

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS  
NATURALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE  
RECURSOS NATURALES**



**“SISTEMA FOTO-FENTON Y ADSORCIÓN PARA  
MEJORAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES  
DEL LABORATORIO DE QUÍMICA ORGÁNICA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNAC”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y  
DE RECURSOS NATURALES**

**WILSON ROBLES KQUERARE**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Wilson Robles Kquerare".

**RICARDO ANIBAL CEVALLOS VILLEGAS**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Ricardo Anibal Cevallos Villegas".

Callao, 2021  
PERÚ

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Ricardo Anibal Cevallos Villegas".





(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)

ANEXO 2

**ACTA N° 008-2021-JST-FIARN-UNAC DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN  
CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

**LIBRO N°..... FOLIO N°..... ACTA 008-2021-JST-FIARN-UNAC DE  
SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS  
NATURALES.**

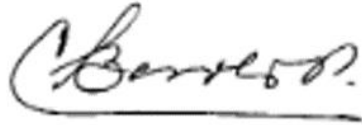
A los 15 días del mes de diciembre del año 2021, siendo las 15:00 horas, se reunió en la sala meet: <https://meet.google.com/jvt-bpyt-bpe>, el JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS para la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| Dra. Carmen Elizabeth Barreto Pio   | Presidente |
| Ing. Abner Josué Vigo Roldán        | Secretario |
| MsC. Alex Willy Pilco Nuñez         | Vocal      |
| Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez | Asesor     |

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Wilson Robles Kquerare y Ricardo Anibal Cevallos Villegas, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada "SISTEMA FOTO-FENTON Y ADSORCIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL LABORATORIO DE QUÍMICA ORGÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNAC", cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario".

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por APROBADO con la escala de calificación cualitativa BUENO y calificación cuantitativa QUINCE (15) la presente tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio del 2021.

Se da por cerrada la sesión a las 16:20 horas del miércoles 15 de diciembre del año en curso.



---

Dra. Carmen Elizabeth Barreto Pio  
Presidente



---

Ing. Abner Josué Vigo Roldán  
Secretario



---

MsC. Alex Willy Pilco Nuñez  
Vocal



---

Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez  
Asesor



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

**INFORME N° 001-2022-JST- CVP-FIARN**

22-0084

PARA : **Dra. CARMEN ELIZABETH BARRETO PIO**  
Decana de Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales  
Universidad Nacional Del Callao



DE : **Dra. CARMEN ELIZABETH BARRETO PIO**  
Presidenta de Jurado Evaluador de Tesis

ASUNTO : **ACTA N° 008-2021-JST-FIARN-UNAC DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

FECHA : Bellavista, 03 de enero del 2022.

---

Tengo a bien dirigirme a usted para hacerle llegar el informe, del JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS titulada “SISTEMA FOTO-FENTON Y ADSORCIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL LABORATORIO DE QUÍMICA ORGÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNAC” presentado por los bachilleres: Bachilleres Wilson Robles Kquerare y Ricardo Anibal Cevallos Villegas.

1.-Que con Resolución N° 204-2021-D-FIARN; se declara expedito, la tesis titulada: “SISTEMA FOTO-FENTON Y ADSORCIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL LABORATORIO DE QUÍMICA ORGÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNAC”, para la sustentación, y obtención el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales. Siendo programada para el día miércoles 15 de diciembre del 2021 a las 15:00 horas, de acuerdo a la directiva para la sustentación virtual de tesis de la FIARN-UNAC.

2.-Que el 15 de diciembre del año 2021, siendo las 15:00 horas, se reunieron en la sala meet: <https://meet.google.com/jvt-bpyt-bpe>, el Jurado de sustentación de tesis, conformada por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| Dra. Carmen Elizabeth Barreto Pio   | Presidente |
| Ing. Abner Josué Vigo Roldán        | Secretario |
| MsC. Alex Willy Pilco Nuñez         | Vocal      |
| Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez | Asesor     |

3.- Que en acto público de manera no presencial, a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, se acordó: Dar por APROBADO la tesis sustentada con la escala de calificación cualitativa BUENO y calificación cuantitativa QUINCE (15) la presente tesis.

4.- Elevar al Decano el informe para que continúe con el trámite correspondiente.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Barreto P.' with a long horizontal stroke underneath.

**Dra. Carmen E. Barreto Pio.**  
**Presidenta Jurado de Sustentación de Tesis**

## **DEDICATORIA**

Dedicamos esta investigación principalmente a Dios y de manera especial a nuestros padres por el apoyo incondicional y la confianza que siempre nos brindaron desde los inicios de nuestra formación.

A nuestros maestros que nos brindaron todos sus conocimientos en toda la etapa de formación profesional en nuestra querida casa de estudios.

Atte.

Wilson Robles Kquerare

Ricardo Anibal Cevallos Villegas

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos en primer lugar a Dios por ser nuestro guía y apoyo, por darnos la bendición a nuestras familias y la fortaleza necesaria para seguir en los momentos difíciles en nuestra vida.

A nuestros padres por ser nuestro soporte fundamental y por el apoyo incondicional que nos brindan cada día. A nuestro asesor de tesis, Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez, quien gracias a sus conocimientos y experiencia se logró la culminación de este trabajo de investigación y a nuestro jurado evaluador que gracias a sus recomendaciones se logró realizar la presente tesis.

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| ÍNDICE DE TABLAS .....                             | 10 |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                            | 11 |
| RESUMEN .....                                      | 12 |
| ABSTRACT .....                                     | 13 |
| INTRODUCCIÓN .....                                 | 14 |
| I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                 | 16 |
| 1.1. Descripción de la Realidad Problemática ..... | 16 |
| 1.2. Formulación del Problema .....                | 17 |
| 1.2.1.Problema Genera.....                         | 17 |
| 1.2.2.Problemas Específicos.....                   | 17 |
| 1.3. Objetivos .....                               | 18 |
| 1.3.1.Objetivo General.....                        | 18 |
| 1.3.2.Objetivos Específicos.....                   | 18 |
| 1.4. Justificación .....                           | 19 |
| 1.5. Limitantes de la Investigación .....          | 20 |
| II. MARCO TEÓRICO.....                             | 21 |
| 2.1. Antecedentes .....                            | 21 |
| 2.1.1.Internacional.....                           | 21 |
| 2.1.2.Nacional.....                                | 25 |
| 2.2. Bases Teóricas .....                          | 27 |
| 2.3. Conceptual.....                               | 34 |
| 2.4. Definición de Términos Básicos .....          | 35 |
| III. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....                   | 38 |
| 3.1. Hipótesis .....                               | 38 |
| 3.1.1. Hipótesis General.....                      | 38 |



|   |     |
|---|-----|
| 3.1.2. Hipótesis Específicas.....   | 38  |
| 3.2. Definición Conceptual de Variables.....                              | 39  |
| 3.3. Operacionalización de Variables.....                                 | 39  |
| IV. DISEÑO METODOLÓGICO.....  | 41  |
| 4.1. Tipo y Diseño de Investigación.....                                  | 41  |
| 4.2. Método de Investigación.....   | 41  |
| 4.3. Población y Muestra.....   | 47  |
| 4.4. Lugar de Estudio y Periodo de Desarrollo.....                        | 48  |
| 4.5. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de la Información.....   | 48  |
| 4.6. Metodología.....   | 50  |
| 4.7. Análisis y Procesamiento de Datos.....                               | 52  |
| V. RESULTADOS.....  | 53  |
| 5.1. Resultados Descriptivos.....   | 53  |
| 5.2. Resultados Inferenciales.....  | 58  |
| VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....  | 70  |
| 6.1. Contrastación y Demostración de la Hipótesis con los Resultados..... | 70  |
| 6.2. Contrastación de los Resultados con otros Estudios Similares.....    | 71  |
| 6.3. Responsabilidad Ética.....   | 74  |
| VII. CONCLUSIONES.....  | 75  |
| VIII. RECOMENDACIONES.....  | 76  |
| IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                       | 77  |
| X. ANEXOS.....  | 87  |
| Anexo 1. Matriz de Consistencia.....                                      | 87  |
| Anexo 2. Instrumento Validado.....  | 88  |
| Anexo 3. Registro Fotográfico de la Metodología Experimental.....         | 92  |
| Anexo 4. Costo de Tratamiento del Agua Residual.....                      | 99  |
| Anexo 5. Fichas Técnicas de Reactivos y Equipos Utilizados.....           | 100 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Índice de biodegradabilidad.....   | 29 |
| Tabla 2. Tipos de procesos de oxidación avanzada. ....  | 30 |
| Tabla 3. Matriz de operacionalización de variables. ....  | 40 |
| Tabla 4. Diseño factorial de las dosis de sulfato ferroso y peróxido de hidrógeno. ....                 | 47 |
| Tabla 5. Técnica de análisis de la demanda química de oxígeno. ....                                     | 49 |
| Tabla 6. Matriz factorial (factores y niveles del proceso foto-Fenton). ....                            | 51 |
| Tabla 7. Caracterización del agua residual antes del tratamiento.....                                   | 53 |
| Tabla 8. Eficiencia de remoción de la DQO en el proceso foto-fenton.....                                | 54 |
| Tabla 9. Análisis de la DQO después del tratamiento por adsorción. ....                                 | 56 |
| Tabla 10. Eficiencia de remoción de parámetros después del tratamiento por foto-Fenton y adsorción..... | 57 |
| Tabla 11. Resumen del diseño factorial.....   | 59 |
| Tabla 12. Análisis de varianza (ANOVA). ....  | 64 |
| Tabla 13. Resumen de los estadísticos de bondad. ....   | 65 |
| Tabla 14. Costo de tratamiento del agua residual. ....  | 99 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Diagrama del sistema de foto-Fenton y adsorción.....  | 43 |
| Figura 2. Montaje del prototipo autónomo del sistema de foto-Fenton y adsorción.....  | 44 |
| Figura 3. Diagrama de flujo del tren de tratamiento.....  | 45 |
| Figura 4. DQO promedio después del tratamiento por proceso foto-Fenton.....   | 55 |
| Figura 5. Resultados de la remoción de parámetros del agua residual después del<br>tratamiento de foto-Fenton y adsorción. .... | 58 |
| Figura 6. Gráfica de probabilidad normal de residuos. ....  | 60 |
| Figura 7. Gráfica de varianza de residuos. ....   | 61 |
| Figura 8. Gráfica de independencia de residuos. ....  | 62 |
| Figura 9. Diagrama de Pareto .....  | 63 |
| Figura 10. Gráfica de efectos principales para la remoción de la DQO.....   | 67 |
| Figura 11. Gráfica de interacción para la remoción de la DQO.....   | 68 |
| Figura 12. Gráfica de contorno para la remoción de la DQO. ....   | 69 |

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se determinó la eficiencia del sistema de foto-Fenton y adsorción para mejorar la calidad de las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

Como etapa inicial se construyó un equipo tipo batch de 5 L de capacidad para realizar pruebas experimentales con un sistema de recirculación de flujo de tratamiento de 8 LPM. En el proceso de foto-Fenton se empleó un diseño factorial para estudiar el efecto del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y del sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) sobre la eficiencia de remoción de la DQO (variable de respuesta). Se determinó el mejor tratamiento en base a la dosis de  $H_2O_2$  (10 mL/L, 15 mL/L, 20 mL/L) y dosis de  $FeSO_4$  (100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L); además, de manera constante se utilizó en línea una lámpara UV de 16 W de potencia, trabajando a un pH inicial del agua residual de 2,88. Los niveles óptimos para llegar a la máxima eficiencia de remoción de la DQO en el proceso foto-Fenton fueron de 15 mL/L de  $H_2O_2$  (50% de concentración) y 150 mg/L de  $FeSO_4$  (99% de pureza) por un tiempo de tratamiento de 2 horas; después se ajustó el pH a un valor de 7,97 con hidróxido de sodio (50% de concentración). En el proceso de adsorción se utilizó un filtro de carbón activado de cáscara de coco de 500 g para asegurar la calidad del agua residual tratada cumpliendo con el ECA para Agua- Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales de acuerdo a los parámetros estudiados. Después del sistema de tratamiento en conjunto de foto-Fenton y adsorción se llegó a una eficiencia de remoción de la DQO del 99,88%,  $DBO_5$  del 99,61%, aceites y grasas del 99,94%, detergentes del 99,99% y color del 90,00%.

**Palabras clave:** Foto-Fenton, adsorción, tratamiento de aguas residuales, calidad del agua.

## ABSTRACT

In the present research work, the efficiency of the photo-Fenton and adsorption system was determined to improve the quality of the wastewater from the organic chemistry laboratory of the Faculty of Chemical Engineering of the National University of Callao.

As an initial stage, a 5 L capacity batch type equipment was built to carry out experimental tests with an 8 LPM treatment flow recirculation system. In the photo-Fenton process, a factorial design was used to study the effect of hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) and ferrous sulfate ( $FeSO_4$ ) on the COD removal efficiency (response variable). The best treatment was determined based on the  $H_2O_2$  dose (10 mL/L, 15 mL/L, 20 mL/L) and  $FeSO_4$  dose (100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L); Furthermore, a 16 W UV lamp was constantly used online, working at an initial pH of the wastewater of 2,88. The optimal levels to reach the maximum efficiency of COD removal in the photo-Fenton process were 15 mL/L of  $H_2O_2$  (50% concentration) and 150 mg/L of  $FeSO_4$  (99% purity) for a time 2 hour treatment; then the pH was adjusted to a value of 7,97 with sodium hydroxide (50% concentration). In the adsorption process, a 500 g coconut shell activated carbon filter was used to ensure the quality of the treated wastewater, complying with the ECA for Water - Category 3: Irrigation of vegetables and animal drinks according to the parameters studied. After the joint treatment system of photo-Fenton and adsorption, an efficiency of removal of COD of 99,88%,  $BOD_5$  of 99,61%, oils and fats of 99,94%, detergents of 99,99 and color of 90,00%.

**Key words:** Photo-Fenton, adsorption, sewage treatment, water quality.

## INTRODUCCIÓN

“Las aguas residuales no tratadas afectan al medio ambiente y a la salud humana causando contaminación por los diversos contaminantes que presenta en su composición” (Tejada et al., 2014).

La población de América Latina se encuentra concentrada en ciudades en más de un 80% y la provisión de agua es insuficiente, más aún que el 70% de las aguas residuales no tienen tratamiento adecuado. En el Perú, solamente se ha ejecutado el 30% de la inversión pública en tratamiento de agua, de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento Urbano y Rural 2006-2015. Las sustancias que contaminan el agua son orgánicas e inorgánicas y en todos los casos, la contaminación del agua pone a la salud pública en peligro. (Meoño et al., 2016)

Las aguas residuales generadas en los laboratorios de las universidades generalmente presentan un alto grado de contaminación, debido a las sustancias químicas utilizadas en cada práctica experimental, como son las sustancias ácidas (ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido acético, ácido cianhídrico, ácido hipocloroso, ácido carbónico), sustancias básicas (hidróxido de sodio, amoníaco, carbonatos, sales), aceites, grasas y detergentes utilizado para el lavado de los materiales de laboratorio, con efectos potencialmente peligrosos para la salud y el medio ambiente. (Benavides y Benavides, 2011)

En el Perú las universidades no cuentan con sistemas de tratamientos de las aguas residuales generadas en los laboratorios específicamente, por lo que dichos desechos en algunas universidades son descargados al sistema de alcantarillado sin previo tratamiento, sobrepasando incluso los Valores Máximos Admisibles (VMA) del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, lo cual deterioran instalaciones e

infraestructuras sanitarias que en el tiempo puede causar atoros o aniegos en la misma ciudad. (Rossi, 2018)

Existen diferentes alternativas de tratamiento de aguas residuales que depende de las condiciones iniciales del agua residual y entre las más utilizadas están los procesos biológicos, seguido de los tratamientos fisicoquímicos; pero, para algunas aguas residuales, de acuerdo a sus características, los tratamientos convencionales no son los más adecuados porque las aguas residuales no son biodegradables. Por lo tanto, se deben aplicar otras alternativas como los procesos de oxidación avanzada y/o procesos de adsorción. (Robles et al., 2011)

El objetivo del presente proyecto de investigación es de mejorar la calidad de las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao (FIQ-UNAC) mediante los procesos de foto-Fenton y adsorción, con la finalidad de reducir los contaminantes presentes en el agua residual y, de acuerdo a las características después del tratamiento, poder descargarlas de manera segura y/o poder utilizarlas para el riego de áreas verdes cumpliendo con los estándares que exige las normativas nacionales vigentes.

El proceso de foto-Fenton es una tecnología que va permitir oxidar los contaminantes del agua residual a través de la formación in situ de los radicales hidroxilos, que es el agente oxidante generado, que va permitir degradar los contaminantes presentes en el agua residual y, mediante el proceso de adsorción como post-tratamiento, permitirá remover las trazas o remanentes de contaminantes que pueden estar presente en el agua residual quedando atrapados en la superficie específica del carbón activado utilizado como agente adsorbente.



## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la Realidad Problemática

Los laboratorios, a pesar de ser de vital importancia para la formación académica de los estudiantes, es también el principal generador de aguas residuales, conteniendo sustancias y reactivos químicos utilizados en el desarrollo de las prácticas experimentales. (Ramos et al., 2005)

En el Perú, las universidades no cuentan con sistemas de tratamientos de aguas residuales específicamente, por lo que dichos desechos en algunas universidades son descargados al sistema de alcantarillado, sin previo tratamiento, sobrepasando incluso los Valores Máximos Admisibles del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, causando el deterioro de las instalaciones e infraestructuras sanitarias. En otras ocasiones también son dispuestos a un relleno de seguridad, generando grandes costos en la disposición de esos residuos líquidos peligrosos. (Rossi, 2018)

El laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao (FIQ-UNAC) puede considerarse una gran generadora de aguas residuales que presentan niveles elevados de contaminantes.

El tratamiento de la alta concentración de la carga orgánica no biodegradable presente en el agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica es difícil por tratamientos básicos o convencionales; por ello ha sido necesario el desarrollo de procesos no convencionales que consigan eliminar o reducir los contaminantes eficientemente, como los procesos de oxidación avanzada (POA) por foto-Fenton y el proceso de adsorción por medio de un filtro de carbón activado granular que pueden ser alternativas de tratamiento para estas aguas residuales.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿En qué medida el sistema de foto-Fenton y adsorción mejorará la calidad de las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Cuál es la característica del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao?
- ¿Cuánto es la dosis óptima de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) en el proceso de foto-Fenton para reducir la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao?
- ¿Cuánto es la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao después del proceso de adsorción?
- ¿Cuál es la calidad del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao tratada mediante un sistema de tratamiento de foto-Fenton y adsorción?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar la eficiencia del sistema de foto-Fenton y adsorción para mejorar la calidad de las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las características del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.
- Determinar la dosis óptima de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) en el proceso de foto-Fenton para reducir la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.
- Determinar la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao después del proceso de adsorción.
- Determinar la calidad del agua residual del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao después del sistema de tratamiento de foto-Fenton y adsorción.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Justificación Teórica**

La presente tesis se justifica por aplicar tecnologías alternativas que puedan tratar de manera eficiente las aguas residuales generadas en el laboratorio de química orgánica de la FIQ-UNAC, como son los procesos de foto-Fenton y adsorción.

### **1.4.2. Justificación Ambiental**

Las aguas residuales generadas en el laboratorio de química orgánica de la FIQ-UNAC tienen un alto grado de contaminación que puede llegar a un índice de biodegradabilidad  $< 0,2$  siendo no biodegradable; por lo tanto, la aplicación de tecnologías convencionales, como los tratamientos biológicos, no son efectivos; es por ello que se debe de aplicar tratamientos de oxidación avanzada para eliminar o reducir los contaminantes eficazmente, ya que pueden generar un impacto negativo en la salud de las personas y el medio ambiente. (Ortiz y Aguila, 1997)

### **1.4.3. Justificación Legal**

La concentración de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales generadas en el laboratorio de química orgánica de la FIQ-UNAC, después del tratamiento por foto-Fenton y adsorción, permitirá cumplir con el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. -Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. La demanda química de oxígeno (DQO) es el parámetro de estudio y según la normativa debe ser menor que 40 mg/L.

### **1.4.4. Justificación Social**

En las universidades e institutos superiores hay un incremento anual y/o semestral de la cantidad de estudiantes y en los últimos años se incrementó la tasa de

asistencia a la educación superior, demandando así de más laboratorios para realizar prácticas experimentales, siendo necesario la implementación de un sistema de tratamiento para las aguas residuales que se generan en los laboratorios universitarios. (Roldán, 2018).

#### **1.4.5. Justificación Económica**

Después del tratamiento de las aguas residuales generadas en el laboratorio de química orgánica de la FIQ-UNAC y con el cumplimiento de la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales del ECA para Agua, se pueden utilizar las aguas tratadas para el riego de las áreas verdes de la misma ciudad universitaria donde se puede disminuir el uso de agua potable para el mantenimiento de las áreas verdes como se realiza generalmente, también estas aguas ya no serían dispuestas en un relleno de seguridad generando ahorro en la disposición de residuos líquidos peligrosos.

#### **1.5. Limitantes de la Investigación**

La principal limitante fue la económica, en las pruebas experimentales sólo se realizó la medición de la demanda química de oxígeno (DQO) como parámetro de control ya que es el parámetro más representativo del grado de contaminación del agua residual, siendo la eficiencia de remoción de la DQO la variable respuesta en el proceso de foto-Fenton y de acuerdo al tratamiento más eficiente siguió el proceso adsorción mediante un filtro de carbón activado. Para evaluar la composición del agua residual se realizó una caracterización antes y después del sistema del tratamiento lo cual se envió al laboratorio acreditado SGS del Perú S.A.C.; otra limitación que presentamos fue que no contamos con un área en la misma Universidad Nacional del Callao para realizar las pruebas experimentales, debido a la situación actual de pandemia por COVID-19 y los laboratorios estaban cerrados por bioseguridad.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Internacional

Florencia (2015), en su trabajo de investigación “Diseño de una instalación para tratar un agua residual textil combinando tratamiento fisicoquímico y oxidación avanzada ( $Q_{\text{diseño}} = 100 \text{ m}^3/\text{d}$ )”, tuvo como objetivo diseñar una instalación para tratar el agua residual proveniente de una industria textil aplicando un tratamiento fisicoquímico y un tratamiento de oxidación avanzada. En el tratamiento fisicoquímico se han ensayado diferentes coagulantes y floculantes en diferentes concentraciones y a diferentes pH, luego el sobrenadante obtenido en el tratamiento fisicoquímico fue llevado a un proceso de oxidación avanzada mediante el método Fenton, las concentraciones óptimas de peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y Sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) fueron de 50 ppm para ambos reactivos, obteniendo los rendimientos de 36,19% para la DQO, 90,19% para la turbidez y 96,18% para el color.

García (2017), en su trabajo de investigación “Estimación experimental en condiciones de laboratorio de las concentraciones óptimas de Fenton”, tuvo como objetivo principal la eliminación de compuestos solubles no biodegradables de las aguas residuales procedente de camales, parque industrial y relleno sanitario por el método Fenton, para reducir los niveles  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$ . Mediante la mezcla del sulfato ferroso, peróxido de hidrógeno en proporciones en masa de 1 y 5, en una prueba de jarras, se trabajó a 100 RPM durante 30 minutos, posteriormente se deja bajo el proceso de sedimentación por 20 minutos. El resultado obtenido da un valor de biodegradabilidad ( $\text{DBO}_5/\text{DQO}$ ) de 0,22 a 0,59; siendo el proceso Fenton eficiente para tratar aguas residuales que puede ser utilizado como un pretratamiento antes de un tratamiento biológico.

Ramos y Jiménez (2016), en su trabajo de investigación “Degradación de desechos tóxicos provenientes de laboratorios universitarios con foto-Fenton solar usando diseño de experimentos”, tuvo como objetivo la reducción de fenoles y demanda química de oxígeno de los desechos líquidos de diferentes laboratorios del Departamento de Química de la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, mediante el proceso foto-Fenton solar. Se empleó un diseño central compuesto, para estudiar el efecto del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y del hierro (Fe), siendo la variable de respuesta el porcentaje de remoción de DQO, resultando el  $H_2O_2$  la variable significativa sobre la remoción de DQO. La condición óptima fue de 9 g/L de Fe (II) y de 220,70 g/L de  $H_2O_2$  para remover 97,00% de la DQO; también se llegó a la conclusión que la excesiva dosis de Fe (II) y  $H_2O_2$  disminuye la eficiencia de remoción de DQO.

