

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

## **ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA MEDIANTE LA COAGULACIÓN –  
FLOCULACIÓN, OZONIZACIÓN Y FILTRACIÓN DE AGUA RESIDUAL  
PROVENIENTE DE UNA INDUSTRIA TEXTIL A ESCALA LABORATORIO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN**

**INGENIERÍA QUÍMICA**

**AUTORES**

**CÉSAR FRANK MARTÍNEZ LINARES**

**DARLY YANIRÉ ROJAS AGUIRRE**

**ASESOR**

**Dr. LUIS CARRASCO VENEGAS**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**Callao, 2023**



















**PERÚ**



## Document Information

Analyzed document	TESIS DE MARTINEZ LINARES y ROJAS AGUIRRE.pdf (D179359331)
Submitted	2023-11-20 21:31:00 UTC+01:00
Submitted by	
Submitter email	fiq.posgrado@unac.edu.pe
Similarity	11%
Analysis address	fiq.posgrado.unac@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 10. TESIS - TUPIA MONTES-VALERIO CLAUDIO.pdf</b> Document 10. TESIS - TUPIA MONTES-VALERIO CLAUDIO.pdf (D163882467) Submitted by: fiq.investigacion@unac.edu.pe Receiver: fiq.investigacion.unac@analysis.arkund.com		12
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / 1A; AGUILAR GUILLÉN-Juan Ernesto; RATTY JORDAN-Gary Joe; IF TESIS.pdf</b> Document 1A; AGUILAR GUILLÉN-Juan Ernesto; RATTY JORDAN-Gary Joe; IF TESIS.pdf (D178565823) Submitted by: fiam.investigacion@unac.edu.pe Receiver: unidad.de.investigacion.fiam.unac@analysis.arkund.com		3
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / INFORME FINAL DE TESIS-Garcia Campos - Zevallos Palacio.pdf</b> Document INFORME FINAL DE TESIS-Garcia Campos - Zevallos Palacio.pdf (D113720306) Submitted by: fiam.investigacion@unac.edu.pe Receiver: unidad.de.investigacion.fiam.unac@analysis.arkund.com		2
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / MAYHUA SOTO, Yorsel Soledad - MALPICA MATEO, Juan Jesús-MAESTRIA-2023.pdf</b> Document MAYHUA SOTO, Yorsel Soledad - MALPICA MATEO, Juan Jesús-MAESTRIA-2023.pdf (D173274938) Submitted by: fiam.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fiam.posgrado.unac@analysis.arkund.com		6
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26950/Revolledo%20Chaparro%2C%20Ana%20Paula.pdf?sequence=2&amp;isAllowed=n">https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26950/Revolledo%20Chaparro%2C%20Ana%20Paula.pdf?sequence=2&amp;isAllowed=n</a> Fetched: 2022-07-18 01:44:57		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/93632">https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/93632</a> Fetched: 2023-11-20 21:32:00		2
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.utp.edu.co/items/616a527d-89be-4cc4-bea4-66376db1ec35">https://repositorio.utp.edu.co/items/616a527d-89be-4cc4-bea4-66376db1ec35</a> Fetched: 2023-11-20 21:32:00		3
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / Tesis Posgrado con formato CORREGIDO.pdf</b> Document Tesis Posgrado con formato CORREGIDO.pdf (D106968778) Submitted by: fiq.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fiq.posgrado.unac@analysis.arkund.com		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/46800">https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/46800</a> Fetched: 2023-11-20 21:31:00		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf">https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf</a> Fetched: 2023-11-20 21:32:00		1
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / GONZALES GUTIERREZ - MENESES FLORES - SANCHEZ CAYCHO - INFORME FINAL DE TESIS.pdf</b> Document GONZALES GUTIERREZ - MENESES FLORES - SANCHEZ CAYCHO - INFORME FINAL DE TESIS.pdf (D149904259) Submitted by: fiam.investigacion@unac.edu.pe Receiver: unidad.de.investigacion.fiam.unac@analysis.arkund.com		1
<b>SA</b>	<b>JWPE-4 Informe tratamiento de lixiviados mediante un tren de tratamiento.pdf</b> Documento JWPE-4 Informe tratamiento de lixiviados mediante un tren de tratamiento.pdf (D133566055)		1
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8008">http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8008</a> Fetched: 2023-11-20 21:32:00		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://books.google.com.mx/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=BvIQBXPvAUC&amp;oi=fnd&amp;pg=PA17&amp;dq=que+es+la+coagulacion+en+tratamiento+de+aguas+residuales&amp;ots=ckVHaWwnw9&amp;sig=wzOgyH34iESj2CpMoMF2SveZpco">https://books.google.com.mx/books?hl=es&amp;lr=&amp;id=BvIQBXPvAUC&amp;oi=fnd&amp;pg=PA17&amp;dq=que+es+la+coagulacion+en+tratamiento+de+aguas+residuales&amp;ots=ckVHaWwnw9&amp;sig=wzOgyH34iESj2CpMoMF2SveZpco</a> Fetched: 2023-11-20 21:32:00		1
<b>SA</b>	<b>13375-Trigoso Villalovos Fernando - Tejeda García Edison.pdf</b> Document 13375-Trigoso Villalovos Fernando - Tejeda García Edison.pdf (D42004441)		3
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168135">https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168135</a> Fetched: 2023-11-20 21:32:00		1
<b>W</b>	URL: <a href="http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17388">http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17388</a> Fetched: 2023-11-20 21:32:00		1
<b>SA</b>	<b>EVILSON JACO-TESIS_v2.docx</b> Document EVILSON JACO-TESIS_v2.docx (D123657875)		2

## Entire Document

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

**FACULTAD** : INGENIERÍA QUÍMICA

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN** : INGENIERÍA QUÍMICA

**TÍTULO** : “REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA MEDIANTE LA COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN, OZONIZACIÓN Y FILTRACIÓN DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE UNA INDUSTRIA TEXTIL A ESCALA LABORATORIO”

### **AUTORES / CODIGO ORCID / DNI:**

César Frank Martínez Linares / CÓDIGO ORCID: 0000–0002–6499–971X / DNI : 48084460

Darly Yaniré Rojas Aguirre / CÓDIGO ORCID: 0000–0002–8582–6375 / DNI : 74278685

### **ASESOR / CODIGO ORCID / DNI:**

Dr. Luis Américo Carrasco Venegas / CÓDIGO ORCID: 0000–0002–7832–3366 / DNI ; 25825871

**LUGAR DE EJECUCIÓN** : Laboratorio de Soluciones Químicas Ambientales SAC – SQA

**UNIDAD DE ANÁLISIS** : Agua residual de industria textil

### **TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:**

Aplicada /Cuantitativo/Experimental

**TEMA OCDE** : Ingeniería de Procesos Código OCDE: 2.04.02



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA  
UNIDAD DE POSGRADO



ACTA N° 054-2023-UPG-FIQ-V

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DEL IV CICLO TALLER DE TESIS PARA  
OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN INGENIERÍA QUÍMICA

Siendo las 12:00 horas del día viernes 08 del mes de diciembre del año 2023, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, se reunieron el Jurado de Sustentación de Tesis para la obtención del Grado Académico de Maestro designados por la Resolución del Comité Directivo N° 157-2023-RCD-UPG-FIQ de fecha 07 de diciembre 2023, conformado por los siguientes docentes:

Dr. RODRIGUEZ TARANCO OSCAR JUAN	PRESIDENTE
Dra. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA	SECRETARIA
Mg. REYNA MENDOZA GLADIS ENITH	MIEMBRO
Mg. ROJAS ROJAS VICTORIA YSABEL	MIEMBRO
Dr. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO	ASESOR

Con la finalidad de evaluar la sustentación de la tesis titulado "REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA MEDIANTE LA COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN, OZONIZACIÓN Y FILTRACIÓN DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE UNA INDUSTRIA TEXTIL A ESCALA LABORATORIO" presentado por los bachilleres MARTINEZ LINARES CESAR FRANK y ROJAS AGUIRRE DARLY YANIRE.

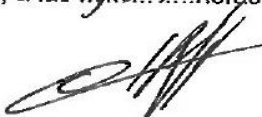
Estando el jurado de sustentación en pleno, el Presidente dispuso se inicie el Acto de Sustentación de la referida Tesis.

Luego de la exposición de los mencionados bachilleres, los miembros del Jurado de Sustentación formularon las respectivas preguntas, las mismas que fueron absueltas satisfactoriamente.


Terminada la sustentación, el Jurado de sustentación luego de deliberar, acuerda: Aprobar con la escala de calidad cualitativa MUY BUENO y calificación cuantitativa 16 la presente tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 124° del Reglamento de Estudios de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023-CU del 15 de junio de 2023.

