23	

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL OBJETO CALIBRADO

Technical characteristics of the calibrated object

Capacidad Máxima (Max): <i>Maximum Capacity</i>	220 g	Cap. Mínima (Min): <i>Minimum load</i>	0,01 g (*)	Número de Divisiones (n): <i>Number of Scale Intervals</i>	220000
División de escala real (d): <i>Division from real scale</i>	0,0001 g	División de verificación de escala (e): <i>Division verification of scale</i>	0,001 g (*)	Clase de Exactitud: <i>Accuracy Class</i>	I (*)

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Calibration Method

La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones; siguiendo el procedimiento P-CAL-01 "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático" (Versión 02) basado en el PC-011 "Procedimiento para la calibración de balanzas de funcionamiento no automático clase I y II" (Edición 04) del SNM-INDECOPI; este procedimiento cumple con los ensayos realizados a las balanzas de funcionamiento no automático de acuerdo a la recomendación internacional OIML-R-76:2006.

Calibration was performed by direct comparison between the indications of the scale reading and the loads applied by standard weights, following the procedure P-CAL-01 "Calibration Procedure non-automatic scales" (Version 02) based on PC-011 "Procedure for the calibration of non-automatic scales class I and II" (Edition 04) of the SNM-INDECOPI, this procedure meets the tests performed on non-automatic scales agree to the international recommendation OIML-R-76: 2006.

Coordinador del SIG
SIG's Coordinator

Supervisor de Laboratorio
Laboratory Supervisor



Daniel Torres Díaz

Giovanni M. De La Cruz Cuya

N° BD21-C-0584

PATRONES UTILIZADOS

Standards Used

Nombre del Patrón <i>Standard name</i>	Código y/o serie del Patrón <i>Pattern code and/or series</i>	N° de Certificado <i>certificate number</i>	Trazabilidad <i>Traceability</i>
Juego de pesas de 1 mg a 200 g / E2	PTB-STE2-11 / 33429335	PE21-C-0674	KOSSODO METROLOGÍA S.A.C.

INSPECCIÓN VISUAL

Visual inspection

Nivelación: <i>Leveling</i>	Tiene	Plataforma: <i>Plate</i>	Tiene	Oscilación libre : <i>Free oscillation</i>	Tiene	Display	Tiene
Ajuste de cero: <i>Zero Adjust</i>	Tiene	Sistema de traba: <i>locking system</i>	No tiene	Escala: <i>Escale</i>	No tiene	Cursor:	No tiene

RESULTADOS DE MEDICIÓN

measurement results

RESULTADOS ANTES DEL AJUSTE

Results before adjust

Previo al ajuste del instrumento se encontraron los siguientes resultados para dos valores de carga.

Before the adjust of the instrument, it was found the following results for two loads values.

Valor Nominal <i>Nominal value</i>	Carga <i>load</i>	Indicación <i>Indication</i>
(g)	(g)	(g)
Aprox. al 50 % de la cap. max.	99,99992	99,9997
Aprox. al 100 % de la cap. max.	200,00000	199,9996

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Repeatability Test

Temperatura Inicial: <i>Initial Temperature</i>	16,3 °C	Humedad Inicial: <i>Initial Humidity</i>	58 %
Temperatura Final: <i>Final Temperature</i>	16,4 °C	Humedad Final: <i>Final Humidity</i>	56 %
Serie 1-Aproximadamente 50% Máx. <i>Series 1 - Approximately 50% Max.</i>	Carga Aplicada L <i>Load Applied L</i>	99,99992 g	Serie 2-Aproximadamente 100% Máx. <i>Series 2 - Approximately 100% Max.</i>
			Carga Aplicada L <i>Load Applied L</i>
			200,00000 g
N° Pesada <i>Weighing N°</i>	Indicación I <i>Indication I</i>	ΔL <i>\Delta L</i>	E <i>E</i>
	g	g	g
1	100,0000	-	0,00008
2	100,0000	-	0,00008
3	100,0000	-	0,00008
4	100,0000	-	0,00008
5	100,0000	-	0,00008
6	100,0000	-	0,00008
7	100,0000	-	0,00008
8	100,0001	-	0,00018
9	100,0000	-	0,00008
10	100,0000	-	0,00008
Diferencia Máxima Encontrada <i>Maximum Difference Found</i>		0,00010 g	
E.M.P <i>E.M.P</i>		0,002 g	
N° Pesada <i>Weighing N°</i>	Indicación I <i>Indication I</i>	ΔL <i>\Delta L</i>	E <i>E</i>
	g	g	g
1	200,0000	-	0,00000
2	200,0000	-	0,00000
3	200,0000	-	0,00000
4	200,0000	-	0,00000
5	200,0000	-	0,00000
6	200,0001	-	0,00010
7	200,0000	-	0,00000
8	200,0001	-	0,00010
9	200,0002	-	0,00020
10	200,0001	-	0,00010
Diferencia Máxima Encontrada <i>Maximum Difference Found</i>		0,00020 g	
E.M.P <i>E.M.P</i>		0,002 g	

N° BD21-C-0584

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA

Expanded uncertainty and corrected reading

Incetidumbre expandida de
medición
Expanded measurement uncertainty

$$U_R = 2 \cdot \sqrt{0,0000000075 \text{ g}^2 + 0,000000000034 \text{ R}^2}$$

Lectura Corregida
Corrected reading

$$R_{\text{corregida}} = R - 0,0000012 \text{ R}$$

R : Indicación de lectura de la balanza (g)
R : *Reading indication of the balance*

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

Measurement Uncertainty

La incertidumbre de medición calculada (*U*), ha sido determinada a partir de la Incertidumbre estándar de medición combinada, multiplicada por el factor de cobertura *k=2*. Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza aproximado del 95%.