Gil (2011), en su trabajo de investigación “Procesos avanzados de oxidación para el tratamiento de residuos líquidos peligrosos procedentes de los laboratorios de Ingeniería de Procesos”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del proceso de foto-oxidación, a través de la degradación del carbono orgánico total (COT) y de la demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas residuales procedentes de los laboratorios de Ingeniería de Procesos de la Universidad EAFIT. El proceso foto-Fenton de acuerdo con los resultados obtenidos es un método efectivo para la degradación de la materia orgánica contenida en este tipo de residuos, las condiciones óptimas para remover el 78,00% de la DQO y el 67,61% de mineralización de los COT fue a una concentración de  $Fe^{+2}$  de 0,30 mmol/L y a una concentración de  $H_2O_2$  de 1,00 mL/L, logrando en alta medida la recuperación de esta agua residual, haciéndolas altamente biodegradables para posteriores procesos biológicos.

Méndez et al. (2010), en su trabajo de investigación “Determinación de la dosis óptima de reactivo Fenton en un tratamiento de lixiviados por Fenton-adsorción”, tuvo como objetivo tratar los lixiviados mediante el sistema de oxidación tipo Fenton-



adsorción. El proceso Fenton se realizó por la combinación de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y  $\text{FeSO}_4$  en condiciones ácidas, para tratar la carga contaminante en función de la DQO del lixiviado se determinó de las mejores relaciones de  $[\text{DQO}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$  y  $[\text{Fe}^{2+}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$ . Después de optimizar el proceso, se filtraron las muestras y se ensayó la adsorción mediante columnas con carbón activado granular. Las mejores relaciones para  $[\text{DQO}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$  y  $[\text{Fe}^{2+}]/[\text{H}_2\text{O}_2]$  fueron 9 y 0,6 respectivamente. La eficiencia máxima de remoción después del proceso de adsorción fue cerca del 100,00% para el color y de 98,90% para la DQO. El índice de biodegradabilidad fue de 0,24 al final, después de las pruebas de Fenton-adsorción.

Berrio et al. (2012), en su trabajo de investigación “Sistemas de tratamiento para residuos líquidos generados en laboratorios de análisis químico”, nos indica que los residuos líquidos de laboratorios de análisis químicos requieren de tratamientos no convencionales de remoción de contaminantes. Una alternativa es mediante el proceso de adsorción con carbón activado para la eliminación de una amplia variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos disueltos en medio acuoso o gaseoso; otra alternativa de tratamiento son los procesos de oxidación avanzada (POA), una tecnología potente capaz de degradar una amplia variedad de compuestos refractarios y recalcitrantes que puede llegar a eficiencias de remoción de DQO entre 45% a 85%.

Sánchez y García (2018), en su trabajo de investigación “Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales”, indica que los tratamientos convencionales no soportan índices de biodegradabilidad menores a 0,40 ya que las aguas residuales contienen contaminantes refractarios y que está asociado con la mayoría de los casos de aguas residuales industriales y que por medio de los procesos de oxidación avanzada se incrementa el índice de biodegradabilidad; en su estudio determinó las concentraciones óptimas de reactivos de  $\text{FeSO}_4/\text{H}_2\text{O}_2 = 1$ ; con la colocación de 10 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , llegando a una reducción de la

DBO<sub>5</sub> y DQO en eficiencias de 12,54% y 44,40% respectivamente, aumentado el índice de biodegradabilidad a un valor desde 0,22 a 0,46 que es un valor favorable para tratarse en sistemas convencionales adicionales.

Rincón et al. (2015), en su trabajo de investigación “Producción de carbón activado mediante métodos físicos a partir de carbón de El Cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorerías”, tuvo como objetivo realizar la activación física en base a distintas condiciones de activación para producir carbones activados con distintas propiedades de interés. Se realizó la caracterización empleando los índices de yodo y de azul de metileno (NTC 4467, ASTM D 4607). Por activación física se encontró que el carbón activado obtenido presentaba una capacidad hasta un 70,00% de adsorción de colorantes, por lo tanto, podía aplicarse como filtro para reducir los colorantes de las aguas residuales industriales.

Bravo y Garzón (2017), en su trabajo de investigación “Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (*Cocos nucifera*) para remoción de contaminantes en agua”, tuvo como objetivo elaborar carbón activado. A una temperatura de 700 °C mediante activación física por una hora se obtuvo 823,5 g como resultado en la elaboración de carbón activado, de los cuales se utilizó 525 g en las unidades experimentales. Se aplicó un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos y tres repeticiones de 100 g, 50 g y 25 g de carbón activado filtrando 1 litro de agua sintética compuesta con 0,0025 g de cloro y 1 g de suelo limoso; como unidades experimentales se construyeron nueve filtros. Se realizó el análisis fisicoquímico al agua: color, sólidos suspendidos turbidez, pH y cloro libre residual. Con 100 g de carbón activado se obtuvo una remoción del 75,68% de turbidez.

Aragón et al. (2013), en su trabajo de investigación “Uso de Carbón Activado Granular (CAG) en un biofiltro para el tratamiento de efluentes”, tuvo como objetivo en

la etapa inicial caracterizar un carbón activado granular (CAG) de cascara de coco, estudiando la cinética de adsorción; estudiar la capacidad de remoción de los contaminantes de un efluente acuícola; se hicieron ensayos continuos en una columna empacada. En estos ensayos se pudo eliminar alrededor de un 60,00% de la DQO, UV, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y P<sub>total</sub> del efluente, mientras que se observó una capacidad de eliminación de coliformes totales de 0,68.

Franco et al. (2013), en su trabajo de investigación “Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula”, tuvo como objetivo determinar el grado de remoción de cada contaminante sobre un efluente residual industrial proveniente de un laboratorio químico, encontrando remociones de COT del 54,95%, DBO<sub>5</sub> del 27,91% y DQO del 66,82%.

### **2.1.2. Nacional**

Anaya (2019), en su trabajo de investigación “Tratamiento de aguas residuales con colorantes reactivos mediante proceso de oxidación avanzada Fenton y variantes”, tuvo como objetivo establecer las condiciones óptimas para la degradación del colorante Sunfix Yellow S4GL presente en aguas residuales mediante los procesos de oxidación avanzada Fenton y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV. Aplicando el método H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV la concentración óptima de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fue de 1292 mg/L a un pH de 3 y utilizando 3 lámparas UV; se llegó a una decoloración del 100% en 40 min de exposición a la luz UV. En el caso del proceso de foto-Fenton, los valores óptimos fueron, [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] = 300 mg/L, [Fe<sup>+2</sup>] = 3,52 mg/L, pH = 2,51 y utilizando 2 lámparas UV, llegando a una decoloración del 100% en 30 min de exposición a la luz UV, siendo el proceso de foto-Fenton más eficiente que el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, ya que se empleó menor cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, menor potencia de radiación y llegando en menor tiempo a una decoloración del 100%.

Rosales (2017), en su trabajo de investigación “Reducción del contenido de colorantes en efluentes de la industria textil usando el proceso Fenton, Zarate, 2017”, tuvo como objetivo evaluar la aplicación del proceso Fenton para reducir la concentración de los contaminantes presentes en el agua residual de una industria textil. Las dosis óptimas fueron de 0,20 g/L  $Fe^{+2}$  y de 12,17 mL/L de  $H_2O_2$  al 30% de concentración, a un pH ácido de 2,60 con un tiempo de mezcla de 60 min, a una velocidad de mezcla de 300 rpm y con tiempo de reposo de 24 h. Se realizó la caracterización del agua residual presentando una concentración inicial de 118,30 de turbidez y 1390 mg/L de DQO. Aplicando el proceso de Fenton los resultados indicaron una remoción del 66,10% de la DQO.

Espinal (2017), en su trabajo de investigación “Eficiencia del carbón activado a base de cáscara de coco en el tratamiento de aguas residuales domésticas en el AA. HH. 10 de octubre, distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, año 2017”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del carbón activado a base de cáscara de coco en el tratamiento de aguas residuales domésticas para el cual se utilizó 25 L de muestra de agua residual doméstica. Por medio de 2 filtros manualmente elaborados, uno con tamaño de partícula en polvo (mm) y el otro con tamaño de partícula granular (cm). Se llegó a una remoción de 99,96% de aceites y grasas, 98,48% de coliformes termotolerantes y de 56,20% de  $DBO_5$ , resultando el carbón activado a base de cáscara de coco eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Ruiz y Orbegoso (2019), en su trabajo de investigación “Eficiencia del carbón activado obtenido a partir del endocarpo de coco (*Cocos nucifera*) y semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa*), en la remoción de la  $DBO_5$  de las aguas residuales domésticas en el distrito de Habana – Moyobamba, 2018”, tuvo como objetivo la remoción de la  $DBO_5$  de las aguas residuales domésticas. Se elaboró los carbones activados, a base de semilla de aguaje y de endocarpo de coco, a diferentes temperaturas de carbonización

a 500 °C, 600 °C y 700 °C. Al filtrar el agua residual se obtuvo eficiencias de remoción para cada producto, con semilla de aguaje fue de 100,00%, 90,77% y 95,38% de la DBO<sub>5</sub> respectivamente y con endocarpo de coco fue de 97,69% 100,00% y 97,69% de la DBO<sub>5</sub> respectivamente; obteniendo la mayor eficiencia con una temperatura de carbonización de 500 °C para un carbón activado a partir de semilla de aguaje, del mismo modo con una temperatura de carbonización de 600 °C para un carbón activado a partir de endocarpo de coco.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Aguas Residuales**

Según Espigares y Pérez (1985), las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad está afectada negativamente por la influencia antropogénica. Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro si no son tratadas, ya que presentan gran cantidad de sustancias y/o microorganismos patógenos.

### **2.2.2. Tratamiento de Aguas Residuales**

Según Soledad (2009), el tratamiento de aguas residuales abarca 4 etapas principales: Tratamiento preliminar, que tiene como objetivo remover los sólidos de mayor tamaño, la arena y la grasa, generalmente por procesos físicos; tratamiento primario, que tiene como objetivo remover los sólidos suspendidos a través de procesos físicos y químicos; tratamiento secundario, que tiene como objetivo remover la materia orgánica presente en el agua residual y el tratamiento terciario que se centra en la eliminación de agentes patógenos y sólidos disueltos.

Según el OEFA (2014), las aguas residuales se clasifican en 3 tipos, de acuerdo a su origen:

a) Aguas residuales domésticas: Son de origen residencial y comercial que contienen residuos fisiológicos, entre otros, resultado de la actividad humana en la propia vivienda, que necesariamente tienen que ser dispuestos de manera correcta.

b) Aguas residuales municipales: Se les dice a las aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o también con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado.

c) Aguas residuales industriales: Son las que se generan a partir de un proceso productivo o cualquier actividad industrial. Entre los principales tipos de aguas residuales industriales se tiene de la industria textil, minera, pasta y papel, alimentaria y bebidas, conservera, industria química y de laboratorios.

Las aguas residuales de los laboratorios universitarios son consideradas de tipo industrial, dentro de ello está el laboratorio universitario de química orgánica de la FIQ-UNAC, que tienen un alto contenido de materia orgánica.

Según Domos (2019), las aguas residuales de laboratorios universitarios, según su naturaleza son no biodegradables y están compuestos por sustancias químicas tóxicas como surfactantes, desinfectantes, líquidos iónicos, colorantes sintéticos entre otros.

Según Ortiz y Aguila (1997), el índice de biodegradabilidad del agua residual se puede determinar de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1

*Índice de biodegradabilidad.*

| Rango DBO <sub>5</sub> /DQO | Tipo de agua residual      |
|-----------------------------|----------------------------|
| > 0,40                      | Biodegradable              |
| 0,20 – 0,40                 | Medianamente biodegradable |
| < 0,20                      | No biodegradable           |

*Nota:* Adaptado de “La depuración biológica de efluentes industriales de Ingeniería Química” Ortiz y Aguila (1997).

### **2.2.3. Proceso de Oxidación Avanzada**

Según Rodríguez et al. (2006), los procesos de oxidación avanzada (POA) son aquellos procesos que implican la generación de radicales hidroxilos en cantidad suficiente para reaccionar con los compuestos orgánicos del agua. Se trata de una familia de métodos que utilizan la elevada capacidad oxidante de los radicales HO•, los más comunes utilizan combinaciones de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), radiación ultravioleta y fotocatalisis. Una relación completa de los POA se muestra en la Tabla 2 de los tipos de procesos oxidación avanzada que se han estudiado. La consecuencia de la elevada reactividad del agente oxidante es que los procesos avanzados de oxidación se caracterizan también por su baja selectividad; es por ello que atacan a la mayor cantidad de compuestos orgánicos, rompiendo enlaces y llegando hasta su mineralización.



Tabla 2

*Tipos de procesos de oxidación avanzada.*

---

**Procesos homogéneos:**

---

a) Sin aporte externo de energía:

- Ozonización en medio alcalino ( $O_3/OH^-$ )
- Ozonización con peróxido de hidrógeno ( $O_3/H_2O_2$ ) y ( $O_3/H_2O_2/OH^-$ )
- Peróxido de hidrógeno y catalizador ( $H_2O_2/Fe^{2+}$ )

b) Con aporte externo de energía:

b<sub>1</sub>) Energía procedente de radiación ultravioleta (UV).

- Ozonización y radiación ultravioleta ( $O_3/UV$ )
- Peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta ( $H_2O_2/UV$ )
- Ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta ( $O_3/H_2O_2/UV$ )
- Foto-Fenton ( $Fe^{2+}/H_2O_2/UV$ )

b<sub>2</sub>) Energía procedente de ultrasonidos (US).

- Ozonización y ultrasonidos ( $O_3/US$ )
- Peróxido de hidrógeno y ultrasonidos ( $H_2O_2/US$ )

b<sub>3</sub>) Electroquímica.

- Oxidación electroquímica
- Oxidación anódica
- Electro-Fenton

---

**Procesos heterogéneos:**

---

a) Ozonización catalítica ( $O_3/Cat.$ )

b) Ozonización foto-catalítica ( $O_3/TiO_2/UV$ )

c) Fotocatálisis heterogénea ( $H_2O_2/TiO_2/UV$ )

---

*Nota:* Adaptado por el informe de vigilancia tecnológica titulado "Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales" de Rodríguez et al. (2006).

Según Osorio et al. (2010), los POA dan lugar a la mineralización completa de contaminantes a CO<sub>2</sub>, agua, compuestos inorgánicos o hasta convertirlos en productos inocuos. Pueden generar descomposición parcial de los contaminantes orgánicos no biodegradables, mediante la acción de los radicales hidroxilos (HO•), que son agentes oxidantes que se encarga de atacar sus moléculas, romper enlaces y que pueden conducir a la completa mineralización de los contaminantes. Los POA se realizan mediante el uso del ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta (O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV), los POA se pueden clasificar en homogéneos y heterogéneos. El proceso homogéneo se da mediante una sola fase (catalizador disuelto) y en esta clasificación se encuentran los procesos de Fenton, foto-Fenton que hace referencia a la reacción del peróxido de hidrógeno con sales ferrosas para la generación de radicales hidroxilos; los procesos heterogéneos son realizados mediante un semiconductor utilizado como catalizador para la generación de radicales hidroxilos.

Según Silva et al. (2018), los POA se encuentran en el tratamiento terciario como aplicación principal, siendo el objetivo de estos procesos eliminar compuestos difícilmente biodegradables, compuestos recalcitrantes e incluso disminuir la contaminación microbiológica. Las tecnologías de POA tienen la capacidad de oxidar una gran variedad de contaminantes, pudiendo llegar a la mineralización si el proceso se prolonga lo suficiente o quedándose en estados de oxidación intermedios que permitan un acoplamiento con otros métodos de depuración, como pueden ser los procesos biológicos.

Según Rodríguez et al. (2006), los procesos que utilizan reactivos costosos, tales como el peróxido de hidrógeno; por ello la importancia de determinar la dosis óptima de reactivos que permitirá optimizar los procesos oxidativos de tratamiento, su utilización debe restringirse a situaciones en las que otros procesos más baratos, como los biológicos no son eficientes en la remoción de contaminantes recalcitrantes donde el

índice de biodegradabilidad de las aguas residuales es baja. Su máximo potencial se explota cuando se trata parcialmente con los POA y se consigue integrar con otros tratamientos, como los tratamientos biológicos o procesos de adsorción, a fin de conseguir la máxima economía de oxidante utilizado. Una característica común a todos los procesos avanzados de oxidación es su capacidad para tratar efluentes con concentraciones menores que 5 g/L de demanda química de oxígeno. Para mayores concentraciones, el elevado consumo de agente oxidante y la mejora en el balance energético del proceso hacen preferibles las técnicas de oxidación directa tales como la oxidación húmeda teniendo en cuenta los contaminantes presentes en el agua residual.

Según Kiwi et al. (1993), el proceso fenton consiste en el uso de hierro (Fe) y peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), donde el ion ferroso es el catalizador que inicia la descomposición del oxidante peróxido de hidrogeno, teniendo como resultando la generación del radical hidroxilo en medio ácido de pH 2,5 – 3,0. Se muestra en la ecuación (1).



Donde dicha reacción según Bautista et al. (2008) tiene una velocidad de reacción (k) de 76 L mol<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>.

Mientras que el catalizador se regenera a través de la ecuación (2) presentando una velocidad de reacción (k) de 0.01 L mol<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>, o de la reacción de ion férrico (Fe<sup>3+</sup>) con radicales orgánicos intermedios (R) como se muestran en las ecuaciones (3) - (5).



Por otro lado, Muruganandham et al. (2014) establece que la combinación del proceso Fenton con la luz UV, llamándose proceso foto-Fenton, mejora la eficiencia del proceso de Fenton donde acelera la regeneración de ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), además de la formación del radical hidroxilo como se muestra en la ecuación (6).



Esto también se atribuye a la descomposición del  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$  fotoactivo que conduce a la adición de los radicales  $\text{OH}\cdot$ , que se muestra en la ecuación (7):



Se observa un aumento considerable en el poder de oxidación debido principalmente a la foto-reducción de  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$ .

Muruganandham et al. (2014), menciona que el proceso foto-Fenton ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{UV}$ ) es uno de los POA más efectivos de oxidación de contaminantes orgánicos. La ventaja del proceso foto-Fenton es que no es necesaria la entrada de energía para activar el peróxido de hidrógeno generando la formación de radicales en el medio, especie oxidante que tiene un potencial de oxidación de 2,8 eV, proceso que puede ser operado y mantenido fácilmente.

#### **2.2.4. Proceso de Adsorción**

Según Martínez (1999), el proceso de adsorción es aquel proceso donde se acumula un soluto en una superficie o en la interface de un sólido; generalmente se explica en términos de tensión superficial o energía por unidad de área. Dentro de la fase sólida, las moléculas están sujetas a fuerzas balanceadas hacia todas las direcciones; mientras que en la superficie sus fuerzas no están balanceadas, lo que provoca que otras moléculas puedan ser atrapadas en la superficie de la fase sólida. Al

sólido, por ejemplo, el carbón activado, se le llama adsorbente; de ahí que al soluto que se va a adsorber se le denomine adsorbato.

Según Rodríguez et al. (2006), un parámetro fundamental en la adsorción es la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. La necesidad de una mayor calidad de las aguas está haciendo que este tratamiento sea una de las más utilizadas. Es considerado como un tratamiento de refinado y, por lo tanto, al final, uno de los sistemas de tratamiento más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico. El carbón activado es el principal material utilizado para los procesos de adsorción y se tiene de dos tipos, de acuerdo con el tamaño de partícula: Carbón activado en polvo, utilizado en tratamientos fisicoquímicos; y carbón activado granular, utilizado como columna de contacto (filtro) para eliminar elementos traza, especialmente orgánicos, que pueden estar presentes en el agua que, a pesar de su pequeña concentración, en muchas ocasiones proporcionan mal olor, color o sabor al agua.

## **2.3. Conceptual**

### **2.3.1. Calidad del Agua**

Según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (2017), la calidad del agua es la medida del nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor, que no presenta riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

### **2.3.2. Proceso foto-Fenton**

Según Rodríguez et al. (2006), el proceso foto-Fenton es un tratamiento homogéneo foto-catalítico basado en la producción de radicales hidroxilos mediante el

reactivo de Fenton ( $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$ ). La velocidad de degradación de contaminantes orgánicos con sistemas Fenton resulta notablemente acelerada por la irradiación con luz Ultravioleta-Visible (longitudes de onda mayores de 300 nm). En estas condiciones, la fotólisis de complejos Fe(III), permite la regeneración de la forma reducida del catalizador favoreciendo el ciclo catalítico.

### **2.3.3. Proceso de Adsorción con Carbón Activado**

Según Sette (2009), la adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas de gases, líquidos o sólidos disueltos son retenidos en una superficie debido al desequilibrio de las fuerzas de la superficie. El carbón activado de cascara de coco es un adsorbente con una amplia distribución de poros, con mayor dureza, resistencia y posee un área superficial específica alta donde quedan atrapados los contaminantes.

## **2.4. Definición de Términos Básicos**

### ***Sulfato Ferroso***

Según Roque (2019), el  $\text{FeSO}_4$  un compuesto químico que se encuentra casi siempre en forma de sal heptahidratada ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), se usa como un catalizador en el proceso foto-Fenton que es la especie que se oxida en la reacción.

### ***Peróxido de Hidrógeno***

Según De Mattos et al. (2003), el  $\text{H}_2\text{O}_2$  es el reactivo que se reduce en la reacción del proceso foto-Fenton para la formación de radicales hidroxilos.

### ***Radiación Ultravioleta Tipo C***

Según Morales (2006), la radiación UV es el tipo de radiación que se sitúa en un intervalo de longitudes de onda de 200 a 280 nanómetros, en el proceso de foto-Fenton

ayuda a la regeneración de los iones ferrosos para la generación de los radicales hidroxilos en mayor velocidad.

### ***Hidróxido de Sodio***

Según Pozo (2013), el NaOH es una base fuerte que se utiliza para elevar el pH de las aguas residuales formando especies de hidróxidos que por su forma semisólida puede sedimentar.

### ***Demanda Química de Oxígeno***

Según Valente et al. (2018), la DQO es la concentración de oxígeno consumido para oxidar la materia orgánica, sea o no biodegradable, en medio ácido y condiciones energéticas por la acción de un agente químico oxidante fuerte.

### ***Demanda Bioquímica de Oxígeno***

Según Valente et al. (2018), la DBO es la concentración de oxígeno consumida por los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable.

### ***Aceites y Grasas***

Según Delgadillo et al. (2010), son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal.

### ***Oxígeno Disuelto***

Según Peña (2007), es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que depende de la temperatura y salinidad.

### ***Potencial de Hidrógeno***

Según Severiche et al. (2014), el pH es un parámetro que permite medir la concentración de iones hidronios presentes en el agua.

### ***Detergentes***

Según Hillboe (1991), son sustancias que peptizan las grasas o la materia orgánica gracias a su tenso-actividad.

### ***Temperatura***

Según Severiche et al. (2014), es una magnitud escalar que se define como la cantidad de energía cinética de las partículas de una masa gaseosa, líquida o sólida.

### ***Color***

Según Rigola (1990), es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. En aguas naturales son indicativos de la presencia de ciertos contaminantes.

### ***Coliformes Termo tolerantes***

Según Vargas (1983), son definidas como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas.

### ***Escherichia Coli***

Según Kaper et al. (2004), es una bacteria miembro de la familia de las enterobacterias y forma parte del microbiota del tracto gastrointestinal de animales homeotermos, como por ejemplo el ser humano.



### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. *Hipótesis General*

El sistema de foto-Fenton y adsorción mejora eficientemente la calidad de las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

##### 3.1.2. *Hipótesis Específicas*

- Las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao contiene un alto contenido de DQO, DBO<sub>5</sub>, aceites y grasas.
- La dosis óptima de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y sulfato ferroso (FeSO<sub>4</sub>) en el proceso de foto-Fenton permite reducir eficientemente la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.
- El proceso de adsorción permite remover más del 60% de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.
- El sistema de tratamiento de foto-Fenton y adsorción remueve eficientemente los contaminantes de las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

### **3.2. Definición Conceptual de Variables**

#### **3.2.1. Variable Independiente (V. I.): Sistema de foto-Fenton y adsorción.**

**Definición Conceptual:** Según Muruganandham et al. (2014), el proceso foto-Fenton es un proceso de oxidación avanzada basado en la generación de radicales hidroxilos ( $\text{HO}\cdot$ ) mediante la reacción del peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) en disolución en medio de radiación llevado a cabo en un medio ácido.