Se eleva la presente acta al Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química y a la Dirección de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Callao, a fin de que se declare APTO para conferir a los citados bachilleres el respectivo Grado Académico de Maestro en Ingeniería Química.

Se extiende el acta, a las 12:40 horas del mismo día, firmas de jurado.

  
Dr. RODRIGUEZ TARANCO OSCAR JUAN  
Presidente

  
Dra. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA  
Secretaria

  
Mg. REYNA MENDOZA GLADIS ENITH  
Miembro

  
Mg. ROJAS ROJAS VICTORIA YSABEL  
Miembro

  
Dr. CARRASCO VENEGAS LUIS AMERICO  
Asesor

## **DEDICATORIA**

A Dios por darnos la fuerza necesaria para perseverar a pesar de los obstáculos que hemos enfrentado en nuestro camino. También, quiero expresar mi gratitud hacia nuestra familia, especialmente a nuestros padres, quienes con sacrificio y entrega total nos respaldaron para que hoy seamos los profesionales que somos. Su amor incondicional ha sido fundamental, y este logro es también un tributo a su dedicación.



# ÍNDICE

ÍNDICE .....	1
ÍNDICE DE TABLAS .....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
INTRODUCCIÓN .....	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema (problema general y específicos) .....	13
1.2.1. Problema general.....	13
1.2.2. Problemas específicos.....	13
1.3. Objetivos.....	13
1.3.1. Objetivo General .....	13
1.3.2. Objetivo Específico .....	13
1.4. Justificación .....	14
1.5. Delimitantes de la investigación (teórico, temporal y espacial).....	14
1.5.1. Delimitación teórica.....	14
1.5.2. Delimitación temporal .....	14
1.5.3. Delimitación espacial .....	14
II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes.....	16
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	16
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	19
2.2. Bases teóricas.....	21
2.2.1. Agua residual textil.....	21
2.2.2. Carga orgánica.....	22
2.2.3. Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales .....	23
2.2.4. Coagulación .....	23
2.2.5. Floculación .....	24
2.2.6. Ozonización .....	25
2.2.7. Filtración.....	26
2.3. Conceptual .....	26



2.3.1. Agua residual textil.....	26
2.3.2. Coagulación .....	26
2.3.3. Floculación .....	26
2.4. Definición de términos básicos .....	27
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	28
3.1. Hipótesis General y Específica .....	28
3.1.1. Operacionalización de variables.....	28
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....	30
4.1. Diseño metodológico.....	30
4.2. Método de investigación .....	31
4.2.1. Etapa 1: Toma de muestra de agua residual textil.....	31
4.2.2. Etapa 2: Caracterización inicial de carga orgánica .....	34
4.2.3. Etapa 3: Tratamiento mediante coagulación y floculación.....	34
4.2.4. Etapa 4: Tratamiento mediante ozonización .....	37
4.2.5. Etapa 5: Tratamiento mediante filtración con carbón activado.....	37
4.3. Población y muestra.....	38
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado .....	39
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de información .....	39
4.5.1. Equipos y materiales.....	40
4.6. Análisis y procesamiento de datos .....	40
4.7. Aspectos Éticos en Investigación .....	40
V. RESULTADOS .....	42
5.1. Resultados descriptivos .....	42
5.1.1. Determinación del porcentaje de remoción de la carga orgánica..... mediante el proceso de coagulación – floculación.....	43
5.1.2. Determinación del porcentaje de remoción de la carga orgánica..... mediante la ozonización .....	44
5.1.3. Determinación del porcentaje de remoción de la carga orgánica..... mediante la filtración con carbón activado .....	47
5.2. Resultados inferenciales .....	51
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	59

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados .....	59
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares .....	60
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes .....	61
VII.CONCLUSIONES.....	62
VIII.RECOMENDACIONES .....	63
IX.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
ANEXOS .....	67
ANEXO 1: Matriz de consistencia .....	67
ANEXO 2: Informe de ensayo y reporte de resultados del análisis de DBO5 y DQO .....	68
ANEXO 3: Resultados experimentales de DBO5 / DQO después del tratamiento X1 .....	74
ANEXO 4: Resultados experimentales de DBO5 / DQO después del tratamiento X2 .....	74
ANEXO 5: Resultados experimentales de DBO5 / DQO después del tratamiento X3 .....	75
ANEXO 6: Resultados experimentales de DBO5 / DQO con tratamiento X3 .....	76
ANEXO 7: Resultados finales de DBO5 / DQO .....	77
ANEXO 8: Materiales y equipos .....	79
ANEXO 09: Instructivos de análisis.....	80
ANEXO 10: Panel fotográfico .....	96

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	29
<b>Tabla 2</b> Diseño experimental .....	30
<b>Tabla 3</b> Matriz de experimentación .....	32
<b>Tabla 4</b> Resultados de la carga orgánica inicial de la muestra de los tres días .....	42
<b>Tabla 5</b> Carga orgánica inicial de la muestra mezclada de los tres días .....	42
<b>Tabla 6</b> Resultados del porcentaje de remoción de DBO5 después del tratamiento de coagulación y floculación .....	43
<b>Tabla 7</b> Resultados del porcentaje de remoción de DQO después del tratamiento de coagulación y floculación .....	43
<b>Tabla 8</b> Resultados del porcentaje de remoción de DBO5 después del tratamiento de ozonización .....	45
<b>Tabla 9</b> Resultados del porcentaje de remoción de DQO después del tratamiento por ozonización .....	46
<b>Tabla 10</b> Resultados del porcentaje de remoción de DBO5 después del tratamiento por filtración con carbón activado .....	48
<b>Tabla 11</b> Resultados del porcentaje de remoción de DQO después del tratamiento por filtración con carbón activado .....	50
<b>Tabla 12</b> Porcentaje final de remoción de DBO5 .....	52
<b>Tabla 13</b> Porcentaje final de remoción de DQO .....	53
<b>Tabla 14</b> Análisis de varianza para %Remoción de DBO5 .....	54
<b>Tabla 15</b> Análisis de varianza para %Remoción de DQO .....	55
<b>Tabla 16</b> Prueba post hoc, HSDTukey %Remoción de DBO5 vs X2 (min) .....	55
<b>Tabla 17</b> Prueba post hoc, HSDTukey %Remoción de DQO vs X2 (min) .....	56
<b>Tabla 18</b> Análisis inferencial, prueba T sobre la remoción de carga orgánica después del tratamiento de coagulación – floculación (X1) .....	57
<b>Tabla 19</b> Análisis inferencial, prueba T sobre la remoción de carga orgánica después del tratamiento de ozonización (X2) .....	57
<b>Tabla 20</b> Análisis inferencial, prueba T sobre la remoción de carga orgánica después del tratamiento de filtración con carbón activado (X3) .....	58

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Diagrama de Flujo del proceso de teñido de madejas de fibra acrílica en la empresa NEGOCIOS HYD S.A.C. ....	22
<b>Figura 2</b> <i>Repulsión electrostática presentes en las partículas coloidales.</i> 24	
<b>Figura 3</b> <i>Principios de la floculación.</i> .....	25
<b>Figura 4</b> <i>Esquema de investigación</i> .....	30
<b>Figura 5</b> <i>Toma de muestra de agua residual textil.</i> .....	33
<b>Figura 6</b> <i>Mezcla y homogenización del agua residual textil de los tres días.</i> .....	33
<b>Figura 7</b> <i>Conservación de la muestra para análisis de DBO5.</i> .....	34
<b>Figura 8</b> <i>Análisis de DQO en la empresa Soluciones Químicas Ambientales S.A.C.</i> .....	35
<b>Figura 9</b> <i>Caracterización inicial de pH y acondicionamiento a pH 11.</i> .....	36
<b>Figura 10</b> <i>Pruebas de Jarras para tratamiento de agua residual textil mediante coagulación – floculación.</i> .....	36
<b>Figura 11</b> <i>Dosificación de ozono al clarificado de la muestra de agua residual textil.</i> .....	37
<b>Figura 12</b> <i>Proceso de filtración con carbón activado a una altura de 20 y 30 cm.</i> .....	38
<b>Figura 13</b> <i>Diagrama de bloques de las pruebas experimentales.</i> .....	38
<b>Figura 14</b> <i>Gráfica de %remoción de carga orgánica con una dosis de 200 y 300 ppm</i> .....	44
<b>Figura 15</b> <i>Gráfica de %remoción de DBO5 vs tiempo de ozonización</i> .....	45
<b>Figura 16</b> <i>Gráfica de %remoción de DQO vs tiempo de ozonización</i> .....	47
<b>Figura 17</b> <i>Gráfica de %remoción de DBO5 vs dosis (ppm), tiempo de ozonización (min) y altura de lecho (cm)</i> .....	49
<b>Figura 18</b> <i>Gráfica de %remoción de DQO vs dosis (ppm), tiempo de ozonización (min) y altura de lecho (cm)</i> .....	51
<b>Figura 19</b> <i>Cargado de madejas de lana en la industria textil</i> .....	96
<b>Figura 20</b> <i>Área de teñido de industria textil</i> .....	96
<b>Figura 21</b> <i>Muestra obtenida de agua residual textil</i> .....	97
<b>Figura 22</b> <i>Etapa de coagulación – floculación, formación de flocs</i> .....	97