The calculated uncertainty of measurement (U), it has been determined from the combined Standard Uncertainty of Measurement multiplied by the coverage factor k=2. This value has been calculated for a confidence level approximate of 95 %.

OBSERVACIONES

Notes

(*) El valor de "e", capacidad mínima y clase de exactitud están indicadas en la balanza

() The value of "e", minimum capacity and accuracy class are indicated on the balance*

(**) Código indicado en la balanza.

*(**) Code indicated in the balance.*

Se ha considerado el coeficiente de variación térmica 0,000 01 °C-1 según el PC-011 "Procedimiento de Calibración de Balanzas Clase I y II" SNM-INDECOPI.

It was considered the thermal variation coefficient 0,000 01 °C-1 according to the PC-011 "Scale Calibration Procedure Class I and II" SNM-INDECOPI.

Se ajustó la balanza antes de la calibración.

The balance was adjusted before calibration.

NOTAS

Notes

Los resultados contenidos en el presente documento son válidos únicamente para las condiciones del instrumento durante la calibración. KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. no se responsabiliza de ningún perjuicio que puedan derivarse del uso inadecuado del objeto calibrado.

The values indicated in this document are only valid for the conditions of the instrument during calibration. KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. takes no responsibility for any damages caused by bad use of the calibrated object.

Los resultados declarados en el presente documento se relacionan solamente con el ítem sometido a calibración indicado en la página 1 de este documento.

The results declared in this document relate only to the item undergoing calibration indicated on page 1 of this document.

Una copia de este documento será mantenida en archivo electrónico en el laboratorio por un período de por lo menos 4 años.

A copy of this document will be kept in electronic device in the laboratory for 4 years at least.

La versión en inglés de este documento es una traducción relativa. En caso de duda, es válida la versión original en español.

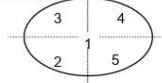
The version in english of this document is not a binding translation. If any controversy arises, the original version in spanish must be considered.

N° BD21-C-0584

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Test Exentricity

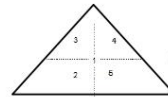
Temperatura Inicial: 16,4 °C Humedad Inicial: 56 %
Initial Temperature Initial Humidity
Temperatura Final: 16,5 °C Humedad Final: 56 %
Final Temperature Final Humidity



• Circular



• Rectangular



• Triangular

Posición	Carga	Indicación	ΔL	E	Carga	Indicación	ΔL	E	Ec
Location	Load	Indication	ΔL	E	Load	Indication	ΔL	E	Ec
N°	g	g	g	g	g	g	g	g	g
1		0,0010	-	0,00000	70,0000	70,0000	-	0,00002	0,00002
2		0,0010	-	0,00000	69,9998	69,9998	-	-0,00018	-0,00018
3	0,00100	0,0010	-	0,00000	69,9998	69,9999	-	-0,00008	-0,00008
4		0,0010	-	0,00000	70,0000	70,0000	-	0,00002	0,00002
5		0,0010	-	0,00000	70,0002	70,0002	-	0,00022	0,00022
E.M.P									0,002 g
E.M.P									

ENSAYO DE PESAJE

Weighing test

Temperatura Inicial: 16,5 °C Humedad Inicial: 56 %
Initial Temperature Initial Humidity
Temperatura Final: 16,5 °C Humedad Final: 56 %
Final Temperature Final Humidity

Carga (L)	Indicación I	ΔL	E	Ec	Indicación	ΔL	E	Ec	E.M.P
Load (L)	Indication I	ΔL	E	Ec	Indication	ΔL	E	Ec	E.M.P
g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
0,00100	0,0010	-	0,00000						0,001 g
0,01000	0,0100	-	0,00000	0,00000	0,0100	-	0,00000	0,00000	0,001 g
0,10000	0,1000	-	0,00000	0,00000	0,1000	-	0,00000	0,00000	0,001 g
1,00001	1,0000	-	-0,00001	-0,00001	1,0000	-	-0,00001	-0,00001	0,001 g
5,00001	4,9999	-	-0,00011	-0,00011	5,0000	-	-0,00001	-0,00001	0,001 g
20,00003	20,0001	-	0,00007	0,00007	20,0000	-	-0,00003	-0,00003	0,001 g
49,99997	50,0001	-	0,00013	0,00013	50,0000	-	0,00003	0,00003	0,001 g
99,99992	100,0001	-	0,00018	0,00018	100,0000	-	0,00008	0,00008	0,002 g
149,99989	150,0000	-	0,00011	0,00011	150,0000	-	0,00011	0,00011	0,002 g
199,99999	200,0000	-	0,00001	0,00001	200,0000	-	0,00001	0,00001	0,002 g
220,00000	220,0003	-	0,00030	0,00030	220,0003	-	0,00030	0,00030	0,003 g

L Carga colocada sobre la balanza
L Load placed on the balance

I Indicación de la balanza
I Balance display

E Error encontrado
E Error found

Ec Error Corregido
Ec Error corrected

ΔL Carga incrementada
 ΔL Increased load

E.M.P Error Máximo Permitido
E.M.P Maximum Error Permitted