Según Sette (2009), la adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas de gases, líquidos o sólidos disueltos son retenidos en una superficie debido al desequilibrio de las fuerzas de la superficie

#### **3.2.2. Variable Dependiente (V. D.): Calidad de las aguas residuales.**

**Definición Conceptual:** Según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (2017), la calidad de las aguas residuales es la medida del nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

### **3.3. Operacionalización de Variables**

En la Tabla 3, se presenta la matriz de operacionalización de las variables sistema de foto-Fenton y adsorción (variable independiente) y la calidad de las aguas residuales (variable dependiente).

Tabla 3

*Matriz de operacionalización de variables.*

| <b>Variables</b>                            | <b>Dimensiones</b>                             | <b>Indicadores</b>                            | <b>Escala de medición</b> |
|---|--|---|---------------------------|
| V. I.<br>Sistema de foto-Fenton y adsorción | Dosis de peróxido de hidrógeno<br>(10, 15, 20) | Dosis óptima de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | mL/L                      |
|   | Dosis de sulfato ferroso<br>(100, 150, 200)    | Dosis óptima de FeSO <sub>4</sub>             | mg/L                      |
| V. D.<br>Calidad de las aguas residuales    | Demanda química de oxígeno (DQO)               | Concentración de DQO                          | mg/L                      |

## IV. DISEÑO METODOLÓGICO

### 4.1. Tipo y Diseño de Investigación

#### 4.1.1. Tipo de Investigación

Según Ñaupas et al. (2018), la investigación es de tipo básica, ya que busca encontrar nuevos conocimientos en el campo de estudio y por qué sirve de soporte a la investigación aplicada o tecnológica.

Según Arias (2012), el nivel de investigación es explicativo ya que se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante la determinación de las causas (investigación post facto), mediante la prueba de hipótesis y relaciones causa-efecto.

#### 4.1.2. Diseño de Investigación

Según Hernández-Sampieri (2014), el diseño de investigación es experimental, porque se va a manipular la variable independiente para determinar los cambios que se producen en la variable dependiente, midiendo el efecto.

### 4.2. Método de Investigación

Según Chagoya (2008), el método de investigación es empírico, también denominado método cuantitativo o deductivo, ya que estudian fenómenos, objetos y procesos observables, confirmados mediante las hipótesis y las teorías, a través de la observación, la experimentación y/o la medición.

En la presente investigación se realizaron los siguientes procedimientos como parte del método de investigación:

i. Construcción del sistema de tratamiento foto-Fenton y adsorción.

Se construyó un prototipo bach con recirculación de 5 L de capacidad como se muestra en la Figura 1, en las instalaciones del laboratorio de la empresa FLOWEN S.A.C. para realizar pruebas experimentales mediante los procesos de tratamiento de foto-Fenton y adsorción.

En el proceso de foto-Fenton, previo a una homogenización del agua residual, se utilizó diferentes dosis de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y de sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) a un pH del agua residual de 2,88; ya que, según Kiwi et al. (1993), a un pH ácido entre 2,5 y 3,0 se genera en mayor proporción los radicales hidroxilos. Adicionalmente se instaló en línea una lámpara UV de 16 W para la regeneración del catalizador ( $Fe^{2+}$ ) como indica Anaya (2019), quien recomienda que se use al menos una lámpara UV comerciales de 15 W de potencia para la aplicación en el proceso de foto-Fenton y obtener mejores eficiencias en el proceso de tratamiento.

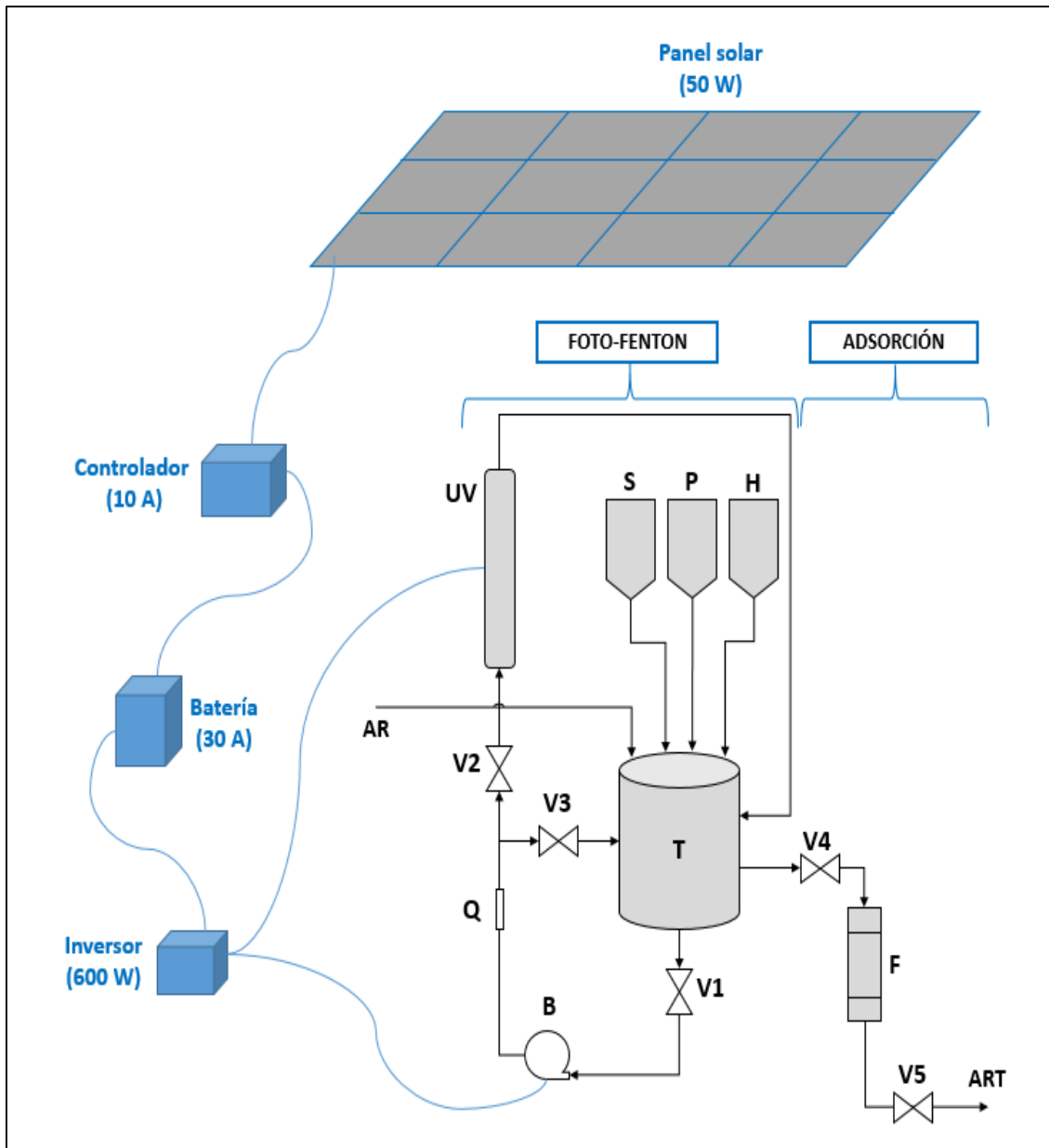
Después de un tiempo de 2 h de tratamiento, como lo indica Ramos y Jiménez (2016); luego del tratamiento se ajustó el pH a un valor promedio de 7,97 con hidróxido de sodio (50% de concentración) a una dosis de 5 mL/L.

En el proceso de adsorción se utilizó un filtro de carbón activado granular de cáscara de coco, como menciona Sette (2009), quien manifiesta que el carbón de cáscara de coco es un adsorbente con una amplia distribución de poros, por su dureza y resistencia, comparado con el obtenido de madera; así mismo Bravo y Garzón (2017), indican en su investigación que es un adsorbente muy eficiente para remover contaminantes remanentes que pudieran haber quedado después de un tratamiento previo aplicado. El prototipo se alimentó por un sistema fotovoltaico que proporcionó energía eléctrica a la bomba de agua y a la lámpara UV de 16 W lo cual nos permitió

realizar las pruebas experimentales (tratamientos) como se aprecia en la Figura 2, del montaje del sistema de tratamiento.

Figura 1

Diagrama del sistema de foto-Fenton y adsorción.



*Nota:* Diagrama esquemático del reactor de foto-Fenton y adsorción. AR: Agua residual; T: Tanque; V1, V2, V3, V4, V5: Válvulas; B: Bomba de agua; Q: Caudalímetro; UV: Lámpara UV; F: Filtro de carbón activado; S: Dosificador de  $\text{FeSO}_4$ ; P: Dosificador de  $\text{H}_2\text{O}_2$ ; H: Dosificador de  $\text{NaOH}$ ; ART: Agua residual tratada.

Figura 2

Montaje del prototipo autónomo del sistema de foto-Fenton y adsorción.



*Nota:* Sistema bach con recirculación de 5 L de capacidad alimentado por un panel fotovoltaico de 50 W.

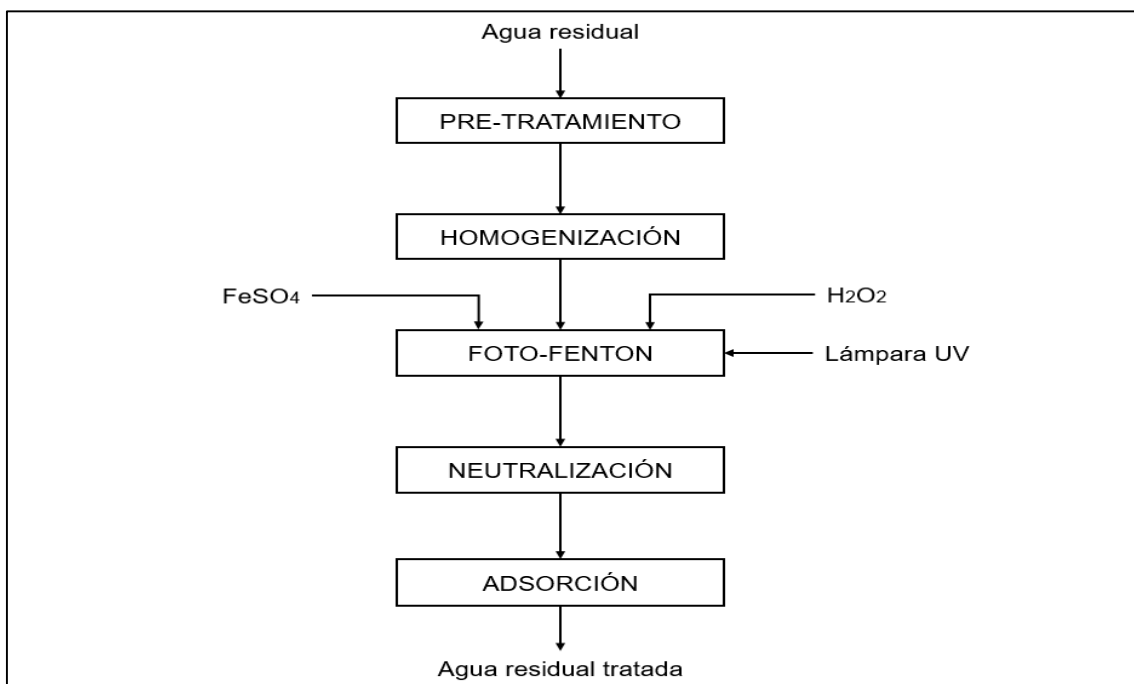
ii. Obtención del agua residual.

El agua residual se obtuvo del laboratorio de química orgánica de la FIQ-UNAC; se tomaron 150 L de muestra aproximadamente en bidones para su caracterización física, química, microbiológica y procesos de tratamiento.

Se debe tener en cuenta que el tratamiento de las aguas residuales mediante los procesos de foto-Fenton y adsorción son tratamientos terciarios y requiere de un tratamiento preliminar, como se establece en el diagrama de flujo de la Figura 3, que básicamente consta de una limpieza manual de sólidos grandes o residuos para que no perjudique al prototipo de tratamiento y una homogenización, siguiendo con el tren de tratamiento planteado en el presente estudio mediante el proceso foto-Fenton, ajuste de pH y proceso de adsorción.

Figura 3

*Diagrama de flujo del tren de tratamiento*



*Nota:* El tren de tratamiento consta de un pre-tratamiento, homogenización, proceso de foto-Fenton, ajuste de pH y proceso de adsorción.



iii. Determinación de la variable de estudio (variable respuesta).

Se realizó el seguimiento a la demanda química de oxígeno (DQO) en cada corrida experimental, dado que la DQO representa a la materia orgánica y mide el nivel de contaminación del agua residual.

La variable respuesta será expresado mediante eficiencia de remoción de la DQO y se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia de remoción de la DQO} = \frac{(DQO_i - DQO_f) \times 100}{DQO_i}$$

Donde:

i y f: indican inicio y final, respectivamente.

La muestra del tratamiento más eficiente, de acuerdo a la máxima eficiencia de remoción de la DQO en el proceso de foto-Fenton, siguió el tratamiento mediante el proceso de adsorción por medio de un filtro constante de carbón activado de 500 g; el agua residual tratada después de ambos procesos se envió al laboratorio acreditado SGS del Perú S.A.C. para analizar los parámetros físicos (temperatura y color), parámetros químicos (demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno y detergentes) y parámetros microbiológicos (coliformes termotolerantes, escherichia coli y huevos de helmintos) para conocer las características del agua residual tratada.

iv. Diseño estadístico de experimentación.

En el proceso de foto-Fenton, se elaboró un diseño factorial  $3^2$  (dos factores tres niveles por triplicado) mediante el programa estadístico Minitab 19, obteniendo 9 tipos de tratamientos y 27 corridas experimentales en total, tal como se muestra la Tabla 4.

La experimentación permitió la manipulación de la dosis de peróxido de hidrogeno al 50% de concentración en sus tres niveles (10 mL/L, 15 mL/L, 20 mL/L) y dosis de sulfato ferroso al 99% de pureza en sus tres niveles (100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L) para determinar el efecto en la eficiencia de remoción de la DQO (variable de respuesta) en 2 horas de tratamiento; adicionalmente instalado una lámpara UV de 16 W, con una longitud de onda de 254 nm, para la regeneración del catalizador ( $\text{Fe}^{2+}$ ).

En el proceso de adsorción se utilizó un filtro de carbón activado de 500 g como post-tratamiento para asegurar la calidad del agua residual tratada. Bravo y Garzón (2017), recomiendan que se debe diseñar filtros de 100 g de carbón activado para filtrar 1 L de agua residual y que puede llegar a la saturación del filtro (capacidad máxima de adsorción) con 10 L de agua residual; de acuerdo a nuestro estudio se construyó de manera proporcional un filtro de 500 g para tratar volúmenes de 5 L de agua residual.

Tabla 4

*Diseño factorial de las dosis de sulfato ferroso y peróxido de hidrógeno.*

| <b>Factores</b>                 | <b>Niveles</b> | <b>Valores</b> |          |          |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------|----------|
| Dosis de $\text{FeSO}_4$        | 3              | 100 mg/L       | 150 mg/L | 200 mg/L |
| Dosis de $\text{H}_2\text{O}_2$ | 3              | 10 mL/L        | 15 mL/L  | 20 mL/L  |

*Nota:* Diseño factorial  $3^2$  (dos factores y tres niveles).

### **4.3. Población y Muestra**

#### **4.3.1. Población**

La población son las aguas residuales generadas en el laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao generados aproximadamente 100 L/día.

#### **4.3.2. Muestra**

La muestra que se tomaron para la caracterización y procesos de tratamientos fue de 150 L de aguas residuales generadas en el laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, ubicada en Juan Pablo II Bellavista 306, Callao.

#### **4.4. Lugar de Estudio y Periodo de Desarrollo**

La parte experimental se realizó en el laboratorio de la empresa FLOWEN S.A.C. ubicado en la urbanización Portada del sol, Calle Huaca de la Luna Nro. 408, La Molina. Los tratamientos del agua residual se desarrollaron en un promedio de 60 h.

#### **4.5. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de la Información**

##### **4.5.1. Técnicas Analíticas**

En la caracterización para determinar los valores de los parámetros físicos (temperatura y color), parámetros químicos (demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno y detergentes) y parámetros microbiológicos (coliformes termotolerantes, escherichia coli y huevos de helmintos) fueron enviados para su análisis al laboratorio SGS del Perú S.A.C. acreditado por INACAL y las técnicas normalizadas para análisis de aguas potables y residuales se realizó de acuerdo al Standard Methods for the examination of water and wastewater 23rd edition, 2017. El parámetro de estudio de la demanda química de oxígeno (DQO), fue medido en base a técnica como se indica en la Tabla 5.

Tabla 5

*Técnica de análisis de la demanda química de oxígeno.*

| <b>Parámetro</b>           | <b>Norma de referencia</b>                     | <b>Técnica de análisis</b>  |
|----------------------------|--|---|
| Demanda química de oxígeno | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017 | Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method. |

*Nota:* Adaptado del Standard Test Methods (2017).

#### **4.5.2. Instrumentos para la Recolección de la Información**

a) Materiales:

- Soporte metálico (prototipo)
- Tubo PVC
- Accesorios de tubería PVC
- Tanque acrílico de 5 L de volumen
- Carbón activado granulado
- 4 vasos de precipitado de 500 mL
- Cono imhoff

b) Equipos:

- Balanza analítica
- Colorímetro de marca HACH, modelo DR 900
- Reactor de digestión de marca HACH, modelo DRB 200
- Bomba de lavadora
- Sistema fotovoltaico (panel solar de 50 W, controlador de 10 A, batería de 50 A y un inversor de 600 W)
- Lámpara UV de 16 W marca PHILIPS, modelo TUV T5

- Caudalímetro marca LZT, modelo M-15
- pH-metro marca HANNA, modelo HI 98130

c) Reactivos:

- 1 L de peróxido de hidrógeno al 50% de concentración
- 200 g de sulfato ferroso de 99% de pureza
- 1 L de hidróxido de sodio de 50% de concentración
- 30 viales de digestión para DQO

#### **4.6. Metodología**

El presente proyecto de investigación se realizó en 4 etapas:

Primera etapa: Se realizó la caracterización del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la FIQ-UNAC mediante el análisis de los parámetros físicos (temperatura y color), parámetros químicos (demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno y detergentes) y parámetros microbiológicos (coliformes termotolerantes, escherichia coli y huevos de helmintos), teniendo en cuenta la metodología de monitoreo para el análisis de la muestra del laboratorio SGS del Perú S.A.C. acreditado por INACAL. Se preservó y conservó la muestra, enviándose para su análisis.

Segunda etapa: Se realizó el tratamiento del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la FIQ-UNAC mediante el sistema de foto-Fenton y adsorción realizando el seguimiento en el proceso foto-Fenton a la demanda química de oxígeno (DQO) para determinar la mejor condición para remover la DQO (%) en un proceso batch con recirculación, realizándose monitoreos después de 2 h por cada corrida experimental en un volumen constante de 5 L de muestra y mediante el diseño factorial se evaluó las dosis de peróxido de hidrógeno (10 mL/L, 15 mL/L, 20 mL/L) y las

dosis de sulfato ferroso (100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L) por triplicado para obtener resultados estadísticamente confiables teniendo 9 tipos de tratamientos y 27 corridas experimentales en total. Los resultados de cada tratamiento fueron anotados en una lista de datos como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

*Matriz factorial (factores y niveles del proceso foto-Fenton).*

| Tratamientos | Réplicas | Dosis de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub><br>(mL/L) | Dosis de FeSO <sub>4</sub><br>(mg/L) |
|--------------|----------|--|--------------------------------------|
| T0           | T0-M0    | 0  | 0                                    |
| T1           | T1-M1    | 10   | 100                                  |
|              | T1-M2    | 10   | 100                                  |
|              | T1-M3    | 10   | 100                                  |
| T2           | T2-M1    | 10   | 150                                  |
|              | T2-M2    | 10   | 150                                  |
|              | T2-M3    | 10   | 150                                  |
| T3           | T3-M1    | 10   | 200                                  |
|              | T3-M2    | 10   | 200                                  |
|              | T3-M3    | 10   | 200                                  |
| T4           | T4-M1    | 15   | 100                                  |
|              | T4-M2    | 15   | 100                                  |
|              | T4-M3    | 15   | 100                                  |
| T5           | T5-M1    | 15   | 150                                  |
|              | T5-M2    | 15   | 150                                  |
|              | T5-M3    | 15   | 150                                  |
| T6           | T6-M1    | 15   | 200                                  |
|              | T6-M2    | 15   | 200                                  |
|              | T6-M3    | 15   | 200                                  |
| T7           | T7-M1    | 20   | 100                                  |
|              | T7-M2    | 20   | 100                                  |
|              | T7-M3    | 20   | 100                                  |
| T8           | T8-M1    | 20   | 150                                  |
|              | T8-M2    | 20   | 150                                  |
|              | T8-M3    | 20   | 150                                  |
| T9           | T9-M1    | 20   | 200                                  |
|              | T9-M2    | 20   | 200                                  |
|              | T9-M3    | 20   | 200                                  |

*Nota:* Dosis de peróxido de hidrogeno (10 mL/L, 15 mL/L, 20 mL/L) y dosis de sulfato ferroso (100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L) por triplicado.

Tercera etapa: Después del proceso foto-Fenton el agua residual pasó a la siguiente etapa de post-tratamiento por adsorción mediante un filtro de 500 g de carbón activado de cáscara de coco para remover residuales de DQO, color y trazas de contaminantes asegurando de esa manera la calidad del agua residual tratada.

Cuarta etapa: Después del sistema de tratamiento de foto-Fenton y adsorción y respecto al tratamiento más eficiente se realizó el análisis de los parámetros físicos (temperatura y color), parámetros químicos (demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno y detergentes) y parámetros microbiológicos (coliformes termotolerantes, escherichia coli y huevos de helmintos) para conocer las características agua residual tratada.

#### **4.7. Análisis y Procesamiento de Datos**

El análisis y procesamiento de los datos se efectuó mediante el software estadístico Minitab 19, usando diseño de experimentos se empleó un diseño factorial (dos factores y tres niveles por triplicado), donde el programa estadístico procesó los datos obtenidos de las diferentes combinaciones de tratamiento y mediante su aplicación se generó tablas, gráficos; y para determinar el efecto de los factores (dosis de peróxido de hidrógeno y dosis de sulfato de ferroso) en la variable respuesta (eficiencia de remoción de la DQO) se realizó los siguientes análisis estadísticos: Análisis de residuales, análisis de varianza (ANOVA), diagrama de Pareto, ecuación del modelo, gráfica de efectos principales, gráfica de interacción, gráfica de contorno.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados Descriptivos

#### 5.1.1. Caracterización del Agua Residual

De acuerdo a la Tabla 7, en la caracterización del agua residual antes del tratamiento (T0), los parámetros que no cumplen con el ECA para Agua-Categoría 3 fue la demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas y potencial de hidrógeno, siendo parámetros de mayor interés en los procesos de tratamiento.

Tabla 7

*Caracterización del agua residual antes del tratamiento.*

| Parámetros                    | Unidad       | Agua residual (T0) | ECA-categoría 3 |
|-------------------------------|--------------|--------------------|-----------------|
| Demanda química de oxígeno    | mg/L         | 10089,50           | 40,00           |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L         | 1052,50            | 15,00           |
| Aceites y grasas              | mg/L         | 629,10             | 5,00            |
| Oxígeno disuelto              | mg/L         | < 1,00             | ≥ 4,00          |
| Potencial de hidrógeno        | Unidad de pH | 2,88               | 6,50 - 8,50     |
| Detergentes                   | mg/L         | 1,34               | 1000,00         |
| Temperatura                   | °C           | 20,00              | Δ 3,00          |
| Color                         | Escala Pt/Co | 10,00              | 100,00          |
| Coliformes termotolerantes    | NMP/100 mL   | < 1,80             | 1000,00         |
| Escherichia coli              | NMP/100 mL   | < 1,80             | 1000,00         |
| Huevos de helmintos           | Huevo/L      | 0,00               | 1,00            |

*Nota:* Parámetros T0 medido por el laboratorio acreditado SGS del Perú S.A.C.



### 5.1.2. Tratamiento del Agua Residual Mediante el Proceso de Foto-Fenton

De acuerdo a la Tabla 8, los tratamientos aplicados a diferentes dosis de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso en el proceso de foto-Fenton se llegó a la máxima eficiencia de remoción de la DQO con el tratamiento T5 con una dosis de 15 mL/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 150 mg/L de FeSO<sub>4</sub> llegando a una remoción promedio de la DQO del 99,46%.