<b>Figura 23</b> Obtención del clarificado después del tratamiento de coagulación – floculación .....	98
<b>Figura 24</b> Obtención de muestra tratada después del proceso de ozonización .....	98
<b>Figura 25</b> Toma de muestra clarificada para el análisis de carga orgánica .	99
<b>Figura 26</b> Filtración con carbón activado.....	99

## RESUMEN

En la industria textil las aguas contienen alta concentración de carga orgánica, la presencia de estos compuestos orgánicos presenta un desafío ambiental, porque su descarga sin tratamiento adecuado a un sistema de alcantarillado o directamente a un cuerpo de agua puede tener impactos negativos. El objetivo principal de la presente investigación es determinar el porcentaje de remoción de carga orgánica (DBO<sub>5</sub> y DQO) mediante la coagulación – floculación, ozonización y filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio, la metodología aplicada fue de tipo experimental, con un diseño factorial 2 x 3 x 2, considerando como factores: la dosis de coagulante (200 y 300 ppm), el tiempo de ozonización (5, 10 y 20 min), y la altura de lecho de carbón activado (20 y 30 cm). El agua residual textil utilizada fue la mezcla del muestreo de tres días consecutivos, y su caracterización inicial de DBO<sub>5</sub> y DQO fue de 420,9 mg/L y 2 106,3 mg/L respectivamente. Después del tratamiento el mejor porcentaje de remoción para DBO<sub>5</sub> y DQO fue de 98% y 98,6% respectivamente. Se concluye que el tratamiento remueve la carga orgánica con un promedio mayor al 85%

**Palabras claves:** Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda química de oxígenos (DQO), coagulación – floculación, ozonización, filtración, agua residual textil.

## ABSTRACT

In the textile industry, water contains a high concentration of organic load. The presence of these organic compounds presents an environmental challenge, since their discharge without adequate treatment into a sewage system or directly into a body of water can have negative impacts. The main objective of this research is to determine the percentage of organic load removal (BOD5 and COD) by coagulation-flocculation, ozonation and filtration of wastewater from a textile industry at laboratory scale, the methodology applied was experimental, with a 2 x 3 x 2 factorial design, considering as factors: the dose of coagulant (200 and 300 ppm), the ozonation time (5, 10 and 20 min), and the height of the activated carbon bed (20 and 30 cm). The textile wastewater used was the mixture of the sampling of three consecutive days, and its initial characterization of BOD5 and COD was 420,9 mg/L and 2 106,3 mg/L respectively. After treatment, the best percentage of removal for BOD5 and COD was 98% and 98,6%, respectively. It is concluded that the treatment removes the organic load with an average of more than 85%

**Key words:** Biochemical oxygen demand (BOD5), chemical oxygen demand (COD), coagulation-flocculation, ozonation, filtration, textile wastewater.

## RESUMO

Na indústria têxtil, a água contém alta concentração de carga orgânica. A presença desses compostos orgânicos representa um desafio ambiental, pois seu lançamento sem tratamento adequado na rede de esgoto ou diretamente em um corpo d'água pode trazer impactos negativos. O objetivo principal desta pesquisa é determinar o percentual de remoção de carga orgânica (DBO5 e DQO) através da coagulação - floculação, ozonização e filtração de águas residuais de uma indústria têxtil em escala laboratorial, a metodologia aplicada foi experimental com um 2. planejamento fatorial x 3 x 2, considerando como fatores: a dose de coagulante (200 ppm e 300 ppm), o tempo de ozonização (5, 10 e 20 min) e a altura do leito de carvão ativado (20 cm e 30 cm). O efluente têxtil utilizado foi a mistura de amostragem de três dias consecutivos, e sua caracterização inicial de DBO5 e DQO foi de 420,9 mg/L e 2 106,3 mg/L respectivamente. Após o tratamento, o melhor percentual de remoção de DBO5 e DQO foi de 98% e 98,6% respectivamente. Conclui-se que o tratamento remove a carga orgânica com média superior a 85%

**Palavras – chave:** Carência bioquímica de oxigênio (DBO5), Carência química de oxigênio (DQO), coagulação – floculação, ozonização, filtração, águas residuais têxteis



## INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más importantes para el desarrollo y sostenibilidad de la vida en nuestro planeta, debido a que se componen en mayor o menor medida del agua, entre 65% – 70% de la masa total de un organismo [1]. Sin embargo, en las últimas décadas, el crecimiento de la industrial y la poblacional ha generado que su impacto ambiental se agrave; en el año 1950 la población mundial era de 2,500 millones de habitantes y el consumo textil era de 3,7 Kg/hab/año, para el año 2015 la población aumento a 7,400 millones de habitantes con un consumo per cápita de 13,1 Kg/hab/año. Y si se hace una proyección para el 2050, estos números se triplicarán [2]

El crecimiento acelerado de la industria textiles ha sido un factor importante para el desarrollo económico del país, brindando una variedad de productos que satisfacen las necesidades del mercado nacional e internacional. Sin embargo, este incremento acelerado dio lugar a un incremento significativo en la generación de aguas residuales con carga orgánica considerable que muchas veces se descargan sin ningún tratamiento previo [3]. La presencia de compuestos orgánicos en las aguas residuales provenientes de las industrias textiles presenta un desafío ambiental, porque su descarga sin tratamiento adecuado puede tener efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos.

La coagulación y la floculación han demostrado ser procesos muy eficientes para la eliminación de sólidos suspendidos y materia orgánica disuelta en el agua residual [4]. Por otro lado, la ozonización emerge como una metodología prometedora, capaz de descomponer compuestos orgánicos persistentes y eliminar microorganismos, brindando así una mayor seguridad en la calidad del agua tratada. Combinando estos métodos con la filtración, se busca alcanzar un tratamiento más completo y lograr estándares de descarga que cumplan las normativas ambientales vigentes.

Dar solución a este problema se ha convertido en una prioridad para los sectores industriales. Por consecuencia, en el marco de la sostenibilidad y la preservación del medio ambiente, la investigación se centra en la aplicación de un sistema de tratamiento que combina los procesos de coagulación, floculación, ozonización y la filtración para la remoción eficiente de la carga orgánica presente en las

aguas residuales provenientes de la industria textil.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la realidad problemática

La situación de la contaminación a través de los años va empeorando, se observan distintas problemáticas por el vertimiento de aguas residuales industriales sin previo tratamiento o sin tratamiento adecuado, que en consecuencia contaminan cuerpos de aguas superficiales, o son descargadas a sistemas de alcantarillado, incumpliendo las normas vigentes y los valores máximos admisibles.

La industria textil es considerada como una de las más dañinas y contaminantes, por los impactos negativos que genera en el medio ambiente. Además, en esta industria se identifican altos consumos de agua potable con destino a los distintos procesos desde la obtención de la materia prima hasta el producto final. Dependiendo de las operaciones y procesos que se realicen en una industria textil, las características de estas aguas residuales son variables; sin embargo, presentan alto contenido de carga orgánica (DQO), sólidos en suspensión y coloides. En cuerpos de agua, un alto contenido de carga orgánica puede causar eutrofización y dañar los ecosistemas acuáticos. Por lo cual, representa un riesgo potencial el vertimiento a cuerpos de aguas sin un tratamiento adecuado, afectando la calidad de los recursos hídricos y la salud pública.

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), como ente fiscalizador y sancionador, verifica el cumplimiento de los parámetro del **Anexo I** de los VMA (DBO, DQO, SST y Aceites y Grasas) de aguas residuales no domésticas, en el diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Lima y Callao en el año 2022, las características de los afluentes de las PTAR reportados por las EPS y SEDAPAL, presentaron concentraciones elevadas de DBO5, DQO y SST, las cuales afectan los procesos de tratamiento de aguas residuales y el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles [5]

Actualmente, en la ciudad de Lima, existen empresas textiles las cuáles descargan sus aguas residuales con altas concentraciones de carga orgánica a los sistemas de alcantarillado. Con la finalidad de reducir los efectos negativos o impactos ambientales que proporcionan los contaminantes presentes en el agua

residual proveniente de industrias textiles, se busca determinar el porcentaje de reducción de carga orgánica aplicando el sistema combinado de coagulación-floculación, ozonización y filtración.