Tabla 8

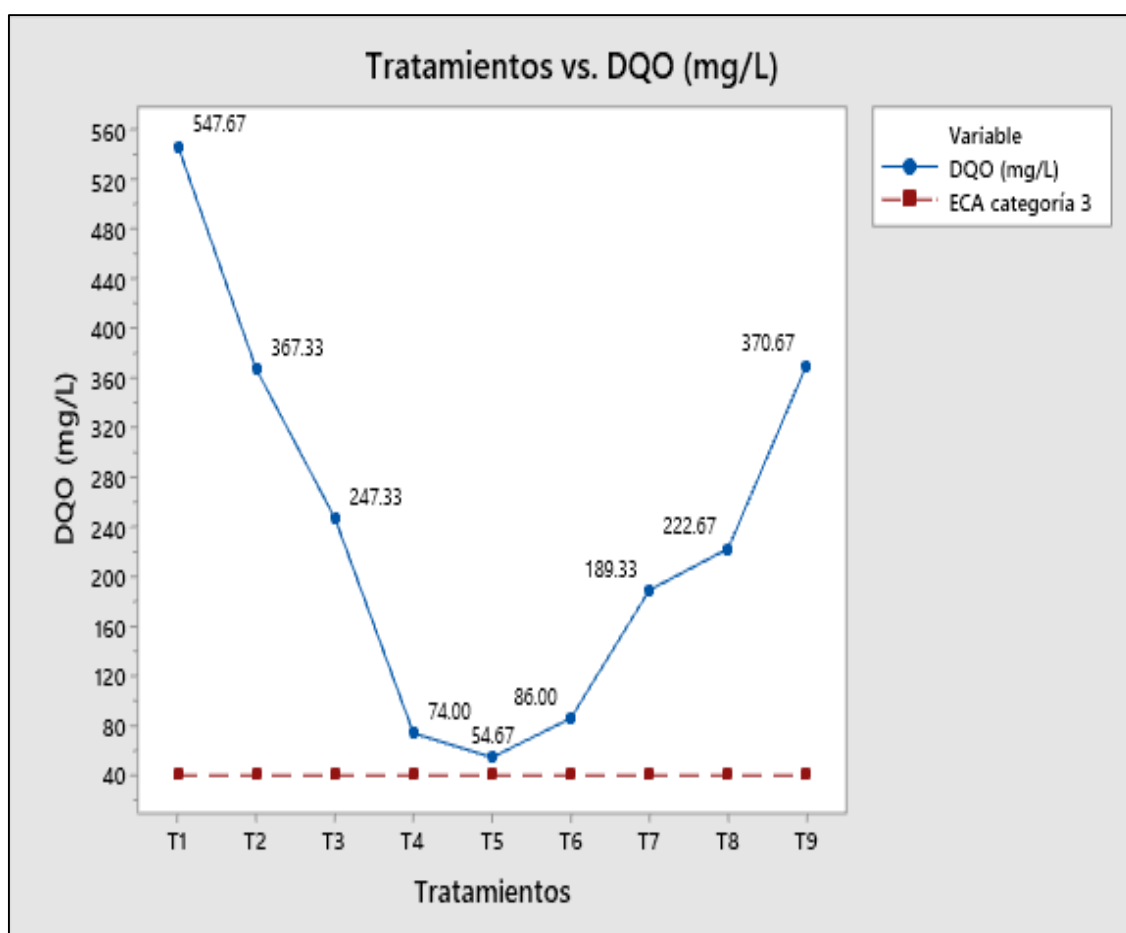
*Eficiencia de remoción de la DQO en el proceso foto-fenton.*

| Tratamientos | Réplicas | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub><br>(mL/L) | FeSO <sub>4</sub><br>(mg/L) | DQO<br>(mg/L) | Eficiencia de<br>remoción de<br>la DQO (%) | Promedio de<br>remoción de<br>la DQO (%) |
|--------------|----------|---|-----------------------------|---------------|--|--|
| T0           | T0-M0    | 0                                       | 0                           | 10089,50      | 0,00                                       | 0,00                                     |
| T1           | T1-M1    | 10                                      | 100                         | 559,00        | 94,46                                      | 94,57                                    |
|              | T1-M2    | 10                                      | 100                         | 545,00        | 94,60                                      |  |
|              | T1-M3    | 10                                      | 100                         | 539,00        | 94,66                                      |  |
| T2           | T2-M1    | 10                                      | 150                         | 379,00        | 96,24                                      | 96,36                                    |
|              | T2-M2    | 10                                      | 150                         | 358,00        | 96,45                                      |  |
|              | T2-M3    | 10                                      | 150                         | 365,00        | 96,38                                      |  |
| T3           | T3-M1    | 10                                      | 200                         | 235,00        | 97,67                                      | 97,55                                    |
|              | T3-M2    | 10                                      | 200                         | 261,00        | 97,41                                      |  |
|              | T3-M3    | 10                                      | 200                         | 246,00        | 97,56                                      |  |
| T4           | T4-M1    | 15                                      | 100                         | 79,00         | 99,22                                      | 99,27                                    |
|              | T4-M2    | 15                                      | 100                         | 68,00         | 99,33                                      |  |
|              | T4-M3    | 15                                      | 100                         | 75,00         | 99,26                                      |  |
| T5           | T5-M1    | 15                                      | 150                         | 57,00         | 99,44                                      | 99,46                                    |
|              | T5-M2    | 15                                      | 150                         | 55,00         | 99,45                                      |  |
|              | T5-M3    | 15                                      | 150                         | 52,00         | 99,48                                      |  |
| T6           | T6-M1    | 15                                      | 200                         | 82,00         | 99,19                                      | 99,15                                    |
|              | T6-M2    | 15                                      | 200                         | 90,00         | 99,11                                      |  |
|              | T6-M3    | 15                                      | 200                         | 86,00         | 99,15                                      |  |
| T7           | T7-M1    | 20                                      | 100                         | 193,00        | 98,09                                      | 98,12                                    |
|              | T7-M2    | 20                                      | 100                         | 186,00        | 98,16                                      |  |
|              | T7-M3    | 20                                      | 100                         | 189,00        | 98,13                                      |  |
| T8           | T8-M1    | 20                                      | 150                         | 228,00        | 97,74                                      | 97,79                                    |
|              | T8-M2    | 20                                      | 150                         | 217,00        | 97,85                                      |  |
|              | T8-M3    | 20                                      | 150                         | 223,00        | 97,79                                      |  |
| T9           | T9-M1    | 20                                      | 200                         | 378,00        | 96,25                                      | 96,33                                    |
|              | T9-M2    | 20                                      | 200                         | 371,00        | 96,32                                      |  |
|              | T9-M3    | 20                                      | 200                         | 363,00        | 96,40                                      |  |

En la Figura 4, se muestra que después del tratamiento del proceso foto-Fenton se llega a la máxima reducción de 54,67 mg/L en promedio de la DQO, estando todavía por encima del ECA para Agua-Categoría 3, que indica un valor de 40 mg/L de concentración de la DQO; por lo tanto, se requiere de un tratamiento adicional (post-tratamiento) para cumplir con la normativa. Al agregar una excesiva dosis de  $H_2O_2$  y  $FeSO_4$  baja la eficiencia de remoción de la DQO, ya que puede causar interferencias de oxidación en el tratamiento, según lo indica Ramos y Jiménez (2016) en su trabajo de investigación.

Figura 4

*DQO promedio después del tratamiento por proceso foto-Fenton*



*Nota:* Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 19.

### 5.1.3. Tratamiento del Agua Residual Mediante el Proceso de Adsorción

El agua residual tratada mediante el proceso de foto-Fenton pasa a un post-tratamiento, denominado proceso de adsorción (T10), por medio de un filtro con carbón activado granular de cáscara de coco, de un peso de 500 g, llegando a una remoción promedio de la DQO del 76,83%, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9

*Análisis de la DQO después del tratamiento por adsorción.*

| Tratamientos | Réplicas | Carbón activado granular (g) | DQO (mg/L) | Remoción de DQO (%) | Promedio de remoción de DQO (%) |
|--------------|----------|------------------------------|------------|---------------------|---------------------------------|
| T0           | T0-C0    | 0                            | 54,67      | –                   | –                               |
|              | T10-C1   | 500                          | 11,00      | 79,88               |                                 |
| T10          | T10-C2   | 500                          | 13,00      | 76,22               | 76,83                           |
|              | T10-C3   | 500                          | 14,00      | 74,39               |                                 |

*Nota:* Parámetro de la DQO medido con los equipos de propiedad de FLOWEN S.A.C.

### 5.1.4. Caracterización del Agua Residual después del Tratamiento de Foto-Fenton y Adsorción

De acuerdo con los parámetros analizados después del tratamiento en conjunto, mediante los procesos de foto-Fenton y adsorción, estos cumplen con los valores de la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.-Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. En la Tabla 10, se muestra que la remoción de la demanda química de oxígeno fue del 99,88%, demanda bioquímica de oxígeno fue del 99,61%, aceites y grasas fue del 99,94%, detergentes fue del 99,99% y color fue del 90,00%.

Tabla 10

*Eficiencia de remoción de parámetros después del tratamiento por foto-Fenton y adsorción.*

| <b>Parámetros</b>                       | <b>ECA-<br/>categoría 3</b> | <b>Agua<br/>residual</b> | <b>Agua<br/>residual<br/>tratada</b> | <b>Eficiencia de<br/>remoción (%)</b> |
|---|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Demanda química de oxígeno (mg/L)       | 40,00                       | 10089,50                 | 12,30                                | 99,88                                 |
| Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)    | 15,00                       | 1052,50                  | 4,10                                 | 99,61                                 |
| Aceites y grasas (mg/L)                 | 5,00                        | 629,10                   | 0,40                                 | 99,94                                 |
| Oxígeno disuelto (mg/L)                 | ≥ 4,00                      | 1,00                     | 8,50                                 | –                                     |
| Potencial de hidrógeno                  | 6,50 - 8,50                 | 2,88                     | 7,97                                 | –                                     |
| Detergentes (mg/L)                      | 1000,00                     | 1,34                     | 0,05                                 | 99,99                                 |
| Temperatura (°C)                        | Δ 3,00                      | 20,00                    | 19,00                                | –                                     |
| Color (escala Pt/Co)                    | 100,00                      | 10,00                    | 1,00                                 | 90,00                                 |
| Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) | 1000,00                     | 1,80                     | 1,80                                 | –                                     |
| Escherichia coli (NMP/100 mL)           | 1000,00                     | 1,80                     | 1,80                                 | –                                     |
| Huevos de helmintos (Huevo/L)           | 1,00                        | 0,00                     | 0,00                                 | –                                     |

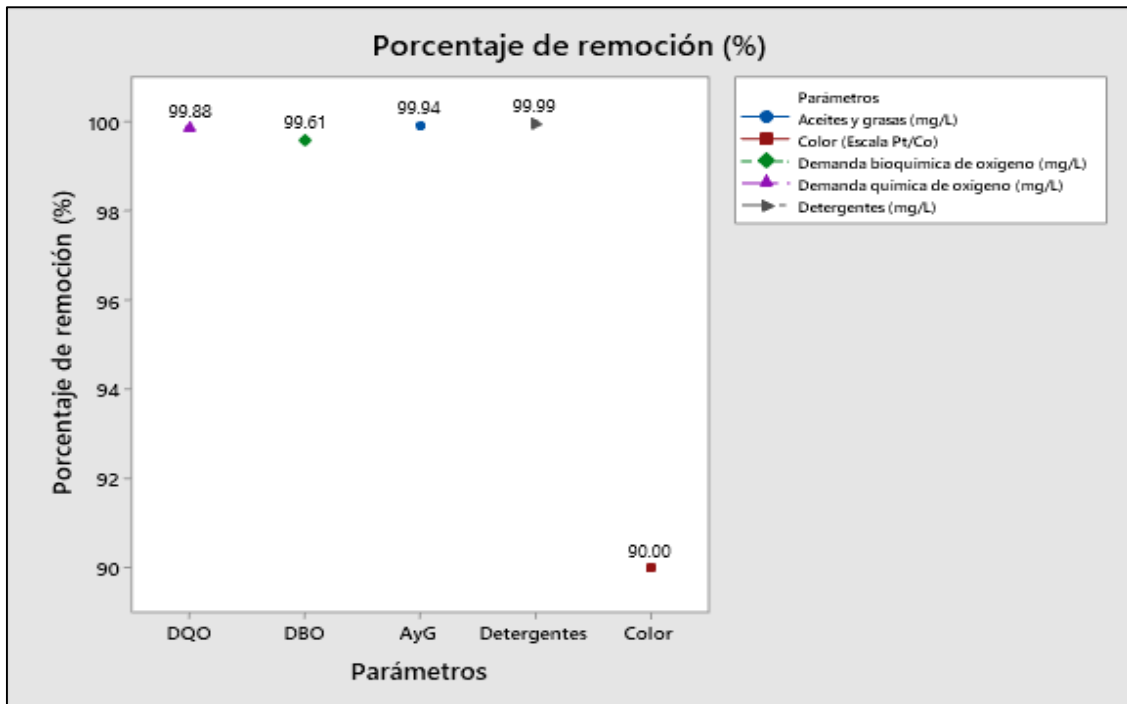
*Nota:* Parámetros medidos por el laboratorio acreditado SGS del Perú S.A.C.

En la Figura 5, se puede observar que después del tratamiento de las aguas residuales mediante los procesos de foto-Fenton y adsorción, la remoción de la

demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, detergentes y color están por encima del 90,00% en promedio.

Figura 5

*Resultados de la remoción de parámetros del agua residual después del tratamiento de foto-Fenton y adsorción.*



*Nota:* Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 19.

## 5.2. Resultados Inferenciales

### 5.2.1. Prueba Estadística de Residuales en el Proceso de Foto-Fenton

En la Tabla 11, se muestra un total de 2 factores y 3 niveles del diseño factorial, siendo 9 los tratamientos. El diseño experimental se realizó por triplicado, siendo en total 27 corridas experimentales en el proceso de foto-Fenton para el tratamiento del agua residual generada en el laboratorio de química orgánica de la FIQ-UNAC como primera etapa de tratamiento.

Tabla 11

*Resumen del diseño factorial.*

| <b>Resumen de diseño</b> |   |                    |    |
|--------------------------|---|--------------------|----|
| Factores:                | 2 | Réplicas:          | 3  |
| Corridas base:           | 9 | Total de corridas: | 27 |
| Bloques base:            | 1 | Total de bloques:  | 3  |

*Nota:* En el diseño se presenta 9 tratamientos por triplicado teniendo 27 corridas experimentales en total.

Para una prueba estadística paramétrica correcta se deben de analizar los residuos ( $e_{ij}$ ) que son generados por la diferencia entre la respuesta observada ( $Y_{ij}$ ) y la respuesta predicha ( $\hat{Y}_{ij}$ ) por el modelo en cada tratamiento:

$$e_{ij} = Y_{ij} - \hat{Y}_{ij}$$

Los residuales deben cumplir los siguientes supuestos:

- Normalidad.
- Varianza constante (igual varianza en los tratamientos).
- Independencia.

Se debe evaluar las hipótesis estadísticas de los residuales en base a la prueba de normalidad de Ryan-Joiner, que indica que cuando el coeficiente de correlación (RJ) está cerca a 1 es probable que la población sea normal.

Siendo las hipótesis de prueba para el análisis de la normalidad:

$H_0$ : Los residuos siguen una distribución normal.

$H_1$ : Los residuos no siguen una distribución normal.

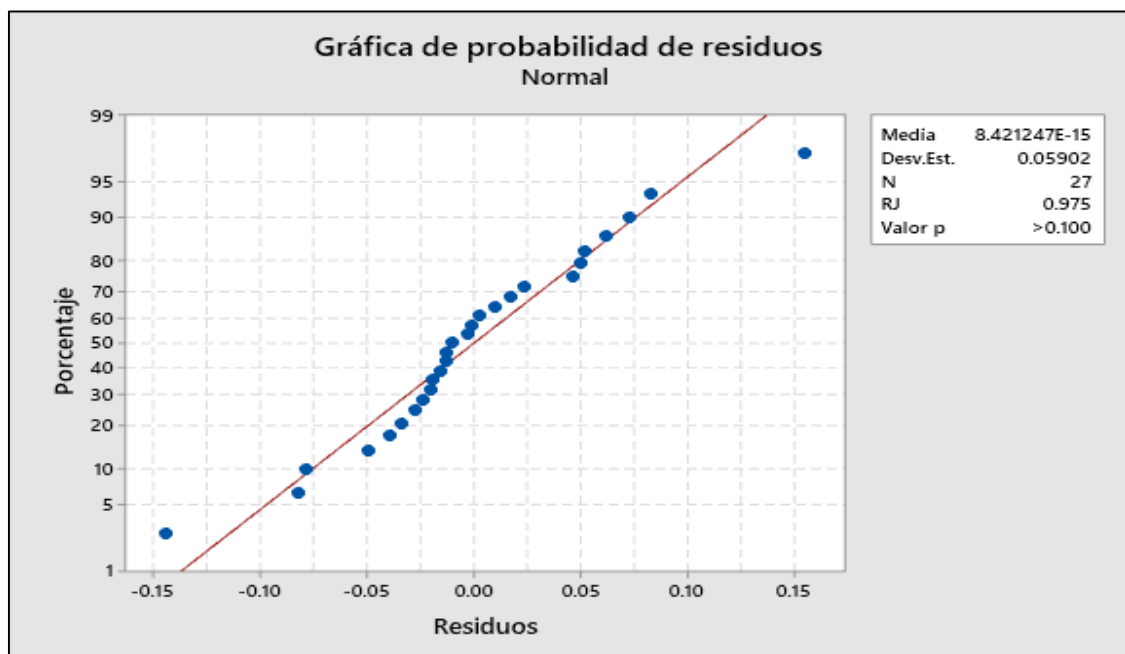
Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = 0,05

Si el valor  $p < \alpha$ , se rechaza  $H_0$ ; Si el valor  $p > \alpha$ , no se rechaza  $H_0$

En la Figura 6, para la condición de normalidad, se puede observar que a un intervalo de confianza del 95% los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada con un coeficiente de correlación (RJ) = 0.975 y el valor p = 0,10 es mayor que el nivel de significancia de 0,05; por lo tanto, no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo se concluye que los datos siguen una distribución normal.

Figura 6

Gráfica de probabilidad normal de residuos.



Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 19.

Para la condición de varianza constante, también conocido como supuesto de homocedasticidad u homogeneidad de varianzas, se comprueba mediante la prueba estadística de Bartlett, donde se plantea las siguientes hipótesis estadísticas:

$H_0$ : La varianza de los residuos son iguales.

$H_1$ : La varianza de los residuos son diferentes.

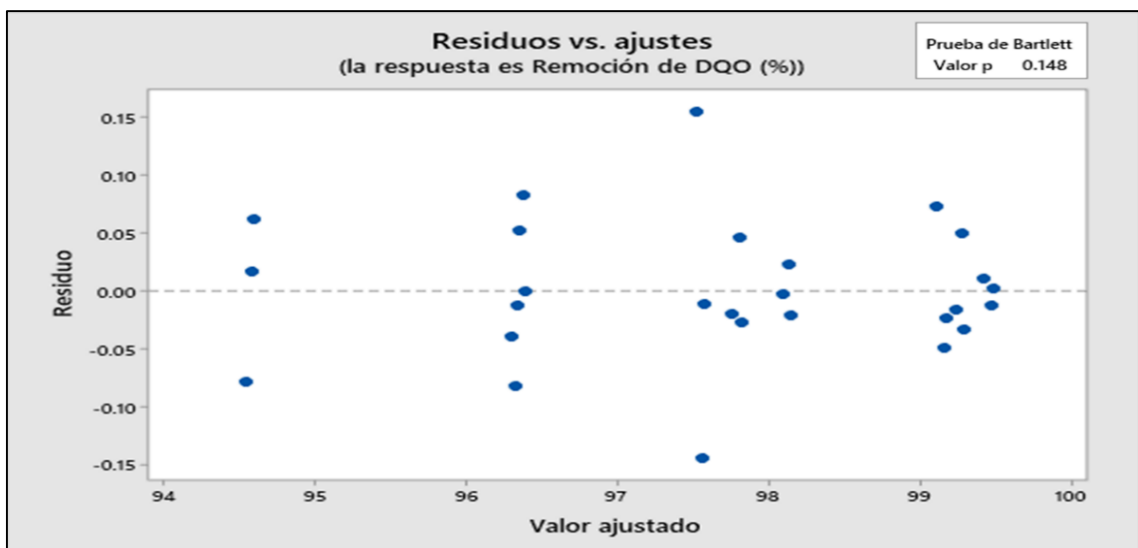
Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = 0,05

Si el valor  $p < \alpha$ , se rechaza  $H_0$ ; Si el valor  $p > \alpha$ , no se rechaza  $H_0$

En la Figura 7, se representa en el eje horizontal los valores de las medias de los tratamientos y en el eje vertical los residuos; mediante la prueba de Bartlett de los residuales el valor  $p$  es de 0.148 siendo mayor que el nivel de significancia de 0,05; por lo cual no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y además en la figura se puede observar que los residuos están distribuidos aleatoriamente y la varianza en los diferentes tratamientos son aproximadamente iguales por lo tanto cumple la condición de varianza constante.

Figura 7

Gráfica de varianza de residuos.



Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 19.

En la Figura 8, se representa en el eje horizontal el orden de los tratamientos y en el eje vertical los residuos, para la condición de independencia se emplea la prueba de Durbin-Watson donde las hipótesis de prueba son:

$H_0$ : Los residuos no tienen correlación

$H_1$ : Los residuos tienen correlación.



Donde se tiene los supuestos:

Si  $d < d_L$  Se rechaza  $H_0$

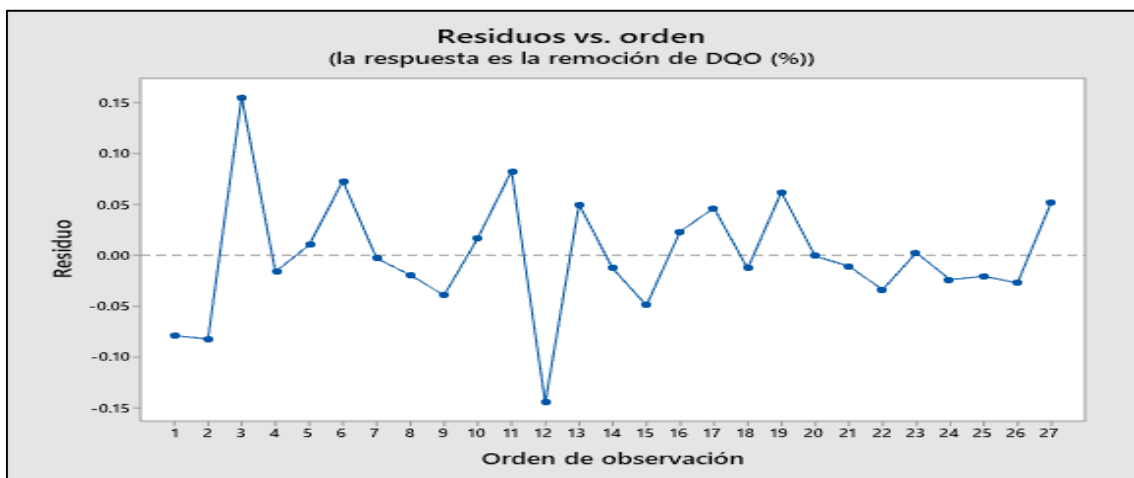
Si  $d > d_U$  No se rechaza  $H_0$

Si  $d_L \leq d \leq d_U$  Sin decisión

Mediante la prueba estadística de Durbin-Watson se obtiene un valor  $d = 2,51560$  siendo el límite inferior  $d_L = 1,23991$  y un límite superior  $d_U = 1,5562$  donde se puede determinar que  $d = 2,51560 > d_U = 1,5562$  donde no se rechaza  $H_0$ , además los residuos no muestran tendencias ni patrones en el orden cronológico (en los tratamientos); por lo tanto, se concluye que los residuos y con ello los tratamientos aplicados son independientes.

Figura 8

*Gráfica de independencia de residuos.*



*Nota:* Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 19.

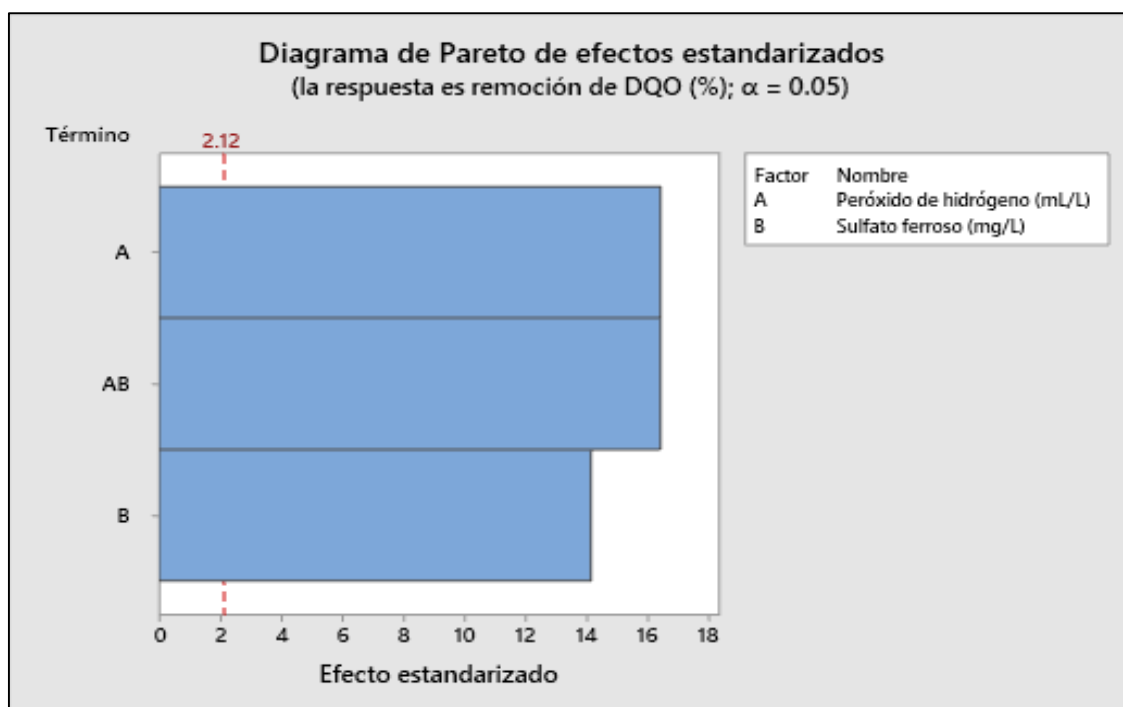
De acuerdo a que los residuales cumplen la condiciones de normalidad, varianza constante e independencia, la prueba estadística paramétrica es la correcta y se prosigue con los siguientes análisis estadísticos.

En la Figura 9, se muestra que la dosis del peróxido de hidrógeno (A) y la dosis de sulfato ferroso (B) influyen en la eficiencia de remoción de la DQO, así como la

interacción de la dosis del peróxido de hidrógeno y dosis de sulfato ferroso (AB). Los factores y las interacciones influyen positivamente en la variable respuesta (remoción de la DQO) ya que sobrepasan el nivel de referencia de 2,12 generado por el mismo programa estadístico de acuerdo al nivel de significancia de 0,05 utilizado.

Figura 9

Diagrama de Pareto



Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 19.

### 5.2.2. Prueba de Hipótesis Estadística en el Proceso de Foto-Fenton

Las hipótesis estadísticas son:

$H_0$ :  $\tau_1=\tau_2=\tau_3=\tau_4=\tau_5=\tau_6=\tau_7=\tau_8=\tau_9$ , todas las medias (promedios) de la remoción de la DQO son iguales.

$H_1$ :  $\tau \neq 0$ , por lo menos una media es diferente.

Nivel de significancia ( $\alpha$ ) = 0,05

Si el valor  $p < \alpha$ , se rechaza  $H_0$ ; Si el valor  $p > \alpha$ , no se rechaza  $H_0$

En la Tabla 12, el valor  $p = 0,000$  de los factores: Dosis del peróxido de hidrógeno (A) y dosis de sulfato ferroso (B) y la interacción entre ellas (AB) es menor que el nivel de significancia utilizado de 0,05 a un nivel de confianza del 95%, donde existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que las medias de los tratamientos difieren; es decir, que la dosis del peróxido de hidrógeno y la dosis de sulfato ferroso influyen de manera significativa en el porcentaje de remoción de la DQO en cada tratamiento.

Tabla 12

*Análisis de varianza (ANOVA).*

| Fuente  | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|---|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo  | 10 | 63,8153   | 6,3815    | 1127,43 | 0,000   |
| Bloques   | 2  | 0,0160    | 0,0080    | 1,41    | 0,272   |
| Lineal  | 4  | 46,0873   | 11,5218   | 2035,56 | 0,000   |
| Peróxido de hidrógeno (mL/L)                            | 2  | 44,6912   | 22,3456   | 3947,80 | 0,000   |
| Sulfato ferroso (mg/L)                                  | 2  | 1,3961    | 0,6981    | 123,33  | 0,000   |
| Interacciones de 2 términos                             | 4  | 17,7120   | 4,4280    | 782,30  | 0,000   |
| Peróxido de hidrógeno (mL/L).<br>Sulfato ferroso (mg/L) | 4  | 17,7120   | 4,4280    | 782,30  | 0,000   |
| Error   | 16 | 0,0906    | 0,0057    |         |         |
| Total   | 26 | 65,0242   |           |         |         |

*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

### **5.2.3. Estadísticos de Bondad en el Proceso de Foto-Fenton**

Se observa en la Tabla 13, que el coeficiente de determinación ( $R^2$  ajustado) es de 99,77% el cual es un valor adecuado de ajuste del modelo, donde nos indica que los

factores de la dosis del peróxido de hidrógeno y dosis de sulfato ferroso influyen en gran magnitud en la remoción de DQO.

Tabla 13

*Resumen de los estadísticos de bondad.*

| S         | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup><br>(ajustado) |
|-----------|----------------|------------------------------|
| 0,0752347 | 99,86%         | 99,77%                       |

*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

Donde:

- S: Representa la desviación estándar se utiliza para evaluar qué tan bien el modelo describe la respuesta.
- R<sup>2</sup>: Es el porcentaje de variación en la respuesta que es explicada por el modelo, Mientras mayor sea el valor de R<sup>2</sup>, mejor se ajustará el modelo a los datos. R<sup>2</sup> siempre está entre 0% y 100%.
- R<sup>2</sup> (ajustado): Se utiliza R<sup>2</sup> ajustado cuando se desee comparar modelos que tengan diferentes números de predictores.

#### **5.2.4. Ecuación de Regresión de Modelo**

De acuerdo a los factores y niveles se genera una ecuación de regresión del modelo, donde se tiene la ecuación general. Se toma el valor de la constante (97.6217) y se le suma los valores de cada dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y FeSO<sub>4</sub>, que van de acuerdo al subíndice en la ecuación con su respectivo signo, para determinar la eficiencia de remoción promedio de la DQO en cada tratamiento:

$$\begin{aligned}
\text{Remoción de la DQO (\%)} = & 97.6217 - 1.4617 \text{ Peróxido de hidrógeno (mL/L)}_{10} \\
& + 1.6691 \text{ Peróxido de hidrógeno (mL/L)}_{15} \\
& - 0.2074 \text{ Peróxido de hidrógeno (mL/L)}_{20} \\
& - 0.3010 \text{ Sulfato ferroso (mg/L)}_{100} + 0.2485 \text{ Sulfato ferroso (mg/L)}_{150} \\
& + 0.0525 \text{ Sulfato ferroso (mg/L)}_{200} \\
& - 1.2870 \text{ Peróxido de hidrógeno (mL/L)} * \text{Sulfato ferroso (mg/L)}_{10 \ 100} \\
& - 0.0492 \text{ Peróxido de hidrógeno (mL/L)} * \text{Sulfato ferroso (mg/L)}_{10 \ 150} \\
& + 1.3362 \text{ Peróxido de hidrógeno (mL/L)} * \text{Sulfato ferroso (mg/L)}_{10 \ 200} \\
& + 0.2768 \text{ Peróxido de hidrógeno (mL/L)} * \text{Sulfato ferroso (mg/L)}_{15 \ 100} \\
& - 0.0811 \text{ Peróxido de hidrógeno (mL/L)} * \text{Sulfato ferroso (mg/L)}_{15 \ 150} \\
& - 0.1957 \text{ Peróxido de hidrógeno (mL/L)} * \text{Sulfato ferroso (mg/L)}_{15 \ 200} \\
& + 1.0102 \text{ Peróxido de hidrógeno (mL/L)} * \text{Sulfato ferroso (mg/L)}_{20 \ 100} \\
& + 0.1303 \text{ Peróxido de hidrógeno (mL/L)} * \text{Sulfato ferroso (mg/L)}_{20 \ 150} \\
& - 1.1405 \text{ Peróxido de hidrógeno (mL/L)} * \text{Sulfato ferroso (mg/L)}_{20 \ 200}
\end{aligned}$$

### **5.2.5. Gráficas de Efectos Principales y Interacción en el Proceso de Foto-Fenton**

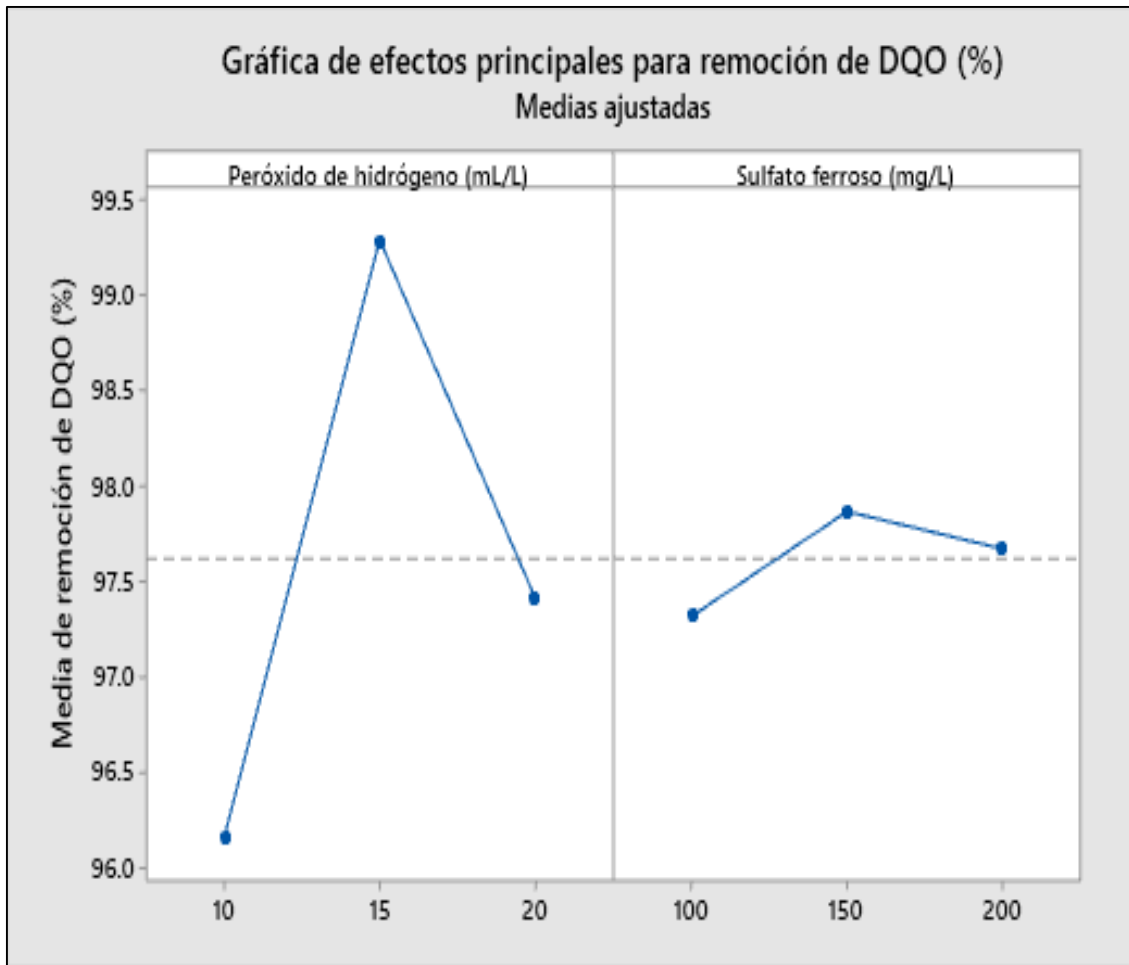
En la Figura 10, la dosis de peróxido de hidrógeno tiene un mayor efecto que la dosis de sulfato ferroso por la mayor amplitud en la remoción de la DQO.

A una dosis de 15 mL/L de peróxido de hidrógeno se logra remover la DQO en mayor proporción que a una dosis de 10 mL/L y 20 mL/L.

A una dosis de 150 mg/L de sulfato ferroso se logra remover la DQO en mayor porcentaje en comparación con la dosis de 100 mg/L y 200 mg/L.

Figura 10

Gráfica de efectos principales para la remoción de la DQO.

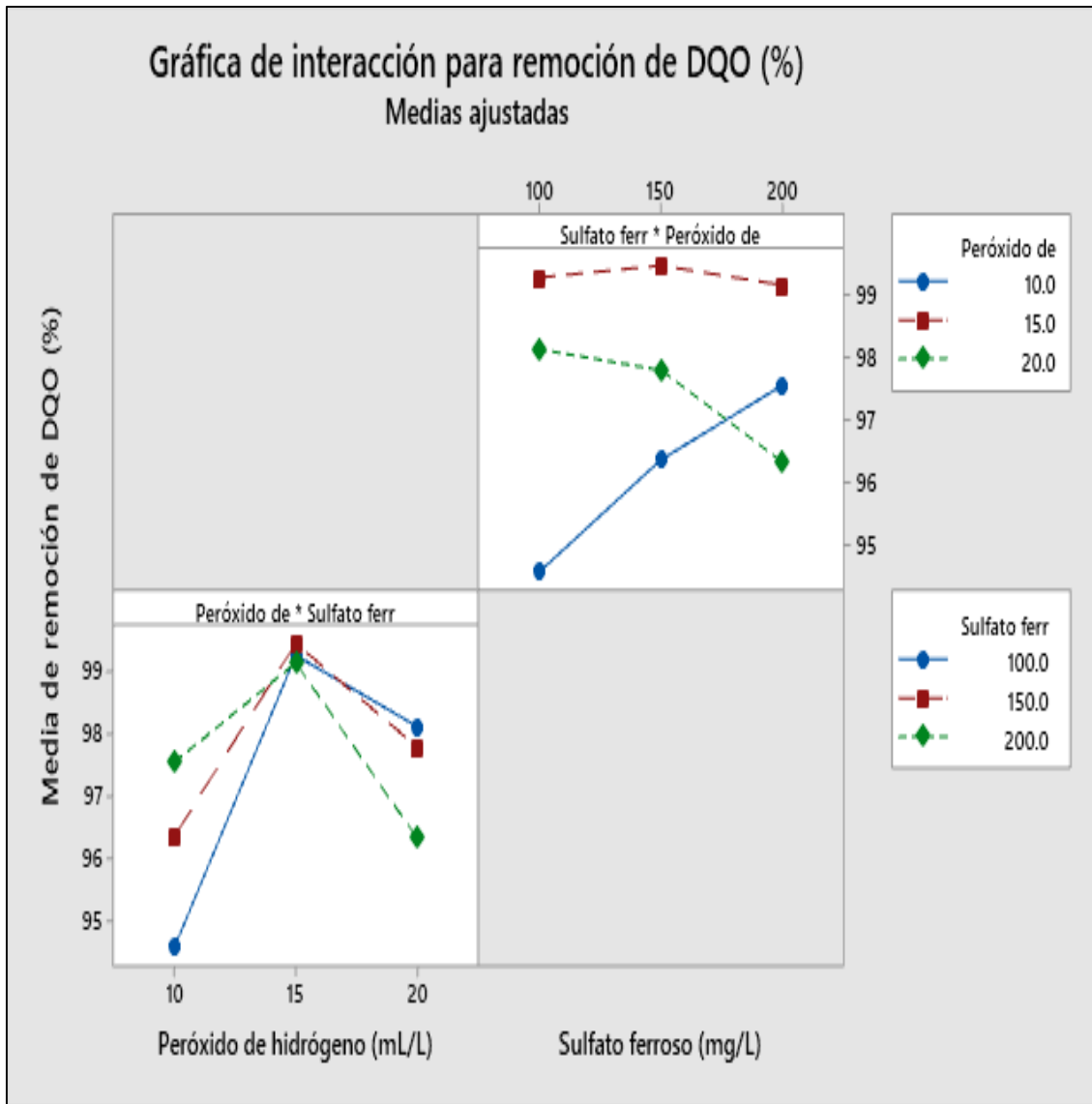


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 19.

En la Figura 11, de manera general, se obtiene una mejor remoción de la DQO en promedio, a una dosis de 15 mL/L de peróxido de hidrógeno en combinación con una dosis de 150 mg/L de sulfato ferroso, en un tiempo de tratamiento de 2 horas.

Figura 11

Gráfica de interacción para la remoción de la DQO.

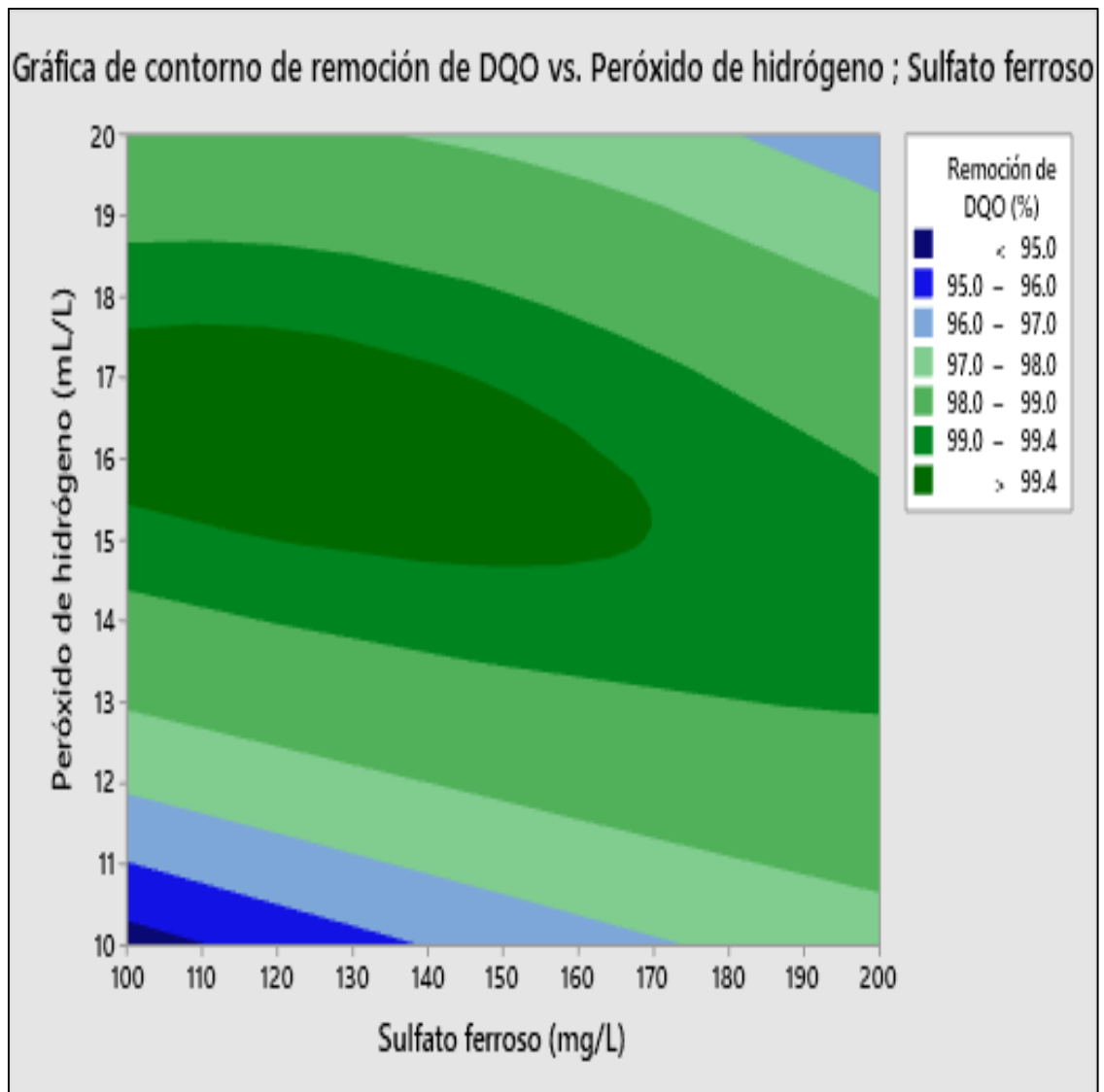


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 19.

Para obtener una remoción de la DQO > 99,40%, como se muestra en la Figura 12, se requiere una dosis de 15,00 mL/L a 17,50 mL/L de peróxido de hidrógeno y una dosis de 100 mg/L a 170 mg/L aproximadamente, en un tiempo de tratamiento de 2 horas.

Figura 12

Gráfica de contorno para la remoción de la DQO.



Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 19.



## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y Demostración de la Hipótesis con los Resultados

De acuerdo a la primera hipótesis específica planteada en el presente estudio, en la Tabla 7 se muestra la caracterización del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la FIQ-UNAC donde los parámetros que cumplen con el ECA para Agua-Categoría 3 son los detergentes, temperatura y color; además se reportó la no presencia de coliformes termotolerantes, escherichia coli y huevos de helmintos estando por debajo del límite de detección; en cambio la demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno son los parámetros que no cumplen con la normativa, lo cual indica que el agua residual requiere de un sistema de tratamiento. De acuerdo a la relación  $DBO_5/DQO$  de la muestra caracterizada ( $1052,50/10089,50 = 0,104$ ), indica que el agua residual es no biodegradable, contrastando y demostrando la hipótesis planteada.

De acuerdo a la segunda hipótesis específica planteada en el presente estudio, en el proceso foto-Fenton se obtuvo una mejor reducción de la DQO mediante la dosis óptima de 15 mL/L de peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) y de 150 mg/L de sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) llegando a una eficiencia de remoción máxima de la DQO del 99,46% por 2 h de tratamiento; contrastando y demostrando la hipótesis planteada. Ver Tabla 8.

De acuerdo a la tercera hipótesis específica planteada en el presente estudio, en el proceso de adsorción que se realizó mediante un filtro de 500 g de carbón activado granular de cáscara de coco, que tiene la capacidad de retener contaminantes en su superficie porosa, se llegó a una remoción máxima promedio de la DQO del 76,83% siendo incluso mayor que el 60% de remoción de la DQO planteada en la investigación, tomando como referencia los estudios realizados por Aragón et al (2013) y Franco et al (2013); contrastando y demostrando la hipótesis planteada. Ver Tabla 9.

De acuerdo a la cuarta hipótesis específica planteada en el presente estudio, después de la aplicación de los procesos de tratamiento en continuo de foto-Fenton y adsorción, se realizó la caracterización del agua residual tratada resultando que las concentraciones de los parámetros medidos, como se muestra en la Tabla 10, cumplen con el ECA para Agua-Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales según el D.S. N° 004-2017-MINAM; contrastando y demostrando la hipótesis planteada.

De acuerdo a la contrastación de las hipótesis específicas se llega a la demostración de la hipótesis general, que el sistema de foto-Fenton y adsorción mejora eficientemente la calidad de las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

## **6.2. Contrastación de los Resultados con otros Estudios Similares**

### **6.2.1. Para la Remoción de la DQO en el Proceso de Foto-Fenton**

De la Tabla 8 se puede apreciar que, el porcentaje más alto de la eficiencia de remoción de la DQO promedio después del tratamiento mediante el proceso de foto-Fenton es de 99,46%, dicho resultado es mayor al que obtuvo Florencia (2015) en su investigación, *“Diseño de una instalación para tratar un agua residual textil combinando tratamiento físico-químico y oxidación avanzada ( $Q_{diseño} = 100 \text{ m}^3/d$ )”*, cuyo resultado fue del 90,19% de remoción de la DQO.

En el estudio realizado por Ramos y Jiménez (2016), *“Degradación de desechos tóxicos provenientes de laboratorios universitarios con foto-Fenton solar usando diseño de experimentos”*, se llegó un porcentaje de remoción del 97% de la DQO, mientras que en nuestra investigación fue de 99,46% de eficiencia de remoción de la DQO, así mismo el estudio de Ramos y Jiménez llega a la conclusión que la excesiva dosis de Fe(II) y

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> disminuye la eficiencia de remoción de DQO como pasó en nuestras pruebas realizadas.