## **1.2. Formulación del problema (problema general y específicos)**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál será el porcentaje de remoción de carga orgánica mediante la coagulación-floculación, ozonización y filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- 1) ¿Cuál será el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la coagulación-floculación de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio?
- 2) ¿Cuál será el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la ozonización de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio?
- 3) ¿Cuál será el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la coagulación, floculación, ozonización y filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio.

### **1.3.2. Objetivo Específico**

- 1) Determinar el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante el proceso de coagulación – floculación de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio.
- 2) Determinar el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la ozonización de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio.
- 3) Determinar el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio.

#### **1.4. Justificación**

Los resultados de la presente investigación serán un aporte al cumplimiento de las normas legales de los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario D.S. N° 010–2019–VIVIENDA. Además los resultados de la presente investigación aportarán a la reducción del impacto ambiental de las aguas residuales de la industria textil, y en consecuencia aportando al logro del objetivo 6 para el desarrollo sostenible.

A través de esta investigación, se busca contribuir al conocimiento científico en el campo del tratamiento de aguas residuales textiles, proporcionando soluciones prácticas y sostenibles. Además, se pretende generar información relevante para empresas del sector textil, entes fiscalizadores y comunidad científica, con el fin de promover actividad más responsables y eco amigables en la gestión de aguas residuales industriales.

Finalmente, el propósito central es promover el equilibrio entre el desarrollo industrial y la preservación ambiental, fomentando la implementación de procesos y tecnología que minimicen el impacto adverso de la industria textil en los recursos hídricos y en el entorno natural.

#### **1.5. Delimitantes de la investigación (teórico, temporal y espacial)**

El tratamiento para la remoción de la carga orgánica se puede aplicar en lugar inmediato a la zona de descarga de efluentes.

##### **1.5.1. Delimitación teórica**

Esta investigación está enmarcada por la teoría de tratamiento de aguas residuales no domésticas a nivel primario y terciario. Métodos de análisis colorimétrico y respirométrico para la cuantificación de la carga orgánica.

##### **1.5.2. Delimitación temporal**

El tratamiento para las aguas residuales de una industria textil se puede aplicar en cualquier época del año, para nuestra investigación se realizó las corridas experimentales según el cronograma de ejecución.

##### **1.5.3. Delimitación espacial**

El tratamiento para la remoción de la carga orgánica del agua residual proveniente de una industria textil, se realizó en el laboratorio de la empresa

Soluciones Químicas Ambientales.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

GILPAVAS, *et al* [6] en su estudio realizado, tuvo como objetivo evaluar el tratamiento de aguas residuales de una industria textil mediante los procesos secuenciales de coagulación–floculación, seguido de un proceso avanzado de oxidación (PAO), Fenton ( $H_2O_2/Fe^{2+}$ ) o foto–Fenton ( $UV/H_2O_2/Fe^{2+}$ ) intensificados con radiación de ondas de ultrasonido (US) de baja frecuencia. La muestra de agua fue tomada del tanque de homogenización de aguas residuales, de los procesos de lavado, desengomado y tinturado, de una empresa textil dedicada a la fabricación de pantalones de Medellín, Colombia. Los parámetros iniciales que analizaron presentaron valores de pH de 7,06, Conductividad de 4 520  $\mu S/cm$ , Turbidez de 308 NTU, DQO de 420 mg/L, DBO5 de 36,5 mg/L, COT de 124 mg/L y Sólidos Totales de 1 341 mg/L; el procedimiento para medir la DQO fue el método colorimétrico. En el proceso de coagulación-floculación se realizó en un volumen de 2L y aun pH de 7,06, con agitación rápida de 500 rpm durante 1 min, agitación lenta de 20 rpm durante 20 min, y 15 min para la sedimentación de flocs, donde, determinaron que la dosis óptima es de 800 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  al 99% de pureza (Panreac), debido a que hubo mayor porcentaje de remoción de turbidez y la DQO pasó de 420 mg/L a 195 mg/L. Finalmente, concluye que el proceso de coagulación–floculación es eficiente para la remoción del 99% de la turbidez y un 53% de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el agua residual textil.

NTAMPOU X., *et al* [7] en su investigación titulada “Combinación adecuada de métodos fisicoquímicos (coagulación/floculación y ozonización) para el tratamiento eficaz de los lixiviados de vertedero” tiene como objetivo proporcionar un método eficaz para el tratamiento de lixiviados estabilizados/pretratados biológicamente, a fin de reducir el contenido de contaminantes orgánicos a valores inferiores a los límites correspondientes. Para esto, se recogieron lixiviados de un vertedero municipal, las muestras contenían alrededor de 1 000 mg  $l^{-1}$  y una relación DBO5/DQO de 0,17; se trataron utilizando dos procesos diferentes o sus combinaciones, ozonización y

coagulación-floculación. La aplicación de la ozonización resulto eficiente para la eliminación de color y carga orgánica; la coagulación de las muestras lixiviadas se estudió mediante la aplicación de agentes de cloruro férrico o de policloruro de aluminio a distintas dosis. Las tasas máximas de eliminadas de DQO (hasta el 72%) se alcanzaron mediante la adición de 7 mM de Fe, o de 11 mM de Al, respectivamente. Sin embargo, los valores finales de DQO superiores de 200 mg l<sup>-1</sup> indican la necesidad de un tratamiento adicional. Se demostró que la coagulación–floculación seguida de la ozonización es un proceso eficiente para la reducción de DQO a menos de 180 mg l<sup>-1</sup>

PAPADOPOULOS et al [8]. En su investigación tuvo por objetivo examinar la eficacia de la oxidación química mediante el reactivo de Fenton (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>) para reducir el contenido de carga orgánica de las aguas residuales proveniente de la industria textil. La metodología para la oxidación química se realizó por triplicado, utilizando peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) en presencia de hierro ferroso (Fe<sup>2+</sup>) como catalizador, se utilizó un reactor apropiado de 2 L de vidrio de borosilicato, con deflectores para minimizar el vórtice y el flujo de rotación. vórtice y el flujo rotacional. Los reactores se llenaron con 2 L de aguas residuales y, a continuación, el pH de la solución se ajustó a 3 L, utilizando ácido sulfúrico 1 M. La temperatura del reactor se mantuvo mediante un circulador de agua a temperatura ambiente. Se añadió solución de peróxido de hidrógeno (perhydrol que contiene un 30% p/p de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Merck) en varias dosis a volúmenes conocidos de muestras de aguas residuales (2 L) con la adición de varias dosis de Fe<sup>2+</sup> (en forma de solución de FeSO<sub>4</sub>–7H<sub>2</sub>O), a fin de seleccionar las cantidades óptimas de los reactivos para el desarrollo del método (serie experimental de test de jarras). Los resultados experimentales indican que el proceso de oxidación conduce a una reducción de la concentración de demanda química de oxígeno (DQO) hasta un 45%. Además, la reducción es razonablemente rápida en las primeras etapas del proceso, porque la concentración de DQO disminuye hasta un 45% en cuatro horas y el tiempo de tratamiento posterior no se suma a la disminución global de la concentración de DQO (reducción del 48% en seis horas). La eliminación máxima de color alcanzada fue del 71,5%. Además, las alteraciones observadas en la materia orgánica durante el desarrollo del



proceso, como indican las relaciones DQO/TOC y DBO/COD y el estado de oxidación, muestran que una gran parte de las sustancias orgánicas, que no son completamente mineralizadas, son sometidas a cambios estructurales hasta convertirse en subproductos orgánicos intermedios.

AHMAD K. y KHALID [9]. En su investigación estudia la viabilidad de utilizar un sistema de tratamiento híbrido basado en procesos de coagulación/floculación, adsorción y filtración para el tratamiento real de aguas residuales textiles. Se utilizó cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) como coagulante, nano hierro cero – valente (nZVI) como adsorbente y micro zeolita (MZ) como medio filtrante para la eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), color, nitrógeno total (NT) y turbidez de los efluentes textiles brutos. Se llevaron a cabo estudios de escalado de alimentación continua y por lotes (diseño completo y estudios de puesta a punto) para evaluar el rendimiento del sistema de tratamiento integrado para tratar aproximadamente 1,5 l/min de agua residual textil real en aproximadamente 1,2 h en seis ejecuciones operativas (I, II, III, IV, V, VI). Los resultados obtenidos mostraron una mayor capacidad de eliminación de DQO, SST, NT, turbidez y color en todos los ciclos. La eliminación media alcanzó el 97,% para la DQO, el 98% para el SST, el 98,4% para el color, el 86,1% para el TN y el 93,5% para la turbidez. Se realizó un estudio de evaluación económica para tratar 200 m<sup>3</sup>/día de efluentes textiles con el fin de evaluar la aplicabilidad comercial del sistema. Todos los datos obtenidos a partir de los estudios por lotes, de alimentación continua y económicos verificaron la eficacia de la aplicación del sistema de tratamiento integrado de coagulación/floculación, adsorción y filtración a bajo coste para la remediación real de efluentes textiles.

NUNO J. et al [10] en su investigación evaluó un novedoso proceso de tratamiento de aguas residuales de bodegas, mediante la aplicación de un proceso de base química destinado a disminuir el alto contenido de carbono orgánico. En primer lugar, se optimizó un proceso de coagulación-floculación-decantación (proceso CFD) mediante un diseño reticular simplex. Posteriormente, se evaluó la eficacia de un sistema UV-C/hierro férrico/ozono para la eliminación de carbono orgánico en aguas residuales de bodegas. Este sistema se aplicó solo y en combinación con el proceso CFD (como pre y

postratamiento). El proceso de coagulación-floculación-decantación, con una mezcla de 0,48 g/L de caseinato potásico y 0,52 g/L de bentonita a pH 4,0, alcanzó 98,3%; 97,6% y 87,8% de eliminación de turbidez, sólidos suspendidos totales y polifenoles totales, respectivamente. Para el proceso de ozonización, el pH requerido y la concentración de hierro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) fueron variables cruciales en la optimización del tratamiento. Con la aplicación de las mejores condiciones operativas (pH = 4,0:  $[\text{Fe}^{2+}] = 1,0 \text{ mM}$ ), el sistema UV-C/hierro ferroso/ozono consiguió una eliminación del 63,2% del carbono orgánico total (COT) y un consumo energético de  $1\ 843 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ . orden-1. La combinación de DFC y La combinación de los procesos de CFD y ozonización aumentó la eliminación de COT al 66,1 y 65,5%, respectivamente, para los sistemas ozono/hierro ferroso/UV-C/CFD. hierro ferroso/UV-C/CFD y CFD/ozono/hierro ferroso/UV-C, respectivamente. Además, se evaluó el índice de germinación de varias semillas y se observaron valores excelentes (>80%), lo que reveló la reducción de la fitotoxicidad. En conclusión, la combinación de los procesos CFD y UV-C/hierro ferroso/ozono es eficiente para el tratamiento de aguas residuales eficaz para el tratamiento de WW

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

ZEVALLLOS M., *et al* [11] presentó su investigación titulada “Tratamiento fisicoquímico de los efluentes del proceso de lavado de lana en una industria textil de Arequipa”. Investigación realizada con el objetivo de evaluar el tratamiento fisicoquímico (coagulación – floculación) para dar cumplimiento con los valores máximos admisibles (VMA). Del proceso de lavado de lana, se tomaron muestras compuestas de agua residual por un tiempo de 24 horas. Se caracterizó la muestra inicial considerando los parámetros del **Anexo 1** de los VMA, donde, presentó un valor de DQO de  $1\ 407,9 \text{ mg/L}$ . Para el proceso de coagulación y floculación, se utilizó  $\text{FeCl}_3$  al 40% como coagulante y floculante: MT-FLOC, donde, a una dosis de  $200 \text{ mg/L}$   $\text{FeCl}_3$  al 40% y de  $0,8 \text{ mg/L}$  MT-FLOC se logró remover el 79,36% de DQO, siendo este un valor de  $290,6 \text{ mg/L}$ , dando cumplimiento a la normativa peruana de VMA ( $1000 \text{ mg/L}$  de DQO). Se concluye que el proceso aplicado de coagulación–floculación resulta factible para su aplicación en aguas residuales de lavado de lana de una industria textil.

BLAZ F. y LOPEZ P. [12] en su investigación tuvo por objetivo evaluar a los diferentes procesos de ozonización utilizados en la reducción de DQO en aguas residuales industriales. La metodología empleada es una revisión sistemática de artículos recuperados de las plataformas digitales Scopus, Dialnet, Scielo, Redalyc, ScienceDirect y Semantic Scholar; de las cuales se seleccionaron 30 artículos. Los resultados muestran que, los procesos no fotoquímicos de ozonización abarcaron un 89% en los tratamientos a efluentes industriales; las técnicas a base de ozono reducen entre 92% – 98%, las de oxidación electroquímica entre 92% – 96%, las fotocatalíticas entre 90% – 95% y las de Fenton entre 80% – 94%; y posicionan a las técnicas de coagulación-floculación con un 46% como las más requeridas en los tratamientos de oxidación. De manera que se comprueba que los procesos no fotoquímicos reducen el DQO en aguas residuales industriales en las que se incluye la textil. Los procesos más eficientes resultados ser la ozonización y la oxidación electroquímica acompañados de coagulación-floculación.

CASTELLANOS S. y TUSARMA M.[13] en su investigación tuvieron por objetivo evaluar la efectividad de remoción de colorantes en aguas residuales por tratamientos de adsorción–coagulación-floculación de la empresa textil CO&TEX S.A. Para esto, se utilizó carbón activado y bentonita como adsorbente, Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio líquidos como coagulantes y como ayudante de floculación el almidón de yuca y un polímero sintético; se realizó el tratamiento fisicoquímico combinado a los colorantes Rojo, Negro, Azul, Café (tricromía) y una mezcla obtenida de los procesos de índigo y teñido. Para la remoción de color, en el rojo se removió 75,15% utilizando almidón como floculante; para el colorante negro se removió 81,66% siendo la mejor combinación PAC–Almidón; para el colorante azul se removió 90,94% siendo la combinación más eficiente P.A.C–Almidón. En el colorante café se removió un 89,04% utilizando el sistema S.A.L–floculante y finalmente la se removió 68% la mezcla empleando S.A.L–Almidón, además disminuyó la carga orgánica DQO alrededor de un 45,71%

ROSALES [14]. En su investigación tuvo por objetivo evaluar la aplicación del proceso fenton para reducir la concentración de residuos de colorantes directos

empelados en la industria textil de la zona de zarate en san juan de Lurigancho vertidos en sus efluentes en el periodo 2017. Para lo cual, se aplicó ozonización para la degradación de los colorantes. Se utilizó el proceso Fenton en la degradación de colorantes y reducción de carga orgánica, para ello se buscó la dosis optima de concentración tanto del oxidante ( $H_2O_2$ ) como el del catalizador ( $Fe^{+2}$ ). Los resultados indicaron una reducción del contenido inicial de  $>100$  a 13 unidades colorimétricas una turbidez inicial de 118,3 a 6,3 UNT así mismo un DQO inicial de 1 390 mg/L a 470,5 mg/L. El proceso fenton es un método adecuado para la remoción de porcentajes altos de colorantes, dando así la posibilidad de reutilizar o reciclar las aguas tratadas.

ROSALES [14]. En su investigación tuvo por objetivo evaluar la aplicación del proceso fenton para reducir la concentración de residuos de colorantes directos empelados en la industria textil de la zona de zarate en san juan de Lurigancho vertidos en sus efluentes en el periodo 2017. Para lo cual, se aplicó ozonización para la degradación de los colorantes. Se utilizó el proceso Fenton en la degradación de colorantes y reducción de carga orgánica, para ello se buscó la dosis optima de concentración tanto del oxidante ( $H_2O_2$ ) como el del catalizador ( $Fe^{+2}$ ). Los resultados indicaron una reducción del contenido inicial de  $>100$  a 13 unidades colorimétricas una turbidez inicial de 118,3 a 6,3 UNT así mismo un DQO inicial de 1 390 mg/L a 470,5 mg/L El proceso fenton es un método adecuado para la remoción de porcentajes altos de colorantes, dando así la posibilidad de reutilizar o reciclar las aguas tratadas.