En el estudio realizado por Gil (2011), *“Procesos avanzados de oxidación para el tratamiento de residuos líquidos peligrosos procedentes de los laboratorios de Ingeniería de Procesos”*, se llegó una eficiencia de remoción de la DQO del 78%, mientras que en nuestra presente investigación fue mayor llegando al 99,46% de remoción de la DQO.

En el estudio realizado por Berrio et al (2012), *“Sistemas de tratamiento para residuos líquidos generados en laboratorios de análisis químico”*, se llegó un porcentaje de remoción de la DQO entre 45% a 85%, mientras que en nuestra presente investigación mediante el proceso de foto-Fenton se llegó a una remoción de la DQO entre 94,57% a 99,46% en promedio.

En el estudio realizado por Rosales (2017), *“Reducción del contenido de colorantes en efluentes de la industria textil usando el proceso Fenton, Zarate, 2017”*, se llegó un porcentaje de remoción del 66,10% de la DQO, mientras que en nuestra presente investigación fue mayor, llegando al 99,46% de remoción de la DQO.

En el estudio realizado por Sánchez y García (2018), *“Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales”*, se llegó una remoción de la DQO del 44,40%, aumentado el índice de biodegradabilidad del agua residual a 0,46; mientras que en nuestra presente investigación se llegó a un 99,46% de remoción de la DQO y a un índice de biodegradabilidad de 0,33.

### **6.2.2. Para la Remoción de la DQO en el Proceso de Adsorción**

De la Tabla 9 se puede apreciar que, la eficiencia de remoción de la DQO promedio, después del tratamiento mediante el proceso de adsorción con carbón activado, fue del 76,83%; dicho resultado es mayor al que obtuvo Aragón et al (2013) en su investigación, *“Uso de carbón activado granular (CAG) en un biofiltro para el tratamiento de efluentes”*, cuyo resultado fue del 60% de remoción de DQO.

En el estudio realizado por Franco et al (2013), *“Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado”*, se llegó a un porcentaje de remoción del 66,82% de la DQO, mientras que en nuestra presente investigación fue mayor llegando al 76,83% de remoción de la DQO.

### **6.2.3. Para la Remoción de los Contaminantes Mediante los Procesos de Foto-Fenton y Adsorción**

De la Tabla 10 se apreciar que, después del tratamiento en continuo mediante los procesos de foto-Fenton y adsorción, la eficiencia de remoción de la DQO es de 99,88%, DBO<sub>5</sub> es de 99,61%, aceites y grasas es de 99,94%, detergentes es de 99,99% y color es de 90,00% a comparación del estudio realizado por Méndez et al (2010), *“Determinación de la dosis óptima de reactivo Fenton en un tratamiento de lixiviados por Fenton-adsorción”*, cuyo resultado de la eficiencia de remoción de la DQO fue del 98,90% y la remoción del color fue del 100%.

En el estudio realizado por Rincón et al (2015), *“Producción de carbón activado mediante métodos físicos a partir de carbón de El Cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorerías”*, se llegó a una eficiencia

de remoción del 70% del color, mientras que en nuestra presente investigación fue mayor llegando al 90% de remoción del color.

En el estudio realizado por Espinal (2017), *“Eficiencia del carbón activado a base de cáscara de coco en el tratamiento de aguas residuales domesticas en el AA. HH. 10 de octubre, distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, año 2017”*, se llegó a una eficiencia de remoción de 56,20% de DBO<sub>5</sub>, 90,96% de aceites y grasas, mientras que la presente investigación llegó a la remoción del 99,61% de DBO<sub>5</sub> y 99,94% de aceites y grasas.

### **6.3. Responsabilidad Ética**

Dentro de los principios y compromisos con la responsabilidad ética, de acuerdo con los reglamentos vigentes, se desarrolló el presente trabajo de investigación “Sistema foto-Fenton y adsorción para mejorar la calidad de las aguas residuales del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAC”. Los resultados obtenidos del análisis del agua residual fueron validados por el laboratorio acreditado SGS del Perú S.A.C.; así mismo el desarrollo de la investigación tuvo como base las teorías y antecedentes de estudios ya realizados al tema las cuales han sido debidamente referenciados, evidenciando de esta forma la originalidad de nuestro trabajo de investigación.

## VII. CONCLUSIONES

1. El sistema de foto-Fenton y adsorción mejoró eficientemente la calidad de las aguas residuales llegando a una remoción del 99,88% de la DQO, 99,61% de la DBO<sub>5</sub>, 99,94% de aceites y grasas, 99,99% de detergentes y 90,00% de color.
2. La caracterización del agua residual permitió conocer la composición inicial de los parámetros físicos (temperatura y color), químicos (demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno y detergentes) y microbiológicos (coliformes termotolerantes, escherichia coli y huevos de helmintos); y de acuerdo al índice biodegradabilidad (DBO<sub>5</sub>/DQO) que está en la relación de 0,104, indicando que el agua residual es no biodegradable.
3. En el tratamiento mediante el proceso foto-Fenton la dosis optima que permitió la máxima reducción de la DQO fue de 15 mL/L de peróxido de hidrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y 150 mg/L de sulfato ferroso (FeSO<sub>4</sub>), llegando a una eficiencia de remoción de la DQO del 99,46%.
4. En el tratamiento por adsorción la eficiencia promedio de remoción de la DQO fue del 76,83%.
5. Después del sistema de tratamiento aplicado en serie, de foto-Fenton y adsorción el valor de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos analizados cumplen con el ECA para Agua-Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales según el D.S. N° 004-2017-MINAM.

## VIII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar otros tipos de procesos de oxidación avanzada que permitan mejorar la calidad de las aguas residuales generadas de los laboratorios universitarios.
2. Para futuras investigaciones se recomienda realizar el análisis de los metales pesados del agua residual puesto que es importante conocer los valores de las concentraciones iniciales para evaluar las alternativas de tratamientos adicionales.
3. Se recomienda utilizar la metodología de superficie de respuesta para optimizar las dosis de peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) y de sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) en el tratamiento por foto-Fenton, tomando como base las dosis obtenidas en este presente estudio; asimismo, evaluar más factores que influyen en el proceso de tratamiento.
4. Se recomienda evaluar otros tratamientos complementarios como los tratamientos biológicos después del tratamiento de foto-Fenton ya que el agua residual tiende a aumentar su biodegradabilidad después de la aplicación del proceso como lo indica también Sánchez y García (2018) en su investigación.
5. Se recomienda realizar el tratamiento de las aguas residuales generadas en diferentes laboratorios universitarios de experimentación y evaluar si las tecnologías de foto-Fenton y adsorción son las adecuadas para mejorar la calidad, y así cumplir las normativas vigentes.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anaya, F. (2019). Tratamiento de aguas residuales con colorantes reactivos mediante proceso de oxidación avanzada Fenton y variantes. *Revista de investigación en Agroproducción sustentable*.  
<http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDESDOS/article/view/483/608>
- Aragón-Monter, R., Ramírez-Godínez, J., Coronel-Olivares, C., Lucho-Constantino, C., & Vázquez-Rodríguez, G. (2013). *Uso de Carbón Activado Granular (CAG) en un biofiltro para el tratamiento de efluentes acuícolas*.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. 6ta.
- Azuaje, M., y Rhené, A. (2006). *Diseño, Construcción y Evaluación preliminar de un Sistema de Reactor Biológico Sevuencial a escala*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Bautista, P., Mohedano, A., Casas, J., Zazo, J., & Rodriguez, J. (2008). An overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 83(10), 1323-1338.
- Benavides, D., & Benavides, A. (2011). Tratamiento foto-catalítico de aguas residuales generadas en laboratorios con presencia del indicador verde de bromocresol. *Revista Lasallista de investigación*, 8(1), 28-41.



- Berrio L., Beltrán O., Agudelo E. y Cardona S. (2012). Sistemas de tratamiento para residuos líquidos generados en laboratorios de análisis químico. *Revista Gestión y Ambiente*. 15(3), pp. 113-124.
- Bravo, K. y Garzón, A. (2017). *Eficiencia del carbón activado procedente del residuo agroindustrial de coco (Cocos nucifera) para remoción de contaminantes en agua*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador.
- Campos, M., Beltrán, M., Fuentes, N. & Moreno, G. (2018). Huevos de helmintos como indicadores de contaminación de origen fecal en aguas de riego agrícola, biosólidos, suelos y pastos. *Biomédica: Revista del Instituto Nacional de Salud*, 38(1).
- Chagoya, E. (2008). *Métodos y técnicas de investigación*. Gestipolis: <https://www.gestipolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion>.
- De Mattos, I., Antonelli, K., Braz, A. y Fernandes, J. (2003). Peróxido de Hidrogênio: Importância e Determinação. *Química Nova*, 26(3), 373-380.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Universidad de San Simón.
- Domos, A. (2019). *Los Efluentes Industriales, Clasificación y Tratamiento*. México. Recuperado de <https://www.domosagua.com/blog/efluentes-industriales>

Enríquez, F. (2013). *Comportamiento del Hidróxido de Sodio y Potasio en función de la humedad y temperatura ambiental*.

Espigares, M. y Pérez, J. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada.

Espinal, G. (2017). *Eficiencia del carbón activado a base de cáscara de coco en el tratamiento de aguas residuales domesticas en el AA. HH. 10 de octubre, distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, año 2017* (tesis de pre grado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

Florencia, E. (2015). *Diseño de una instalación para tratar un agua residual textil combinando tratamiento físico-químico y oxidación avanzada* (tesis de pre grado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Flores J., Caballero M. y Moreira M. (2009). El laboratorio en la enseñanza de las ciencias: Una visión integral en este complejo ambiente de aprendizaje. *Revista de Investigación*, (33), 75-111.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-29142009000300005&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142009000300005&lng=es&tlng=es).

Fondo Nacional Del Ambiente- Perú. (2010). Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú. p. 12 Disponible en:  
[http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/Oportunidades\\_Mejoras\\_Ambientales.pdf](http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf)

- Franco, J., Ávila, Ó. & Ospina, L. (2013). *Remoción de contaminantes en aguas residuales industriales empleando carbón activado de pino pátula*. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 10(1), 42-49.
- García, K. (2017). *Estimación experimental en condiciones de laboratorio de las concentraciones óptimas de fenton* (tesis de pre grado). Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador.
- Hernández, M., Otero, A., Falcón, J. y Yperman, Y. (2017). Physiochemical Characteristic of Activated Carbon of Coconut Shell Modified with HNO<sub>3</sub>. *Revista Cubana de Química*, 29(1), 26-38.
- Hernández-Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación sexta edición*. México: McGraw-Hill
- Hilleboe, H. (1991). Manual de tratamiento de agua; México; *Editorial Limusa*; pp 84 – 101.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Censo 2017: población, hogar y vivienda. *SEMANA*. <https://semanaeconomica.com/article/sectores-y-empresas/educacion/308388-censo-2017-poblacion-con-educacion-superior-subio-40-en-diez-anos/>
- Kaper, J., Nataro, J. y Mobley, H. (2004). *Escherichia coli patógena*. *Nature revisa la microbiología*, 2 (2), 123-140.
- Kiwi, J., Pulgarin, C., Peringer, P. y Gratzel, M. (1993). Beneficial effects of homogeneous photo-Fenton pretreatment upon the biodegradation of

anthraquinone sulfonate in waste water treatment. *Applied Catalysis B Environmental*. 3(1), 85-99.

Luna, D., González, A., Gordon, M. & Martín, N. (2007). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. *Contactos*, 64(10), 39-48.

Marín, R. (2012). Procesos fisicoquímicos en depuración de aguas. Ediciones Díaz de Santos.

Martínez, S. (1999). Parámetros de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales. México: *Edit. Universidad Autónoma Metropolitana*.

Méndez, R., Pietrogiovanna, J., Santos, B., Sauri, M., Giacomán, G. y Castillo, E. (2010). Determinación de la dosis óptima de reactivo fenton en un tratamiento de lixiviados por fenton-adsorción. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 26(3), pp. 211-220.

Meoño, F., Taranco, C. & Olivares, Y. (2016). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y hacer*, 2(2), 8-25.

Ministerio del Ambiente (2010). Decreto supremo N° 003-2010-MINAM. Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Publicada en *El Peruano*, 17 de marzo de 2010. Perú.

Ministerio del Ambiente (2017). Decreto supremo N° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Publicada en *El Peruano*, 7 de junio de 2017. Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2013). Resolución ministerial N° 004-2013-VIVIENDA. Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, 24 de octubre de 2013. Perú.

Morales, C., & López-Nevot, M. A. (2006). Efectos de la radiación ultravioleta (UV) en la inducción de mutaciones de p53 en tumores de piel. *Oncología (Barcelona)*, 29(7), 25-32.

Muruganandham, M., Suri, R., Jafari, Sh., Sillanpää, M., Lee, G., Wu, J. y Swaminathan, M. (2014). Recent Developments in Homogeneous Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment. *International Journal of Photoenergy*, 1-21.

Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J. y Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. Ediciones de la U.

Organismo Supervisor de Fiscalización Ambiental (2014). Informe de fiscalización ambiental en aguas residuales. Hecho en *el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-05991*. [http://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)

Ortiz, J. y Aguila, L. (1997). La depuración biológica de efluentes industriales. *Ingeniería Química*, (29) 147-153.

- Osorio, F., Torres, J. y Sánchez, M. (2010). Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Peña, E. (2007). Calidad de agua, trabajo de investigación oxígeno disuelto. Escuela superior Politécnica del Litoral.  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Prujel, E. (2010). Impacto de las políticas ambientales en el desarrollo económico y condiciones de vida dignas para los habitantes: El agua como elemento de vitalidad en el desarrollo del ser humano. *Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales*, 6(1), 181.
- Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona, España: Reverté.
- Ramos A., Espinosa Ll., López T. y Pellón A. (2005). Tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria de medicamentos. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, (36), 39-43.
- Ramos, K. y Jiménez, Y. (2016). Degradación de desechos tóxicos provenientes de laboratorios universitarios con foto-fenton solar usando diseño de experimentos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 32(1), pp. 119-131.
- Reinoso, F. (2005) "Carbón activado: estructura, preparación y aplicaciones", *Revista Uniandes*, Colombia, 66–69.

- Rigola, M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*.  
Barcelona, España: MARCOMBO, S. A.
- Rincón, J., Rincón, S., Guevara, P., Ballén, D., Morales, J. & Monroy, N. (2015).  
Producción de carbón activado mediante métodos físicos a partir de carbón de  
El Cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes  
de tintorerías. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas  
y Naturales*, 39(151), pp. 171-175.
- Robles, F., Rojo, J. & Bas, M. (2011). Tratamiento de aguas para la eliminación de  
microorganismos y agentes contaminantes.: Aplicación de procesos industriales  
a la reutilización de aguas residuales. Ediciones Díaz de Santos.
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S. & Sanz, J. (2006). *Tratamientos  
avanzados de aguas residuales industriales*. Informe de Vigilancia Tecnológica,  
63-94.
- Roldán, A. (2018). El costo de estudiar en la universidad nacional “Santiago Antúnez de  
Mayolo” y sus efectos en la economía familiar, 2017.
- Roque, D. (2019). Obtención de sulfato de hierro (II) heptahidratado y monohidratado  
partiendo de residuos de acero.
- Rosales, R. (2017). *Reducción del contenido de colorantes en efluentes de la industria  
textil usando el proceso fenton, Zarate, 2017* (tesis de pregrado). Universidad  
Cesar Vallejo, Lima, Perú.

- Rossi, G. (2018). Evaluación de la gestión de residuos químicos generados en laboratorios del Departamento de Química.
- Ruiz, L. y Orbegoso, K. (2019). *Eficiencia del carbón activado obtenido a partir del endocarpo de coco (Cocos nucifera) y semilla de aguaje (Mauritia flexuosa), en la remoción de la DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales domésticas en el distrito de Habana – Moyobamba, 2018* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, Perú.
- Salas, G. (2010). Tratamiento por oxidación avanzada (reacción fenton) de aguas residuales de la industria textil. *Rev. Per. Quim. Ing. Quim*, 13(1), 30-38.
- Salas H. y Flórez A. (2001). *Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales* (3). USA: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaca/e/fulltext/resejec/resejec.pdf>
- Sánchez, R. y García, K. (2018). *Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales*. Revista de Ciencias de la Vida, 27(1), 103-111
- Sette, R. (2009). *Tratamiento de aguas residuales*. Madrid, España: Reverté.
- Silva, A., Monge, S. B., Bengoa, C., Torres-Pinto, A. & Ribeiro, R. S. (2018). Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales.



Soledad, B. (2009). *Aplicaciones en Venezuela del tratamiento de aguas residuales y su utilización.*

[https://books.google.com.pe/books?id=G4uQAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=G4uQAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Tejada, C., Quiñonez, E. & Peña, M. (2014). Contaminantes emergentes en aguas: metabolitos de fármacos. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 10(1), 80-101.

Valente, J., Padilha, P. y Silva, A. (2018). Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu-SP. *Eclética Química Journal*, 22(1), 1-11.

## X. ANEXOS




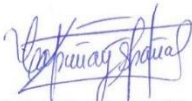
### Anexo 1. Matriz de Consistencia

#### “SISTEMA FOTO-FENTON Y ADSORCIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL LABORATORIO DE QUÍMICA ORGÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNAC”

| PROBLEMA   | OBJETIVOS  | HIPÓTESIS  | VARIABLES                          | DIMENSIONES                                 | INDICADORES                                   | ESCALA DE MEDICIÓN |
|--|--|--|------------------------------------|---|---|--------------------|
| PROBLEMA GENERAL   | OBJETIVO GENERAL   | HIPOTESIS GENERAL  | VARIABLE INDEPENDIENTE             | DIMENSIÓN                                   | INDICADOR                                     | UNIDAD DE MEDIDA   |
| ¿En qué medida el sistema de foto-Fenton y adsorción mejorará la calidad de las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao?   | Determinar la eficiencia del sistema de foto-Fenton y adsorción para mejorar la calidad de las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.  | El sistema de foto-Fenton y adsorción mejora eficientemente la calidad de las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.   | Sistema de foto-Fenton y adsorción | Dosis de peróxido de hidrógeno (10, 15, 20) | Dosis óptima de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | mL/L               |
|  |  |  |                                    | Dosis de sulfato ferroso (100, 150, 200)    | Dosis óptima de FeSO <sub>4</sub>             | mg/L               |
| PROBLEMAS ESPECÍFICOS  | OBJETIVOS ESPECÍFICOS  | HIPOTESIS ESPECÍFICOS  | VARIABLE DEPENDIENTE               | DIMENSIÓN                                   | INDICADOR                                     | UNIDAD DE MEDIDA   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es la característica del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao?</li> <li>• ¿Cuánto es la dosis óptima de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y sulfato ferroso (FeSO<sub>4</sub>) en el proceso de foto-Fenton para reducir la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao?</li> <li>• ¿Cuánto es la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao después del proceso de adsorción?</li> <li>• ¿Cuál es la calidad del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao tratada mediante un sistema de tratamiento de foto-Fenton y adsorción?</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar las características del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.</li> <li>• Determinar la dosis óptima de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y sulfato ferroso (FeSO<sub>4</sub>) en el proceso de foto-Fenton para reducir la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.</li> <li>• Determinar la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao después del proceso de adsorción.</li> <li>• Determinar la calidad del agua residual del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao después del sistema de tratamiento de foto-Fenton y adsorción.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao contiene un alto contenido de DQO, DBO<sub>5</sub>, aceites y grasas.</li> <li>• La dosis óptima de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y sulfato ferroso (FeSO<sub>4</sub>) en el proceso de foto-Fenton permite reducir eficientemente la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.</li> <li>• El proceso de adsorción permite remover más del 60% de la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.</li> <li>• El sistema de tratamiento de foto-Fenton y adsorción remueve eficientemente los contaminantes de las aguas residuales proveniente del laboratorio de química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.</li> </ul> | Calidad de las aguas residuales    | Demanda química de oxígeno (DQO)            | Concentración de la DQO                       | mg/L               |

## Anexo 2. Instrumento Validado

- Informe de Análisis de caracterización del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la FIQ-UNAC antes y después del tratamiento.

|    | <b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR<br/>EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN<br/>INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002</b>   | <br>INACAL<br>DA - Perú<br>Laboratorio de Ensayo<br>Acreditado<br>Registro N° LE - 002   |                      |    |    |    |
|---|---|---|----------------------|----|----|----|
| <b>INFORME DE ENSAYO<br/>MA2120301 Rev. 0</b>   |   |   |                      |    |    |    |
| <b>ROBLES KQUERARE WILSON</b><br>SAN PEDRO DE CARABAYLLO MZ AG LOTE 8<br>ENV / LB-348309-002<br>PROCEDENCIA : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO (UNAC)  |   |   |                      |    |    |    |
| Fecha de Recepción SGS : 12-07-2021<br>Fecha de Ejecución : Del 12-07-2021 al 19-07-2021<br>Muestreo Realizado Por : CLIENTE  |   |   |                      |    |    |    |
| <table border="1"><thead><tr><th>Estación de Muestreo</th></tr></thead><tbody><tr><td>T0</td></tr><tr><td>T1</td></tr><tr><td>T2</td></tr></tbody></table>                                    |   |   | Estación de Muestreo | T0 | T1 | T2 |
| Estación de Muestreo  |   |   |                      |    |    |    |
| T0  |   |   |                      |    |    |    |
| T1  |   |   |                      |    |    |    |
| T2  |   |   |                      |    |    |    |
| Emitido por SGS del Perú S.A.C.<br>Impreso el 19/07/2021  |   |   |                      |    |    |    |
| <br>Gloria A. Huaman Maco<br>C.Q.P. 691<br>Analista Senior de Laboratorio                                  | <br>Elizabeth V. Capuñay España<br>C.B.P 8508<br>Coordinador de Laboratorio Microbiología |   |                      |    |    |    |
| "Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC" |   |   |                      |    |    |    |
| SGS del Perú S.A.C.   | Av. Elmer Faucett 3348<br>Ernesto Gunther 275<br>Jr. Arnaldo Márquez  | Callao 1<br>Parque Industrial<br>Ba. San Antonio<br>Callao t (511) 517 1900<br>Arequipa t (054) 213 506<br>Cajamarca t (076) 366 092<br>www.sgs.com<br>Pe.servicios@sgs.com |                      |    |    |    |
| Miembro del Grupo SGS   |   |   |                      |    |    |    |



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO  
MA2120301 Rev. 0

| IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA                           |                     |            |       |       | T0                        | T1                        |
|---|---------------------|------------|-------|-------|---------------------------|---------------------------|
| FECHA DE MUESTREO                                   |                     |            |       |       | 8665795N / 269516E        | 8665795N / 269516E        |
| HORA DE MUESTREO                                    |                     |            |       |       | 12/07/2021                | 12/07/2021                |
| CATEGORIA   |                     |            |       |       | 08:00:00                  | 11:00:00                  |
| SUB CATEGORIA                                       |                     |            |       |       | AGUA RESIDUAL             | AGUA RESIDUAL             |
|   |                     |            |       |       | AGUA RESIDUAL             | AGUA RESIDUAL             |
|   |                     |            |       |       | INDUSTRIAL                | INDUSTRIAL                |
| Parámetro   | Referencia          | Unidad     | LD    | LC    | Resultado ± Incertidumbre | Resultado ± Incertidumbre |
| <b>Análisis Generales</b>                           |                     |            |       |       |                           |                           |
| Color Verdadero                                     | EW_APHA2120C_DIS    | UC         | 0.6   | 1.0   | 10.0                      |                           |
| Potencial de Hidrógeno                              | EW_APHA4500HB       | pH         | --    | --    | 2.88 *                    |                           |
| Oxígeno disuelto                                    | EW_APHA4500OC       | mg DO/L    | 0.3   | 1.0   | <1.0 (*)                  |                           |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno                       | EW_APHA5210B        | mg/L       | 1.0   | 2.6   | 1.052 ± 221.0             |                           |
| Demanda Química de Oxígeno                          | EW_APHA5220D        | mgO2/L     | 1.8   | 4.5   | 10.089 ± 504.5            | 53.9 ± 1.4                |
| Acetatos y Grasas                                   | EW_ASTMD3921        | mg/L       | 0.2   | 0.4   | 629.1 ± 138.4             |                           |
| S.A.A.M. (Detergentes)                              | EW_ISO16265         | mg/L       | 0.020 | 0.050 | 1.341 ± 0.389             |                           |
| <b>Análisis Microbiológicos</b>                     |                     |            |       |       |                           |                           |
| Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes  | EW_APHA9221E_NMP_CX | NMP/100 mL | --    | --    | <1.8                      |                           |
| Numeración de Escherichia coli                      | EW_APHA9221F_CX     | NMP/100 mL | --    | --    | <1.8                      |                           |
| Detección Y/O Cuantificación De Huevos De Helminfos | EW_SGS_MAC04_CX     | Huevos/L   | --    | --    | 0                         |                           |
| <b>Datos de Campo proporcionados por el Cliente</b> |                     |            |       |       |                           |                           |
| Temperatura   | EW_OPERATIONS       | °C         | --    | --    | 20.0 *                    |                           |

| IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA                           |                     |            |       |       | T2                        |
|---|---------------------|------------|-------|-------|---------------------------|
| FECHA DE MUESTREO                                   |                     |            |       |       | 8665795N / 269516E        |
| HORA DE MUESTREO                                    |                     |            |       |       | 12/07/2021                |
| CATEGORIA   |                     |            |       |       | 14:00:00                  |
| SUB CATEGORIA                                       |                     |            |       |       | AGUA RESIDUAL             |
|   |                     |            |       |       | AGUA RESIDUAL             |
|   |                     |            |       |       | INDUSTRIAL                |
| Parámetro   | Referencia          | Unidad     | LD    | LC    | Resultado ± Incertidumbre |
| <b>Análisis Generales</b>                           |                     |            |       |       |                           |
| Color Verdadero                                     | EW_APHA2120C_DIS    | UC         | 0.6   | 1.0   | <1.0                      |
| Potencial de Hidrógeno                              | EW_APHA4500HB       | pH         | --    | --    | 7.97 *                    |
| Oxígeno disuelto                                    | EW_APHA4500OC       | mg DO/L    | 0.3   | 1.0   | 8.5 ± 0.4                 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno                       | EW_APHA5210B        | mg/L       | 1.0   | 2.6   | 4.1 ± 0.9                 |
| Demanda Química de Oxígeno                          | EW_APHA5220D        | mgO2/L     | 1.8   | 4.5   | 12.3 ± 1.2                |
| Acetatos y Grasas                                   | EW_ASTMD3921        | mg/L       | 0.2   | 0.4   | <0.4                      |
| S.A.A.M. (Detergentes)                              | EW_ISO16265         | mg/L       | 0.020 | 0.050 | <0.050                    |
| <b>Análisis Microbiológicos</b>                     |                     |            |       |       |                           |
| Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes  | EW_APHA9221E_NMP_CX | NMP/100 mL | --    | --    | <1.8                      |
| Numeración de Escherichia coli                      | EW_APHA9221F_CX     | NMP/100 mL | --    | --    | <1.8                      |
| Detección Y/O Cuantificación De Huevos De Helminfos | EW_SGS_MAC04_CX     | Huevos/L   | --    | --    | 0                         |
| <b>Datos de Campo proporcionados por el Cliente</b> |                     |            |       |       |                           |
| Temperatura   | EW_OPERATIONS       | °C         | --    | --    | 19.0 *                    |

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

(\*\*) Los resultados del ensayo no se encuentran dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL - DA debido a que la muestra no es idónea para el ensayo solicitado. Los resultados se emiten a solicitud del cliente.