## **2.2. Bases teóricas**

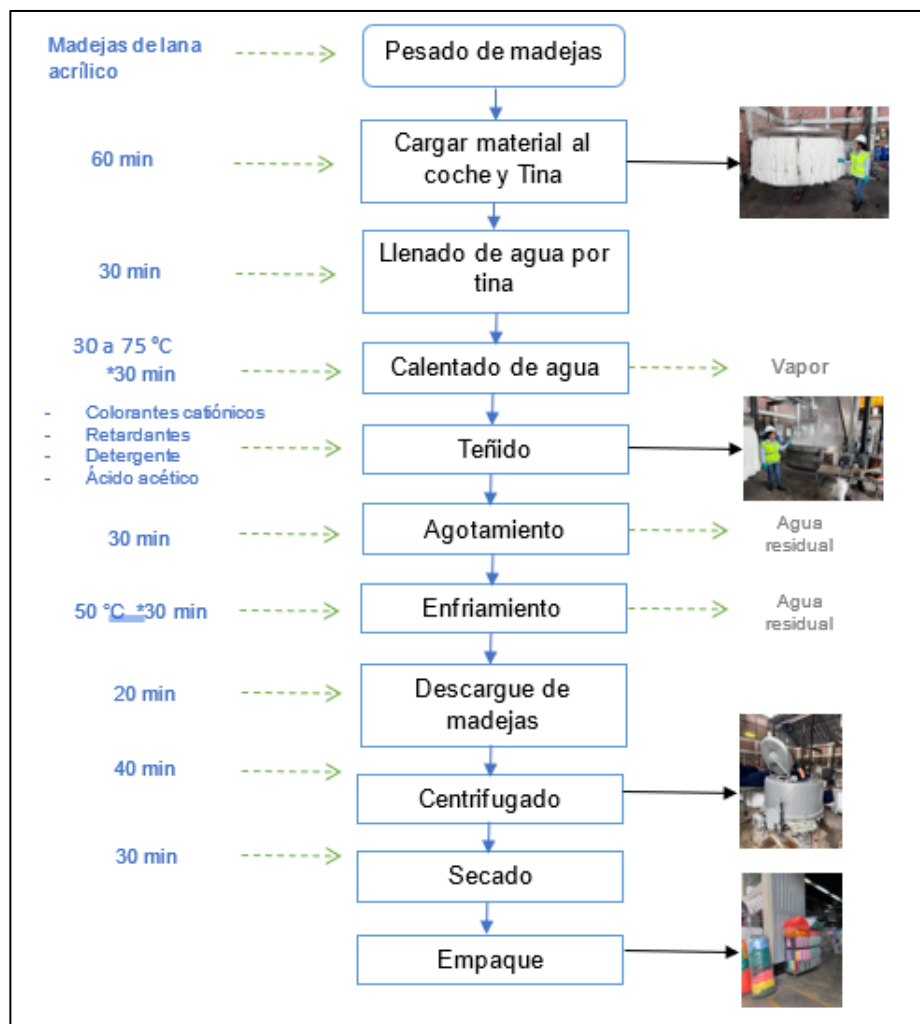
### **2.2.1. Agua residual textil**

El agua residual textil, es el agua que se genera en los diferentes procesos dentro de la industria textil como el lavado, teñido, estirado, etc. Debido a estos procesos, el agua residual puede contener fenoles, sulfuros, cromo y colorantes [15] Estas sustancias pueden afectar la biodiversidad acuática, afectan negativamente algunos parámetros como oxígeno disuelto, demanda bioquímica y carga orgánica [16] El proceso de lavado de la actividad textil requiere de una gran cantidad de agua, así como una variedad de aditivos químicos (soda caustica, alquilfenoles, compuestos organoestannicos, etc.) para

tratar las prendas y darles diferentes acabados, por consecuencia estas aguas residuales poseen una gran variedad de contaminantes que luego son descargados a la fuente de agua superficial más cercana [17]

En la **Figura 1**, se presenta el diagrama de flujo del proceso de teñido de madejas de fibra acrílica.

**Figura 1**  
**Diagrama de Flujo del proceso de teñido de madejas de fibra acrílica en la empresa NEGOCIOS HYD S.A.C.**



**Nota :** Proceso de teñido para la obtención de madejas de fibras acrílicas en la empresa NEGOCIOS HYD S.A.C.

### 2.2.2. Carga orgánica

Es la cantidad de materia orgánica aplicada a un proceso o tratamiento, también se puede definir como contenido de compuesto de carbono en un efluente. La

cantidad de materia orgánica es capaz de establecer la calidad del agua residual y se puede cuantificar en los parámetros DBO5 y DQO [18].

La población microbiana descompone la materia orgánica disuelta en el agua residual, que se puede medir como demanda química de oxígeno (DQO) o demanda bioquímica de oxígeno (DBO). [19]

### **2.2.3. Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales**

El tratamiento fisicoquímico de aguas residuales, son un conjunto de procesos que tienen la finalidad de la alteración de las propiedades físicas y químicas del agua residual, mediante la adición de productos químicos para facilitar su tratamiento, el proceso fisicoquímico ha sido utilizado extensamente en la potabilización de agua y tratamiento de aguas residuales [20]. Para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria textil, es recomendable la aplicación de los procesos de coagulación-floculación usando una combinación de sal de aluminio y un polímero aniónico de peso molecular medio como floculante [21]

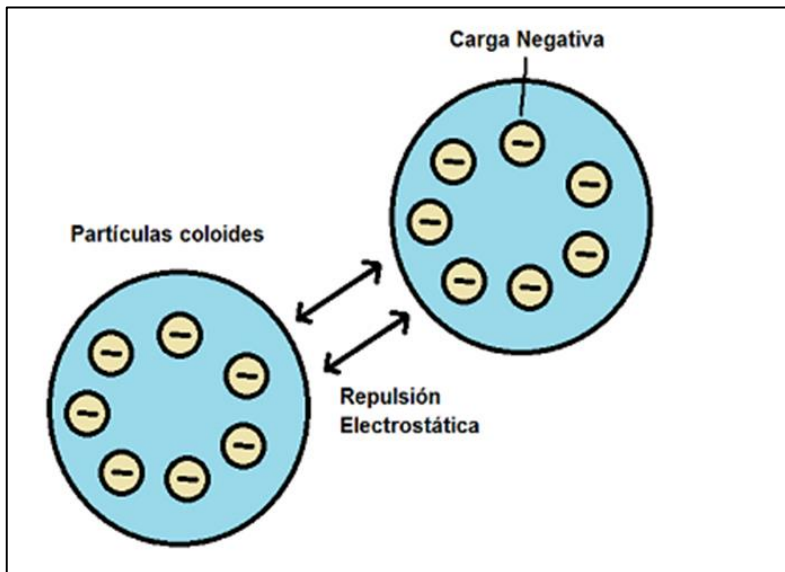
### **2.2.4. Coagulación**

La coagulación es un proceso empleado en el tratamiento de aguas residuales, consiste en neutralizar las partículas coloidales suspendidas en el agua permitiendo que se puedan sedimentar con el efecto de la gravedad [22] Las partículas coloidales se encuentran cargadas negativamente dentro del agua, lo que implica que están estables debido a la repulsión electrostática, indicando que la repulsión electrostática es mayor a la fuerza de atracción de Van der Waals, causando que no se aglomeren, debido a que, cuando agregamos un coagulante, estas se hidrolizan y produce la desestabilización de las partículas coloidales por adsorción específica de los productos de hidrólisis, que son de carga positiva, provocando una neutralización de cargas [23]

Algunos de los coagulantes más utilizados son los siguientes:

- a) Sulfato de aluminio.**- Probablemente sea el coagulante más utilizado, se fabrica a partir de bauxita o minerales de aluminio con ácido sulfúrico. El producto seco puede almacenarse en depósitos de hormigón, mientras que el producto líquido es corrosivo y deben almacenarse en tanques de plomo [24]

**Figura 2**  
**Repulsión electrostática presentes en las partículas coloidales**

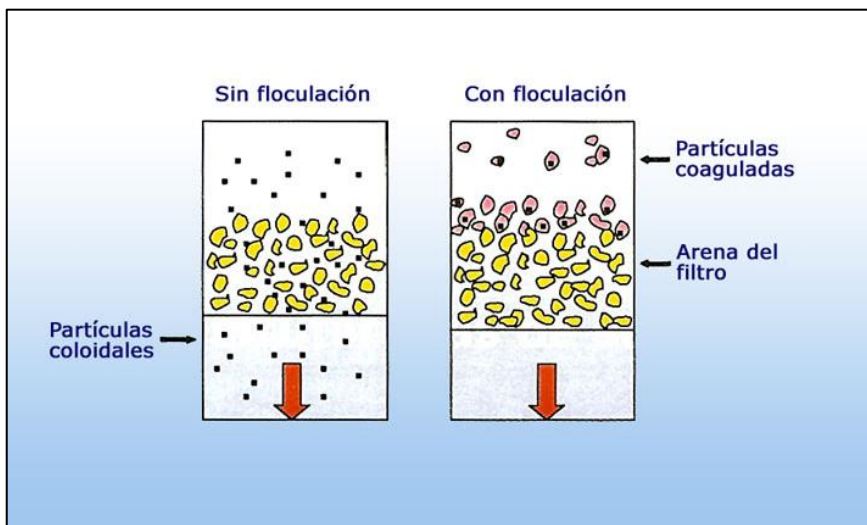


- b) Cloruro de aluminio.**- El cloruro de aluminio se suministra generalmente en forma de una solución que contiene un 20% de  $Al_2O_3$  con un pH y una densidad aproximadamente de 2,5 y 1 300 Kg respectivamente. Ha sido utilizado significativamente para el acondicionamiento de lodos [24]
- c) Policloruro de aluminio.**- Es un producto relativamente nuevo, se podría decir que es un cloruro de aluminio parcialmente hidrolizado que añade una pequeña cantidad de sulfato. En las aguas turbias, el uso de este coagulante puede reducir significativamente los problemas de eliminación de lodos [25]  
El policloruro de aluminio se utiliza de manera líquida.