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348  
Ernesto Gunther 275  
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1  
Parque Industrial  
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900  
Arequipa t (054) 213 506  
Cajamarca t (076) 366 092

www.sgs.com  
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

## INFORME DE ENSAYO MA2120301 Rev. 0

### CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación  
MB: Blanco del proceso.  
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.  
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.  
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.  
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

| Parámetro                     | Unidad              | LC    | MB     | DUP %RPD | LCS %Recovery | MS %Recovery | MSD %RPD |
|-------------------------------|---------------------|-------|--------|----------|---------------|--------------|----------|
| S.A.A.M (Detergentes)         | mg/L                | 0.050 | <0.050 |          | 99 - 101%     | 90 - 96%     | 14 - 17% |
| Aceites y Grasas              | mg/L                | 0.4   | <0.4   | 0%       | 93 - 97%      |              |          |
| Oxígeno disuelto              | mg DO/L             | 1.0   |        | 0%       | 100%          |              |          |
| Potencial de Hidrógeno        | pH                  | --    |        | 0%       | 100%          |              |          |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/L                | 2.6   | <2.6   |          | 103 - 106%    |              |          |
| Demanda Química de Oxígeno    | mgO <sub>2</sub> /L | 4.5   | <4.5   |          | 104 - 106%    | 99%          | 5%       |
| Color Verdadero               | UC                  | 1.0   | <1.0   | 0%       | 99%           |              |          |

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348  
Ernesto Gunther 275  
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1  
Parque Industrial  
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900  
Arequipa t (054) 213 506  
Cajamarca t (076) 366 092

Página 3 de 4

www.sgs.pe  
Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N°LE - 002

**INFORME DE ENSAYO  
MA2120301 Rev. 0**

**REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO**

| Referencia          | Sede      | Parámetro   | Método de Ensayo   |
|---------------------|-----------|---|--|
| EW_APHA2120C_DIS    | Callao    | Color Verdadero                                     | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed.: 2017. Color. Spectrophotometric-Single-Wavelength Method (Proposed)   |
| EW_APHA4500HB       | Callao    | Potencial de Hidrógeno                              | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+B; 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.  |
| EW_APHA4500OC       | Callao    | Oxígeno Disuelto                                    | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O-C; 23rd Ed.: 2017. Oxygen (Dissolved): Azide Modification  |
| EW_APHA5210B        | Callao    | Demanda Bioquímica de Oxígeno                       | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B ;23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test  |
| EW_APHA5220D        | Callao    | Demanda Química de Oxígeno                          | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed: 2017. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method   |
| EW_APHA9221E_NMP_CX | Cajamarca | Numeración de Coliformes Fecales o Termotolerantes  | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E.1, 23rd Ed, 2017; Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).                                   |
| EW_APHA9221F_CX     | Cajamarca | Numeración de Escherichia coli (EC-MUG)             | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F. Item 1, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Escherichia coli test (EC-MUG Medium). |
| EW_ASTMD3921        | Callao    | Aceites y Grasas                                    | ASTM D3921 - 96 (Reapproved 2011). Standard Test Method for Oil and Grease and Petroleum Hydrocarbons in Water -(Validado)2014   |
| EW_ISO16265         | Callao    | S.A.A.M.(Detergentes)                               | ISO 16265; 1st Ed: 2009. Determination of Methylene blue active substances (MBAS) index-Method using CFA (validado) 2014   |
| EW_SGS_MAC04_CX     | Cajamarca | Detección y/o Cuantificación de Huevos de Helmintos | Manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio. O.M.S. 1997. Item 2.1 Método Baillenger modificado (VALIDADO)2014.  |

**"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"**

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx> Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fé pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS de Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348  
Ernesto Gunther 275  
Jr. Arnaldo Márquez

Callao 1  
Parque Industrial  
Ba. San Antonio

Callao t (511) 517 1900  
Arequipa t (054) 213 506  
Cajamarca t (076) 366 092

Página 4 de 4

[www.sgs.pe](http://www.sgs.pe)

Pe.servicios@sgs.com

Miembro del Grupo SGS



### Anexo 3. Registro Fotográfico de la Metodología Experimental

- Preparación de hidróxido de sodio al 50% de concentración.



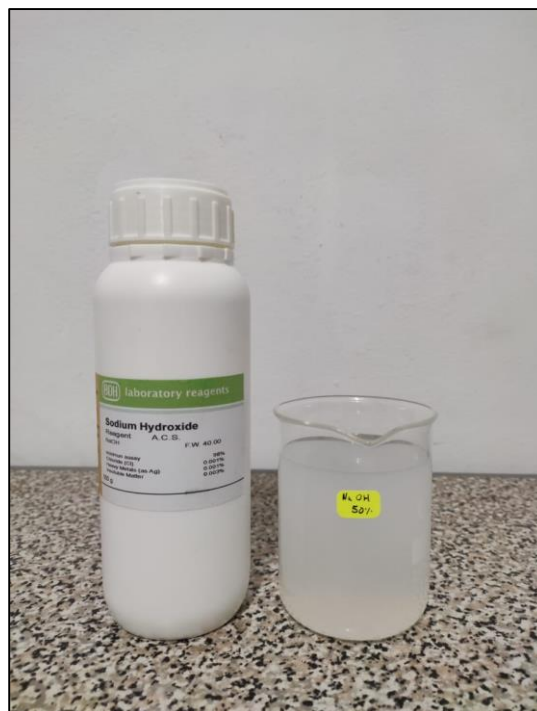
i. Hidróxido de sodio (NaOH).



ii. Pesado de hidróxido de sodio.

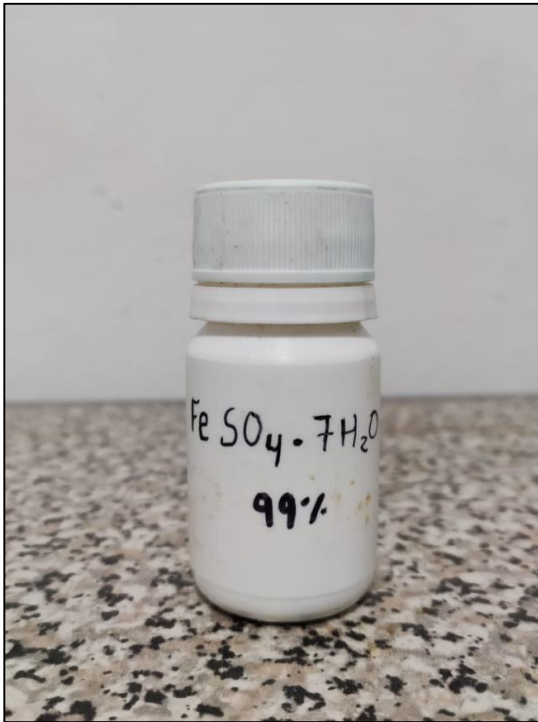


iii. Agregado de agua destilada 50%.



iv. Preparación de hidróxido de sodio al 50% de concentración.

– Preparación de sulfato ferroso.



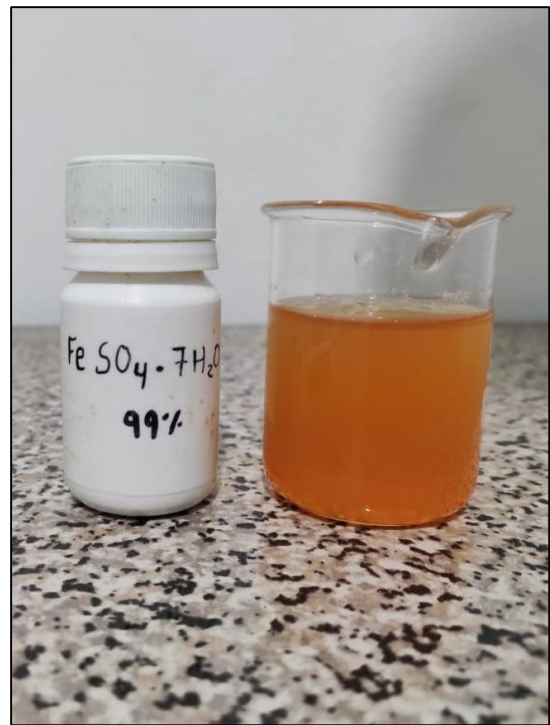
i. Sulfato ferroso heptahidratado  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .



ii. Pesado de Sulfato ferroso heptahidratado.



iii. Pesado aproximado de 100 mg/L, 150 mg/L y 200 mg/L de  $\text{FeSO}_4$ .



iv. Dilución de 1w/1V de sulfato ferroso.



- Medición de peróxido de hidrógeno.



i. Peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ).



ii. Medición de  $H_2O_2$  de 10 mL/L, 15 mL/L y 20 mL/L.

- Pesado carbón activado de cáscara de coco.



i. Carbón activado de cáscara de coco.



ii. Pesado de 500 g carbón activado de cáscara de coco.

- Análisis de la demanda química de oxígeno (DQO).



i. Vial con reactivos para determinar DQO.



ii. Agregado de 2,5 mL/L de agua residual de cada muestra tratada.



iii. Digestión de los viales a 150 °C por 2 horas.



iv. Medición de la DQO por el colorímetro.

- Montaje del sistema autónomo de foto-Fenton y adsorción.



i. Sistema fotovoltaico (panel solar de 50 W, controlador de 10 A, Batería de 50 A y un inversor de 600 W).



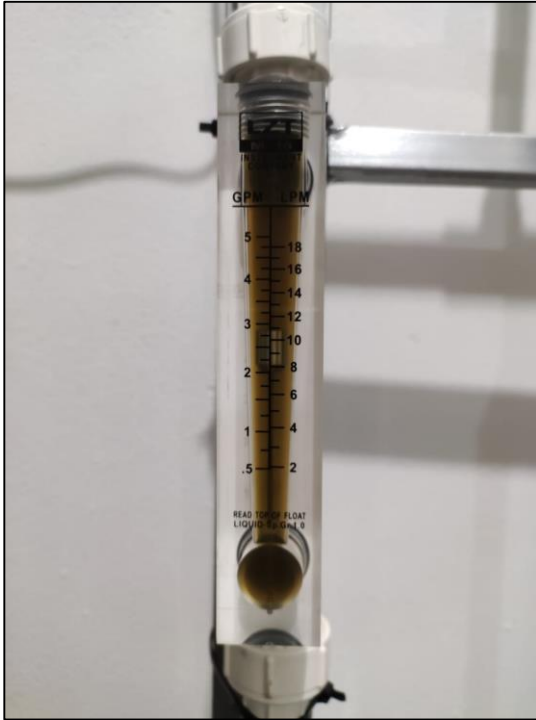
ii. Montaje del sistema foto-Fenton y adsorción.



iii. Prototipo autónomo de foto-Fenton y adsorción en funcionamiento.



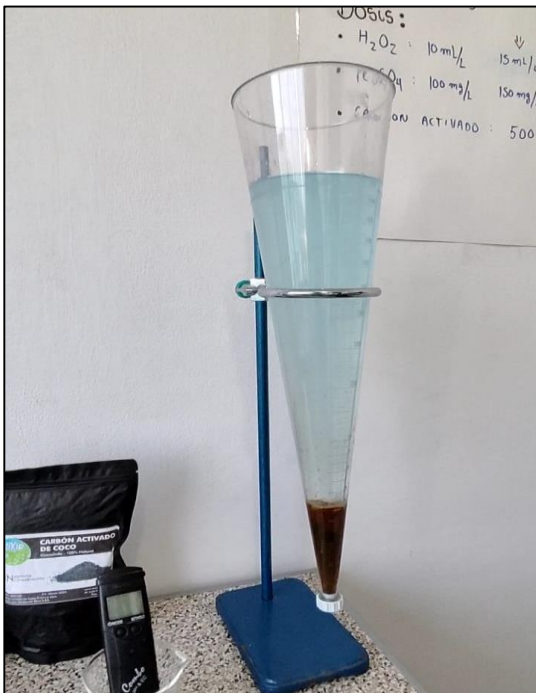
- Medición de flujo de tratamiento y cuantificación de lodos generados.



i. Medición de 8 LPM de flujo de tratamiento.



ii. Generación de lodos después de la adición de hidróxido de sodio.



iii. Generación de 6 mL/L de lodos que representa el 6% de lodos generados.



iv. Aspecto del agua residual, agua tratada después de foto-fenton y después de adsorción.

- Análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua residual.



- i. Caracterización del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la FIQ-UNAC antes del tratamiento por foto-Fenton y adsorción.



- ii. Caracterización del agua residual proveniente del laboratorio de química orgánica de la FIQ-UNAC después del tratamiento por foto-Fenton y adsorción.

#### Anexo 4. Costo de Tratamiento del Agua Residual

Para hallar el gasto operativo (OPEX) o también denominado costo de tratamiento del agua residual, se debe calcular los gastos de insumos químicos utilizados; el gasto por energía es nulo ya que por medio del sistema fotovoltaico proporciona la energía requerida al sistema de tratamiento. Se tienen las dosis suministradas de insumos:

- Dosis de sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ): 150 mg/L
- Dosis de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ): 15 mL/L, siendo la densidad al 50% de concentración de 1.2 g/mL.

$$\text{H}_2\text{O}_2 \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{15 \frac{\text{ml}}{\text{L}} \times 1.2 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 50\%}{\left( \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \right)} = 9000 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

- Dosis de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ): 5 mL/L, siendo la densidad al 50% de concentración de 1.52 g/mL.

$$\text{NaOH} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{5 \frac{\text{ml}}{\text{L}} \times 1.52 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 50\%}{\left( \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \right)} = 3800 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

- Cantidad de carbón activado de cáscara de coco según Bravo y Garzón (2017), indican que 100 g de carbón activado puede filtrar 10 L de agua residual hasta llegar a la saturación del filtro (capacidad máxima de adsorción) o vida útil del carbón; siendo la dosis o cantidad utilizado:  $10^4$  mg/L

Para tratar 1 L de agua residual el costo es de S/ 1.14, como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14  
Costo de tratamiento del agua residual.

| Insumos  | Costo unitario (Soles/kg) | Dosis (mg/L) | Costo total (Soles/L) |
|--|---------------------------|--------------|-----------------------|
| Sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ )              | 120                       | 150          | 0.02                  |
| Peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) | 45                        | 9000         | 0.41                  |
| Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ )             | 78                        | 3800         | 0.30                  |
| Carbón activado de cáscara de coco               | 42                        | 10000        | 0.42                  |
| <b>Total</b>                                     |                           | <b>S/</b>    | <b>1.14</b>           |

## Anexo 5. Fichas Técnicas de Reactivos y Equipos Utilizados

- Ficha técnica de hidróxido de sodio al 98% de pureza.

### Sodium hydroxide $\geq$ 98% AR<sup>®</sup> ACS, Macron Fine Chemicals<sup>™</sup>

Supplier: Avantor





Danger

Synonyms: Caustic soda Lye Sodium hydrate Soda lye

Management of Change (MOC) category = N

AR - The standard Macron Fine Chemicals<sup>™</sup> grade of analytical reagents; suitable for laboratory and general use.

Formula: NaOH

MW: 40 g/mol

Boiling Pt: 1390 °C (1013 hPa)

Melting Pt: 323 °C

Density: 2.13 g/cm<sup>3</sup> (20 °C)

Storage Temperature: Ambient

MDL Number: MFCD00003548

CAS Number: 1310-73-2

EINECS: 215-185-5

UN: 1823

ADR: 8,II

REACH: 01-2119457892-27

Merck Index: 14,08627

| Specification Test Results                                 |             |
|--|-------------|
| Meets ACS Reagent Chemical Requirements                    |             |
| For Laboratory, Research, or Manufacturing Use             |             |
| Assay (NaOH) (by acidimetry)                               | ≥98 %       |
| Identification   | Passes Test |
| Calcium (Ca)   | ≤0.005 %    |
| Chloride (Cl)  | ≤0.005 %    |
| Copper (Cu)  | ≤0.001 %    |
| Heavy Metals (as Ag)                                       | ≤0.001 %    |
| Insoluble Matter   | ≤0.003 %    |
| Iron (Fe)  | ≤0.0003 %   |
| ACS - Magnesium (Mg)                                       | ≤0.002 %    |
| Mercury (Hg)   | ≤0.1 ppm    |
| Nickel (Ni)  | ≤0.0005 %   |
| Nitrogen Compounds (as N)                                  | ≤0.0003 %   |
| Phosphate (PO <sub>4</sub> )                               | ≤0.0002 %   |
| Potassium (K)  | ≤0.02 %     |
| Sodium Carbonate (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )        | ≤0.4 %      |
| ACS - Sulfate (SO <sub>4</sub> )                           | ≤0.003 %    |
| Meets Reagent Specifications for testing USP/NF monographs |             |
| Appearance (white hygroscopic pellets)                     |             |

- Ficha técnica de sulfato ferroso heptahidratado al 99% de pureza.

## Iron(II) sulfate heptahydrate 99.0-104.5% (by $\text{KMnO}_4$ titration), BAKER ANALYZED® ACS, J.T. Baker®

Supplier: Avantor



Warning

Synonyms: Ferrous sulphate heptahydrate, Iron vitriol, Ferrous sulfate heptahydrate

Management of Change (MOC) category = N

Granular. Lot analysis on label.

Formula:  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   
 MW: 278.02 g/mol  
 Melting Pt: 64 °C  
 Density: 1.9 g/cm<sup>3</sup> (20 °C)  
 Storage Temperature: Ambient

MDL Number: MFCD00149719  
 CAS Number: 7782-63-0  
 EINECS: 231-753-5  
 Merck Index: 13,04091

### Specification Test Results

|   |                |
|---|----------------|
| Meets ACS Reagent Chemical Requirements                                       |                |
| For Laboratory, Research, or Manufacturing Use                                |                |
| IMPORTANT: Store below 24°C (75°F).   |                |
| Assay ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (by $\text{KMnO}_4$ titm) | 99.0 - 104.5 % |
| Appearance  | Passes Test    |
| Insoluble Matter  | ≤0.01 %        |
| pH of 5% Solution at 25°C   | 3.0 - 5.0      |
| Chloride (Cl)   | ≤0.001 %       |
| Phosphate ( $\text{PO}_4$ )   | ≤0.001 %       |
| Calcium (Ca)  | ≤0.005 %       |
| Copper (Cu)   | ≤0.005 %       |
| Ferric Ion ( $\text{Fe}^{3+}$ )   | ≤0.1 %         |
| ACS - Magnesium (Mg)  | ≤0.002 %       |
| Manganese (Mn)  | ≤0.05 %        |
| Potassium (K)   | ≤0.002 %       |
| Sodium (Na)   | ≤0.02 %        |
| Zinc (Zn)   | ≤0.005 %       |
| Fluctuating temperatures cause product oxidation.                             |                |
| Meets Reagent Specifications for testing USP/NF monographs                    |                |



– Ficha técnica de peróxido de hidrógeno al 50% de concentración.

**Hoja de Datos de Seguridad (HDS)**  
**Peróxido de Hidrógeno 50% Estándar**

Teléfono de Emergencia:  
 (55) 57 76 39 33  
 (55) 57 76 34 33  
 SETIQ : 01 800 00 214 00

RANGO DE RIESGO  
 4.-EXTREMO  
 3.-ALTO  
 2.-MODERADO  
 1.-LIGERO  
 0.-INSIGNIFICANTE



|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| Datos Generales del Responsable de la Sustancia Química | <b>1.- Nombre y razón social de quien elabora la HDS:</b><br>Electro Química Mexicana, S.A. de C.V.   |  |  |
|   | <b>2.- Datos Generales del Fabricante o Importador de la Sustancia Química Peligrosa</b><br>Av. Industria #9, Industrial Cerro Gordo, 55420 Ecatepec de Morelos, Estado de México |  |  |

|   |                             |   |   |
|---|-----------------------------|---|---|
| Datos Generales de la Sustancia Química Peligrosa | <b>1.- Nombre Comercial</b> | Peróxido de Hidrógeno al 50% estándar   | <b>Formula:</b> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> |
|   | <b>2.- Nombre Químico</b>   | Peróxido de Hidrógeno   |   |
|   | <b>3.- Familia Química</b>  | Peróxigenados   |   |
|   | <b>4.-Sinónimos</b>         | Agua Oxigenada, dióxido de hidrógeno, peróxido.   |   |
|   | <b>5.-Descripción</b>       | Líquido cristalino, incoloro, miscible en agua, en cualquier cantidad conocida como peróxido de hidrógeno en alta concentración |   |

|  |  |                           |                     |                            |     |
|--|--|---------------------------|---------------------|----------------------------|-----|
| Identificación de la Sustancia Química Peligrosa | <b>1.- % y Nombre de los componentes</b> | 50% Peróxido de Hidrógeno | 50% agua            | <b>6.- Grado de Riesgo</b> |     |
|  | <b>2.- No. CAS</b>                       | 7722-84-1                 | 7732-18-5           | Corrosivo                  | *** |
|  | <b>3.- No. ONU</b>                       | 2014                      | N/A                 | Reactivo                   |     |
|  | <b>4.-Concentración (ppm)</b>            | LMPE-PPT                  | 1                   | Explosivo                  |     |
|  |  | LMPE-CT                   | 2                   | Toxico                     |     |
|  |  | LMPE-P                    | 3                   | Inflamable                 |     |
| <b>5.- IPVS (IDLH) (ppm)</b>                     |  |                           | Biológico-Infecioso |                            |     |

|                             |  |               |   |                                      |
|-----------------------------|--|---------------|---|--------------------------------------|
| Propiedades Físico Químicas | <b>1.- Temperatura de Ebullición @760 mm Hg</b>        | 114°C         | <b>9.-Temperatura de Fusión</b>         | (-52°C)                              |
|                             | <b>2.- Temperatura de Inflamación</b>                  | no-comb       | <b>10.-% de Volatilidad</b>             | 100                                  |
|                             | <b>3.-Temperatura de autoignición</b>                  | no-comb       | <b>11.-Peso Molecular</b>               | 34                                   |
|                             | <b>4.-Densidad Relativa (Agua=1)</b>                   | 1.19          | <b>12.- PH</b>                          | 1.1 a 1.6                            |
|                             | <b>5.-Densidad de vapor @20°C mmHg</b>                 | ND            | <b>13.- Presión de Vapor@20°C</b>       | 18.3 mmHg                            |
|                             | <b>6.- Velocidad de Evaporación (Butil Acetato =1)</b> | 1             | <b>14.-Estado físico, color y olor:</b> | líquido incoloro olor: No-disponible |
|                             | <b>7.- Solubilidad/ Reactividad un agua g/mL</b>       | 100 % soluble | <b>15.- Otros datos Relevantes:</b>     |                                      |
|                             | <b>8.-Límites de inflamabilidad o explosividad</b>     | superior: _   |   |                                      |
|                             |  | Inferior: _   |   |                                      |

Electro Química Mexicana, S.A. de C.V. Av. Industrias No. 9, Col. Industrial Cerro Gordo, Sta. Clara, Edo. de Méx.  
 Tel.:(55) 5776 34 33, 5776 40 50.