### **2.2.5. Floculación**

La floculación es el proceso complementario de la coagulación, consiste en que las partículas sin cargas se aglomeren al ponerse en contacto unas con otras. Puede ser causada la colisión entre las partículas, debido a que como las cargas fueron neutralizada o reducidas, las fuerzas de atracción de Van der Waals predominan sobre la fuerza de repulsión electrostática [23] La floculación solo se produce si las partículas colisionan entre sí y estas poseen poca estabilidad coloidal; estas etapas se pueden denominarse "Transporte y Adhesión"[26]

**Figura 3**  
**Principios de la floculación**



La elección adecuada de floculantes es de suma importancia, porque así evitamos la excesiva producción de fangos. Los floculantes más utilizados son los siguientes:

- a) **Sílice activada.**- Fue de los primeros floculantes empleados, y sigue dando resultados muy eficientes cuando se emplean sales de aluminio. Su mayor desventaja es su inestabilidad [23]
- b) **Arcillas.**- Son añadidas como lechadas para aumentar la frecuencia de las colisiones y aumentar el peso del floculo, afectando significativamente en la velocidad de sedimentación [27]
- c) **Polímeros orgánicos naturales.**- Proviene principalmente de polisacáridos proveniente de extracto de semillas, cortezas vegetales, almidón, pectina y están constituidos principalmente de carbohidratos [28]
- d) **Polímeros orgánicos sintéticos.**- Productos de la transformación química de los derivados de petróleo.

#### **2.2.6. Ozonización**

La ozonización es una técnica avanzada de oxidación que consiste en diluir ozono en el agua, ocasionando la mejora de la biodegradabilidad, haciendo más fácil el tratamiento biológico [29] Generalmente se aplica para la potabilización del agua, sin embargo, su aplicación se ha expandido a las aguas residuales, por ejemplo, la aplicación del ozono antes de los procesos de Coagulación-



Floculación ayuda en el proceso de microfloculación de microcontaminantes solubles, debido a que el agua puede contener contaminantes orgánicos como los compuestos órgano-nitrogenados, órgano-clorados, etc [30]

### **2.2.7. Filtración**

La filtración es ampliamente utilizada para el tratamiento de agua, para problemas como el color, turbidez y microorganismos, además que cumple un papel importante en la eliminación de patógenos [31] La filtración es una técnica de separación física que tiene la finalidad de separar sólidos de un medio líquido o gaseoso mediante la interposición de un medio poroso; un medio filtrante que es muy utilizado es el carbón activado, debido a que remueve color, olor y sabor de una diversidad de productos, esto es debido a sus características fundamentales que son la elevada capacidad de eliminación de sustancias y baja selectividad de retención [32]

## **2.3. Conceptual**

### **2.3.1. Agua residual textil**

Las aguas residuales textiles presentan grandes concentraciones de diversos contaminantes, haciendo que su descarga en el medio ambiente sea perjudicial, por ello se aplicara los procesos de coagulación-floculación, ozonización y filtración como alternativa para la remoción de carga orgánica.

### **2.3.2. Coagulación**

La coagulación viene a ser el proceso de desestabilización de las partículas coloidales, anulando la repulsión electrostática, la cual se produce al neutralizar las cargas negativas de las partículas coloidales añadiendo un agente coagulante de carga positiva.

### **2.3.3. Floculación**

La floculación es un proceso donde las partículas sin cargas se aglomeran formando flóculos. La ozonización es la acción de añadir ozono en el agua, mejorando la biodegradabilidad de los contaminantes, y finalmente la filtración, que se encargara de separar los sólidos del líquido.

## 2.4. Definición de términos básicos

- a) **Coagulante.**- Son productos químicos utilizados para la coagulación en el tratamiento de aguas residuales, produce la neutralización de cargas de las partículas coloidales.
- b) **Floculante.**- Son polímeros que se adicionan al agua residual como el complemento del coagulante, con pesos moleculares muy elevados, formando bloques denominados monómeros.
- c) **Filtro.**- Es un objeto que sirve para separar las partes sólidas de un líquido, permitiendo que las sustancias pasen a través de él, mientras que los sólidos se mantienen afuera.
- d) **Sulfato de Aluminio.**- Es una sal sólida, usualmente utilizada en el tratamiento de aguas residuales, debido a que es un coagulante, uno de los más utilizados a nivel internacional
- e) **Carbón activado.**- Es un elemento altamente poroso, que generalmente se utiliza como filtro debido a su capacidad adsorbente, lo cual permite la eliminación de color, sabor del agua.
- f) **DBO.**- Es la demanda bioquímica de oxígeno, y determina la cantidad de oxígeno disuelto que es necesario para descomponer materia orgánica a temperaturas específicas y en un periodo de tiempo determinado, mediante los microorganismos en condiciones. Demanda Química de Oxígeno (DQO) Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y poder convertirlos a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, cuanto mayor sea la el DQO es más contaminado el agua.
- g) **VMA.**- Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aquellos valores que indican una concentración de sustancias, elementos o parámetros de las descargas que realizan las industrias en una red de alcantarillado.

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis General y Específica**

##### **General**

El porcentaje de remoción de carga orgánica mediante la coagulación-floculación, ozonización y filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio será mayor a 80%

##### **Específica**

- 1) El porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la coagulación-floculación de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio será mayor a 30%
- 2) El porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la ozonización de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio será mayor a 30%
- 3) El porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio será mayor a 25%

#### **3.1.1. Operacionalización de variables**

En la **Tabla 1 (Ver pag 28)** se muestra la operacionalización de variables, considerando la variable dependiente y las independientes, y se describe las definiciones conceptuales y operacionales que conlleva la investigación.

**Tabla 1**  
**Operacionalización de variables**

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Método	Técnica
Y = Remoción de carga orgánica	Materia orgánica en el agua residual que puede medirse como demanda química de oxígeno (DQO) o como demanda bioquímica de oxígeno (DBO). [18].	Porcentaje de reducción de materia orgánica en el agua residual textil medida como DQO y DBO, mediante el tratamiento de coagulación-floculación, ozonización y filtración.	Remoción	- DQO % - DBO %	- Método colorimétrico. - Método electrométrico	- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed, Part 5210 B, 24th Ed.
X = Agua residual textil.	Agua que se genera en los diferentes procesos textiles como pretratamiento, y teñido. [15]	Agua que se genera durante el pretratamiento y teñido de hilos de fibra sintética con alta carga orgánica.	Carga orgánica inicial	- DQO – mg/L - DBO – mg/L	- Método colorimétrico. - Método electrométrico	- SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed, Part 5210 B, 24th Ed.
X <sub>1</sub> = Coagulación – floculación	Proceso que consiste en neutralizar las partículas coloidales suspendidas en el agua permitiendo que se puedan sedimentar con el efecto de la gravedad [22] mediante la ayuda de un coagulante y la floculación consiste en la aglomeración de las partículas sin cargas [30].	Proceso para reducir la carga orgánica utilizando coagulante y dosis constante floculante.	Dosis de coagulante	- 200 ppm - 300 ppm	- Volumétrico	- Disolución
X <sub>2</sub> = Ozonización	Técnica avanzada de oxidación que consiste en uso de ozono en el agua, para mejorar la biodegradabilidad. [29]	Técnica de oxidación avanzada utilizando ozono para reducir carga orgánica en el agua residual textil.	Tiempo de ozonización	- 5 min - 10 min - 20 min	- Observacional	- Cronometría
X <sub>3</sub> = Filtración con carbón activado	Técnica de separación física mediante un medio poroso como el carbón activado.[32]	Técnica de separación utilizando una columna de carbón activado para reducir carga orgánica en el agua residual textil.	Altura de lecho	- 20 cm - 30 cm	- Adsorción	- Separación sólido- líquido a través de un medio poroso.

## IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

### 4.1. Diseño metodológico

El presente proyecto de investigación es de tipo aplicada, porque se pretende determinar la remoción de la carga orgánica de agua residual, mediante tecnologías y métodos ya establecidos. Debido a su metodología basada en la medición, este enfoque se considera cuantitativo. En cuanto a su nivel, se clasifica como explicativo debido a que establece una relación causal entre las variables. La investigación está orientada a resolver los problemas en los procesos de remoción de carga orgánica en agua residuales provenientes de industrias textiles.[33]

El diseño metodológico es experimental porque se manipularon las variables independientes (X), que son los procesos de coagulación–floculación, ozonización y filtración para determinar los efectos que produce en la variable dependiente (Y) que es la remoción de la carga orgánica del agua residual textil.