– Ficha técnica del carbón activado granular.



**HOJA TÉCNICA DEL PRODUCTO**  
**GRC- 20**  
**CARBONES GRANULARES ACTIVADOS**

**DESCRIPCIÓN:**

Los carbones granulares activados de Calgon tipo GRC son carbones activados de coco diseñados específicamente para operaciones de recuperación de oro. En los procesos Carbón en Lixiviación (CIL), Carbón en Pulpa (CIP) y en lixiviación en Pilas; es muy importante que el carbón utilizado proporcione un excelente performance en los procesos, mínimas pérdidas por atricción y problemas mínimos de mantenimiento.

La compañía Calgon Carbon Corporation desarrolló la familia de carbones GRC con la finalidad de que sean carbones con alto rendimiento y con altas actividades de extracción de oro. Su capacidad para obtener grandes cargas de oro y la facilidad con la cual se pueden descargar permiten a los procesadores de oro obtener la mayor producción posible a partir de minerales con altos ratios de plata/oro, minerales carbonosos y minerales que contienen otros metales que se acomplejan con el cianuro tales como cobre y níquel.

A través de los años, Calgon Carbon Corporation ha actualizado perennemente su proceso de fabricación para brindar productos de alta calidad. Se han añadido algunas fases al proceso de fabricación, lo que ha mejorado la resistencia del carbón a la abrasión y ha reducido su tendencia a adherirse a los tamices en los tanques de adsorción.

Los carbones GRC son pre-atricionados mediante un molino de atricción, resultando pérdidas muy bajas por la atricción durante las operaciones del proceso. Utilizar un carbón pre-atricionado significa que el cliente ya no deberá pagar por el carbón que, en el pasado, se perdía en la fase y/o proceso de pre-atricción. Lo más importante, es que el oro que es adsorbido en los finos no se pierde durante el proceso.

Con la finalidad de obtener un producto que tenga poca tendencia a adherirse a tamices con "plaquetas", los carbones CGA son procesados a través de un tamiz metálico en V y desempolvados.

Los carbones activados GRC están disponibles en tres calidades, cada una con diferentes rangos de tamaños de mallas, con la finalidad de cumplir con los requerimientos individuales de cada planta. Para todos los productos GRC, el límite de las partículas más pequeñas se ajusta especialmente para minimizar las pérdidas de carbón en los circuitos.

Un alto rendimiento consistente es asegurado de bolsa a bolsa y de envío a envío ya que los productos son fabricados para especificaciones que miden directamente la adsorción del oro. La capacidad de adsorción de oro se expresa como valor K y la cinética de adsorción, como valor R. Estos valores son determinados al someter a prueba soluciones de oro con concentraciones específicas apropiadas para la prueba.

**ENVASADO**

Bolsas anchas de alta resistencia de 500 Kg., (con un conducto en la parte inferior para vaciar fácilmente el carbón)  
Bolsas de papel (con bolsa interna de polietileno) de 25 kg.

**ALMACENAMIENTO**

Reno, NV y varios almacenes en el mundo brindan sus servicios a todas las principales regiones mineras.

**ESPECIFICACIONES**

| TIPO                                  | GRC – 20              |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Valor R, min. (6x12, 6x16)            | 0.08                  |
| Valor K, min. (6x12, 6x16)            | 30                    |
| Número de Dureza, min.                | 98                    |
| Número de Abrasión, min. (6x12, 6x16) | 98                    |
| % menor tamaño, máx.                  | 3                     |
| Densidad aparente, min. (g/ml)        | 0.47                  |
| % de contenido de ceniza, máx.        | 4                     |
| % de humedad, máx. (en embalaje)      | 4                     |
| Especificación de las plaquetas       |                       |
| Carbones malla 6x12, máx.             | 0.5%                  |
| Carbones malla 6x16, máx.             | 1%                    |
| Tamaños de mallas disponibles         | 6x12<br>6x16<br>12x30 |

**APLICACIONES**

Por lo general, el carbón activado es empleado para extraer oro de los minerales o los relaves, incluyendo minerales carbonosos que son refractarios a las técnicas convencionales de cianuración. Por la singularidad e individualidad de las operaciones de procesamiento de oro y las características del mineral, sólo se puede dar aquí una descripción general de las aplicaciones. Los representantes técnicos de ventas de Carbones Calgon, pueden asistirlo para determinar el mejor uso del carbón GRC para aplicaciones específicas.

Entre las aplicaciones de proceso en donde el carbón activado ha demostrado su efectividad de adsorción se encuentran:

- Carbón en Pulpa (CIP)
- Carbón en Lixiviación (CIL)
- Lixiviación en Pila
- Carbón en Pulpa (CIP) - La pulpa triturada, molida y lixiviada es mezclada con carbón activado que fluye a la pulpa en contracorriente en una serie de adsorbedores. Por su dureza superior, los carbones GRC muestran baja atricción durante su transporte, agitación y reactivación. La alta tasa y capacidad de adsorción de los carbones GRC permiten recuperaciones de oro tan altas como un 98%.
- Carbón en Lixiviación (CIL) - para minerales carbonosos
- La adsorción con carbón activado granular puede llegar a

recuperaciones de 97 - 98% de oro. Esto se compara con una tasa de extracción del 50% con técnicas convencionales de cianuración. El carbón presente naturalmente compete con el carbón activado por el oro. Por lo tanto, después de la oxigenación, el proceso de cianuración es llevado a cabo simultáneamente a medida que el carbón activado es puesto en contacto con los minerales en los tanques mezcladores. La superior tasa inicial de adsorción de los carbones GRC minimiza la interferencia con la extracción del oro de los medios de adsorción en el mineral y, por lo tanto, produce una efectiva lixiviación mejorada.

- Lixiviación en Pila: los depósitos de bajo grado de la superficie y roca estéril son candidatos para la lixiviación en pila. Se pueden lograr extracciones hasta un 85% utilizando carbones GRC.

#### CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

Cuando se usan los carbones GRC, las características que se muestran a continuación se traducen en los beneficios asociados para las plantas operativas.

- ALTO EQUILIBRIO DE ADSORCIÓN DE ORO Y VALORES NOMINALES – Alto rendimiento constante, pocas pérdidas de oro soluble, contrarrestan los medios de adsorción
- PREROTACIÓN Y DESEMPOLVAMIENTO – Pocas pérdidas de carbón en el circuito.
- ALTA DUREZA Y RESISTENCIA A LA ATRICCIÓN – Pérdidas mínimas de carbón y oro asociado.
- DIMENSIÓN POR DEBAJO DE LO NORMAL ASEGURADA Y CONTROLADA – Pocas pérdidas de carbón.
- PROTEGIDO ESPECIALMENTE POR MEDIO DE PANTALLA/BLINDAJE CON CABLES/ALAMBRES EN V – Menos obstrucción de la pantalla.
- DE FÁCIL VACIADO – Bajos costos operativos, pocas pérdidas solubles para los relaves, pocos "cierres" de oro.
- DE FÁCIL REGENERACIÓN – Bajos costos operativos, baja composición del carbón, regreso a la actividad inicial.
- VARIEDAD DE TAMAÑOS DE MALLAS Y ACTIVIDADES – Proporciona flexibilidad para optimizar y, por consiguiente, tener menos costos operativos.
- INVENTARIOS LOCALES MANTENIDOS – Disponibilidad asegurada.

#### REGENERACIÓN

Luego de vaciar el oro por elusión, la capacidad del carbón para el oro puede restaurada por medio de una reactivación térmica a temperaturas en el rango de 593 a 760 ° C (1100 – 1400 ° F). Este proceso destruye contaminantes orgánicos adsorbidos sin afectar de manera significativa la estructura interna del carbón.

En los casos en que se sabe que la contaminación orgánica es mínima y que las mediciones de la capacidad adsorbente del carbón usado indican suficiente capacidad residual, podría resultar innecesario reactivar cada ciclo térmicamente.

#### PRUEBAS ANALÍTICAS

Valor K – El índice del valor K de la capacidad de equilibrio utiliza carbón activado pulverizado y una solución taponada de  $KAu(CN)_2$  que contiene 100 ppm Au.  $K = mg$  de oro/g de carbón activado cuando dicho carbón se encuentra en equilibrio con 1 mg oro/litro de solución.

Valor R – El valor R es recíproco en tiempo cero de un período determinado dividido entre la carga de oro en el carbón versus el tiempo. Se agrega una fracción del carbón granular de tamaño necesario a una solución de cianuro de oro de 5 ppm a una concentración de 0.6 g/l y se agita según condiciones especificadas durante ocho horas. Durante este período, la concentración de oro se determina de forma periódica.

% de PLAQUETAS – Esta prueba mide el porcentaje de una fracción de carbón dada, la cual pasa por un tamiz metálico en v número 20.

Los procedimientos de prueba detallados para lo mencionado anteriormente se pueden obtener por medio del Representante de Ventas Técnicas de Calgon Carbon Corporation.

#### ADVERTENCIA

El carbón activado húmedo de preferencia elimina el oxígeno del aire. En contenedores y embarcaciones cerradas o parcialmente cerradas, la disminución del oxígeno podría alcanzar niveles peligrosos. Si los trabajadores van a ingresar a una embarcación que contiene carbón, se deberían seguir procedimientos de trabajo y muestreo para lugares de niveles bajos de oxígeno. Estos procedimientos deben incluir todos los requisitos locales, estatales y federales.

- Ficha técnica de la lámpara UV de 16 W de marca Philips.



## TUV T5

### TUV 16W/T5 10 x 25 BOX

TUV T5 lamps are single- or double-ended UVC (germicidal) lamps used in professional water and air disinfection units. The small 16 mm diameter of the lamp allows for a small system design and design flexibility. TUV T5 lamps offer constant UV output over their complete lifetime, for maximum security of disinfection and high system efficacy.

#### Warnings and Safety

- A lamp breaking is extremely unlikely to have any impact on your health. If a lamp breaks, ventilate the room for 30 minutes and remove the parts, preferably with gloves. Put them in a sealed plastic bag and take it to your local waste facilities for recycling. Do not use a vacuum cleaner.
- DANGER: Risk Group 3 Ultra Violet product. These lamps emit high-power UV radiation that can cause severe injury to skin and eyes. Avoid eye and skin exposure to unshielded product. Use only in an enclosed environment which shields users from the radiation.
- Lamp contains mercury. Manage in Accord with Disposal Laws. See: [www.lamprecycle.org](http://www.lamprecycle.org) or 1-800-555-0050

#### Product data

| General Information             |                    | Lamp Current (Nom)         |             |
|---------------------------------|--------------------|----------------------------|-------------|
| Base                            | G5 [ G5]           |                            | 0.4 A       |
| Main Application                | Disinfection       | Voltage (Nom)              | 43 V        |
| Useful Life (Nom)               | 11000 h            | Mechanical and Housing     |             |
| System Description              | na [ -]            | Cap-Base Information       | 2 Pins (2P) |
| Light Technical                 |                    | Approval and Application   |             |
| Color Code                      | TUV                | Mercury (Hg) Content (Nom) | 4.4 mg      |
| Color Designation               | - [ Not Specified] | UV                         |             |
| Depreciation at Useful Lifetime | 15 %               | UV-C Radiation at 100 hr   | 42 W        |
| Operating and Electrical        |                    |                            |             |
| Power (Rated) (Nom)             | 15 W               |                            |             |

Datasheet, 2021, June 8

data subject to change



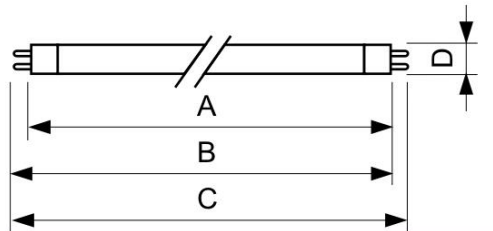
## TUV T5

### Product Data

|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Order product name            | TUV 16W FAM/10X25BOX |
| EAN/UPC - Product             | 8711500638694        |
| Order code                    | 112508               |
| Numerator - Quantity Per Pack | 1                    |

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| Numerator - Packs per outer box | 250          |
| Material Nr. (12NC)             | 928002004013 |
| Net Weight (Piece)              | 25.700 g     |

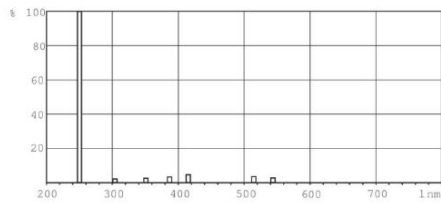
### Dimensional drawing



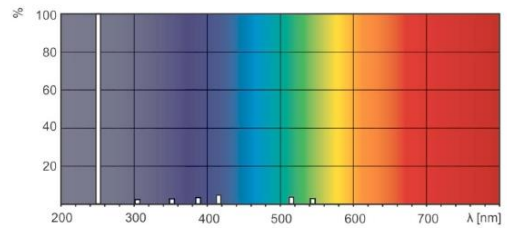
TUV 16W

| Product              | D     | C        |
|----------------------|-------|----------|
| TUV 16W FAM/10X25BOX | 16 mm | 302.5 mm |

### Photometric data



XDPB\_XUTUV-Spectral power distribution B/W



XDPO\_XUTUV-Spectral power distribution Colour



© 2021 Signify Holding All rights reserved. Signify does not give any representation or warranty as to the accuracy or completeness of the information included herein and shall not be liable for any action in reliance thereon. The information presented in this document is not intended as any commercial offer and does not form part of any quotation or contract, unless otherwise agreed by Signify. Philips and the Philips Shield Emblem are registered trademarks of Koninklijke Philips N.V.

www.lighting.philips.com  
2021, June 8 - data subject to change

- Reactor de digestión de marca Hach, modelo DRB 200.

## THERMOSTAT DRB200 – THE SIMPLE SOLUTION FOR ALL DIGESTIONS



### PRODUCT INFORMATION

- Laboratory analysis
- Dry thermostat
- DRB200
- **For 16 mm cuvettes**

### For standard and special digestions

A digestion step often has to be carried out before key parameters can be determined. For these parameters, the DRB200 thermostat ideally complements the Hach reagents (COD, TOC, Test'N'Tube). Two separately controllable heating blocks enable cuvettes and reaction vessels to be digested at identical or different temperatures and time settings.

The DRB200 has a digital timer with an automatic switch-off and acoustic signal. Two transparent splash protection lids close the thermostat while it is heating. The integrated anti-overheating feature and the insulated external shell provide additional safety.

#### Great flexibility

Pre-programmed for all standard digestions and freely programmable for user-specific digestions

#### Simple handling

Large, easily readable display and one-key operation for standard digestions

#### Excellent reproducibility

Temperature stability

**DASTEC S.R.L.**

Representantes / Distribuidores Autorizados

Dastec Uruguay S.R.L.

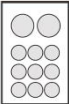
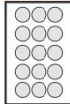
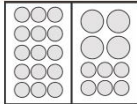
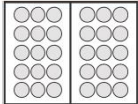
Tel: (+59 8) 2400 4046

Email: info@dastecsrl.com.uy

Web: www.dastecsrl.com.uy



## Technical Data

| Type                            | DRB200-1  | DRB200-1  | DRB200-2   | DRB200-2  |
|---------------------------------|---|---|--|---|
| <b>Order no.</b>                | LTV082.53.30001 (115 VAC)<br>LTV082.52.30001 (230 VAC)  | LTV082.53.40001 (115 VAC)<br>LTV082.52.40001 (230 VAC)                            | LTV082.53.42001 (115 VAC)<br>LTV082.52.42001 (230 VAC)                             | LTV082.53.44001 (115 VAC)<br>LTV082.52.44001 (230 VAC)                              |
| <b>Heating programs</b>         | Pre-programmed for 100 °C, 105 °C, 150 °C, 165 °C and freely selectable 37–150 °C, 1–480 min. |   |  |   |
| <b>Heating rate</b>             | From 20 °C to 150 °C in 10 min.   |   |  |   |
| <b>Temperature stability</b>    | ±1 °C in conformity with EN, ISO, EPA methods   |   |  |   |
| <b>Power input</b>              | 115 V / 300 VA<br>230 V / 450 VA  |   | 115 V / 600 VA<br>230 V / 900 VA   |   |
| <b>Weight</b>                   | 2 kg (4.4 lbs)  |   | 2.8 kg (6.2 lbs)   |   |
| <b>Dimensions</b>               | 250 x 145 x 310 mm (WxHxD)  |   |  |   |
| <b>Schematic representation</b> |              |  |  |  |
| <b>Number of cuvettes</b>       | 9x 16 mm diameter<br>2x 20 mm diameter  | 15x 16 mm diameter  | 21x 16 mm diameter<br>4x 20 mm diameter  | 30x 16 mm diameter  |



DRB200-1 for 9 cuvettes (16 mm ø)  
and 2 reaction vessels



The DRB200-2 features two separately  
controllable heating blocks

| Applications                                       | Temp. [°C] | Time [min.] |
|--|------------|-------------|
| COD  | 150        | 120         |
| Total nitrogen                                     | 100 / 105* | 60 / 30     |
| Total phosphorus                                   | 100 / 105* | 60 / 30     |
| Metals (lead, cadmium, copper, iron, nickel, zinc) | 100        | 60          |
| Total chromium                                     | 100        | 60          |
| TOC  | 105        | 120         |
| Trihalogenmethane                                  | 100        | 8           |
| User-specific programs                             | 37–150     | 1–480       |

\* Digestion temperature and time depend on the used reagents. Subject to change without notice.

### HACH COMPANY World Headquarters: Loveland, Colorado USA

United States: 800-227-4224 tel 970-669-2932 fax orders@hach.com  
Outside United States: 970-669-3050 tel 970-461-3939 fax int@hach.com  
hach.com

Printed in U.S.A.

©Hach Company, 2017. All rights reserved.

In the interest of improving and updating its equipment, Hach Company reserves the right to alter specifications to equipment at any time.

## DASTECS.R.L.

Representantes / Distribuidores Autorizados

Dastec Uruguay S.R.L.

Tel: (+59 8) 2400 4046

Email: info@dastecsrl.com.uy

Web: www.dastecsrl.com.uy



Be Right™

.00362.May17

- Colorímetro de marca Hach, modelo DR 900

## COLORÍMETRO PORTÁTIL DR 900



### Aplicaciones

- Agua Potable
- Aguas Residuales
- Aguas de uso Industrial

### Análisis de agua sencillo y rápido para las condiciones ambientales más exigentes.

El DR 900™ portátil permite el acceso fácil y rápido a sus métodos de prueba más utilizados. Este colorímetro es a prueba de agua, a prueba de polvo y muy resistente, para uso en campo. Con una interfaz de usuario intuitiva, capacidad de transmisión fácil de datos, y capacidad de medir hasta 90 de los métodos de análisis de agua más solicitados, el DR 900 hace que el análisis de aguas en condiciones ambientales difíciles sea menos problemático.

#### Sus programas de análisis favoritos al alcance de la mano

Ahorre tiempo almacenando sus métodos más habituales, tendrá acceso rápido en menos de 4 clics.

#### Diseñado para trabajo en campo en todas las formas posibles

Este colorímetro portátil es a prueba de agua y a prueba de polvo. Es de uso rudo ya que es a prueba de caídas y golpes para una mayor garantía de calidad.

#### Interfaz de usuario intuitiva

La interfaz de usuario mejorada permite realizar rápidas selecciones y facilita los análisis.

#### Sencilla transmisión de datos

Almacena hasta 500 análisis, y viene con un puerto USB para una fácil descarga o transmisión de información.

#### Satisface sus principales necesidades de análisis

Un único instrumento portátil proporciona acceso a 90 de los parámetros más habituales.





**Especificaciones\***

|  |   |
|--|---|
| <b>Fuente de luz</b>                         | Diodo de emisor de luz (LED)  |
| <b>Rango de longitud de onda</b>             | 420 nm, 520 nm, 560 nm, 610 nm  |
| <b>Selección de longitud de onda</b>         | Automático  |
| <b>Modo de operación</b>                     | Transmitancia (%), Absorbancia y Concentración  |
| <b>Compatibilidad de la celda de muestra</b> | 1 pulgada de diámetro o 16 mm de diámetro (con adaptador)   |
| <b>Almacenamiento de datos</b>               | 500 valores medidos (Resultado, Fecha, Hora, ID de muestra, ID de usuario)  |
| <b>Protección de la carcasa (IP)</b>         | IP67 (tapa de protección cerrada)   |
| <b>Pilas/baterías requeridas</b>             | 4 pilas alcalinas tamaño AA   |
| <b>Vida útil de la batería</b>               | 6 meses (típico) @ 5 lecturas por día / 5 días de la semana sin retroiluminación**<br><small>** El uso de retroiluminación disminuirá la vida útil de la batería.</small> |
| <b>Pantalla</b>                              | Pantalla gráfica 240 x 160 píxeles (Retroiluminación)   |

**Idiomas interfaz de usuario**

English, French, German, Italian, Spanish, Portuguese, Bulgarian, Chinese, Czech, Danish, Dutch, Finnish, Greek, Hungarian, Japanese, Korean, Polish, Romanian, Russian, Slovenian, Swedish, Turkish

**Interfaz**

USB tipo Mini IP67

**Dimensiones (A x A x P)**

9,1 in x 3,8 in x 1,9 in  
(231 mm x 96 mm x 48 mm)

**Peso**

1.32 lbs. (0.6 kg) con batería

**Velocidad de escaneado**

Colorímetro DR 900, dos celdas de muestra de vidrio de 2 pulgadas marcadas en 10, 20 y 25 mL, dos celdas de muestra de plástico de 1 cm, un adaptador DQO/TEST N TUBE de 1 x 16-mm, 4 baterías AA alcalinas, manual del instrumento en varios idiomas, impreso y manuales de procedimientos en CD; Mini USB hacia cable USB

*\*Sujeto a cambios sin aviso previo.*

**Información para Pedidos**

**9385100** Colorímetro portátil DR 900

**Accesorios**

**2722000** Maletín de transporte para instrumento, con correa ajustable

**4942500** Maletín de transporte rígido para instrumentos, estilo G

**4943000** Maletín de transporte CEL para laboratorio portátil

**2763900** Juego de estándares de absorbancia de verificación / DR (juego de 4 unidades)

**2635300** Juego de estándares Secundarios de gel SpecCheck, cloro DPD

**2980500** Cloro, Rango Medio, 0-4.00 mg/L como Cl<sub>2</sub>

**2893300** Juego de estándares Secundarios de gel SpecCheck, cloro DPD - alto rango

**2712500** Juego de estándar secundario de gel SpecCheck, fluoruro

**2708000** Juego de estándares secundarios en gel SpecCheck, ozono, rango medio

**2507500** Juego de estándares Secundarios de gel SpecCheck para monoclaramina y amonio libre.

**Oficina central de HACH COMPANY: Loveland, Colorado USA**

Estados Unidos: 800-227-4224 tel 970-669-2932 fax orders@hach.com

Fuera de Estados Unidos: 970-669-3050 tel 970-461-3939 fax int@hach.com

**hach.mx**

LIT2810SP

E13 Impreso en EE.UU.

©Hach Company, 2013. Reservados todos los derechos.

Con el fin de mejorar y actualizar su equipo, Hach Company se reserva el derecho de modificar las especificaciones del equipo en cualquier momento.



Be Right™