Donde:

**Y** : Remoción de la carga orgánica

**X<sub>1</sub>** : Dosis de Coagulante

**X<sub>2</sub>** : Tiempo de Ozonización

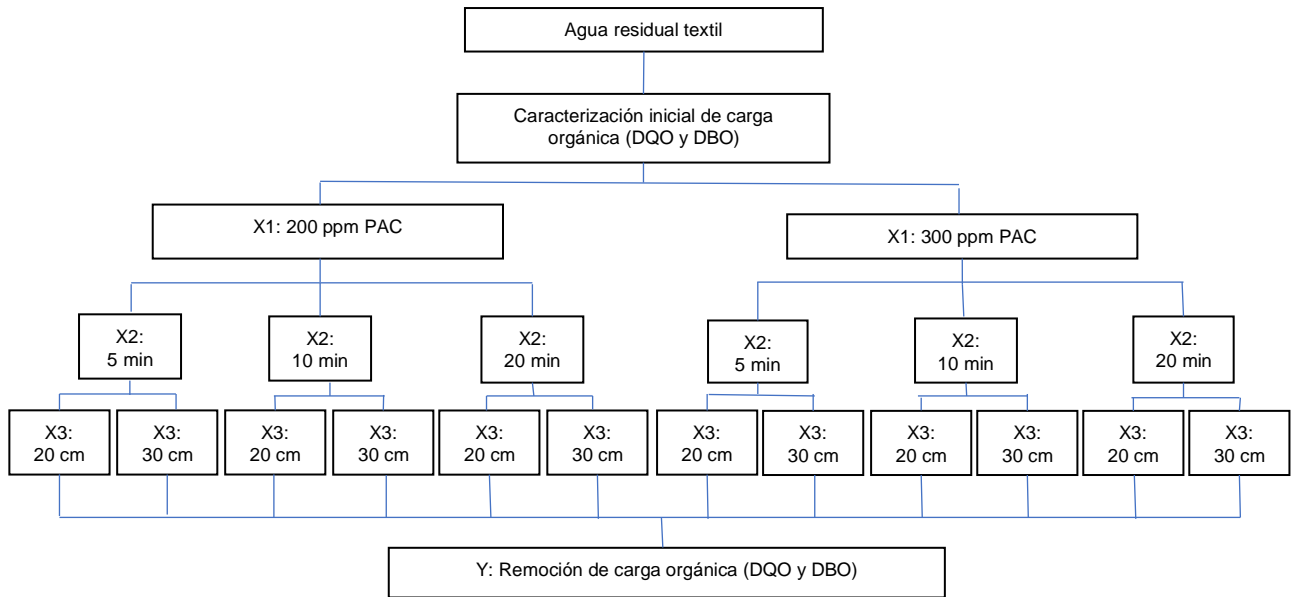
**X<sub>3</sub>** : Filtración con carbón activado

En la **Tabla 2** se muestra el diseño experimental que se realizó con 12 tratamientos (3 factores, 2 niveles para la dosificación de coagulante, filtración con carbón activado y 3 tiempo de ozonización).

**Tabla 2**  
**Diseño experimental**

N°	Factores	Unidades	Notación	Niveles		
				Menor	Medio	Mayor
1	Dosificación de coagulante	ppm	X <sub>1</sub>	200	300	–
2	Tiempo de ozonización	min	X <sub>2</sub>	5	10	20
3	Altura de lecho con carbón activado	cm	X <sub>3</sub>	20	30	–

**Figura 4**  
**Esquema de investigación**



Leyenda:

**X1** : Dosificación de coagulante, Policloruro de aluminio (PAC)

**X2** : Tiempo de ozonización

**X3** : Altura de lecho de carbón activado.

En la **Tabla 3 (Ver pag 31)** se detalla la matriz de experimentación, el experimento básico es de 12 corridas, con 3 réplicas para cada uno, haciendo un total de 36 corridas experimentales.

#### **4.2. Método de investigación**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en 5 etapas:

##### **4.2.1. Etapa 1: Toma de muestra de agua residual textil**

Se realizó una toma de muestra compuesta, porque durante el día generan agua residual producto del teñido de madejas de mínimo 2 o más colores, esto dependen del pedido que tenga el cliente.

El horario establecido de la toma de muestra compuesta fue de 09:00 horas hasta las 15:00 horas, esto se realizó durante 3 días consecutivos para ver comportamiento de la carga orgánica del agua residual textil.

Se tomó la muestra del buzón utilizando un brazo muestreador, aproximadamente se recolectó 40 Litros de muestra de agua residual textil, tal

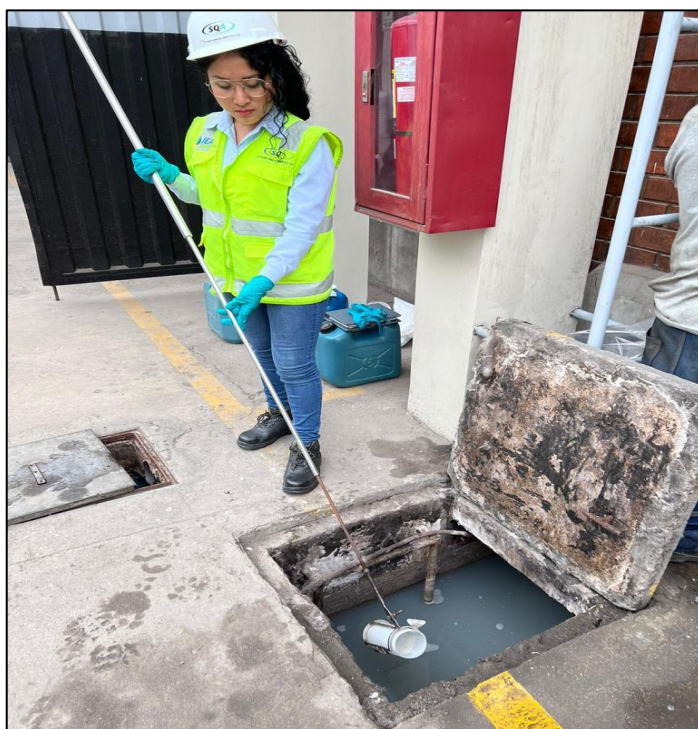
como se observa en la **Figura 4 (Ver Pag N° 30)**

**Tabla 3**  
**Matriz de experimentación**

N°	X <sub>1</sub> (ppm)	X <sub>2</sub> (min)	X <sub>3</sub> (cm)	Remoción DQO y DBO <sub>5</sub> (%)	Remoción DQO y DBO <sub>5</sub> (%)	Remoción DQO y DBO <sub>5</sub> (%)
1	200	5	20	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
2	200	5	30	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
3	200	10	20	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
4	200	10	30	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
5	200	20	20	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
6	200	20	30	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
7	300	5	20	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
8	300	5	30	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
9	300	10	20	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
10	300	10	30	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
11	300	20	20	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
12	300	20	30	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>

Para las corridas experimentales, las muestras de los tres días se mezclaron y homogenizaron como se muestra en la **Figura 5 (Ver pag N° 32)**. Obteniendo un volumen aproximado de 120 L de muestra de agua residual mezclada.

**Figura 5**  
Toma de muestra de agua residual textil.



**Figura 6**  
*Mezcla y homogenización del agua residual textil de los tres días.*





#### **4.2.2. Etapa 2: Caracterización inicial de carga orgánica**

El análisis de carga orgánica (DBO y DQO) se gestionó con el laboratorio acreditado SGS.

**a) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).**- Mediante técnicas de siembra y dilución, se estima la DBO<sub>5</sub> en un rango de pH de 6,5 a 7,5 y a una temperatura de incubación de 20 ± 1,0 grados Celsius. Esto nos permite determinar la concentración de oxígeno molecular consumido durante un período de incubación de cinco días para la descomposición bioquímica de la materia orgánica.[34]

Para el análisis de la DBO, se llenó un frasco completamente con 250 mL de muestra sin dejar burbuja de aire y debe ser conservada a 6°C, tal como se muestra en la **Figura 6 (Ver pag N° 32)**, luego se trasladó al laboratorio acreditado SGS.

**b) Demanda Química de Oxígeno ( DQO ).**- Para el análisis de la DQO, se llenó un frasco con 100ml de muestra para ser preservada con ácido sulfúrico (1:1) y conservada a 6°C, tal como se muestra en la **Figura 7 (Ver pag N° 34)**, luego se trasladó al laboratorio acreditado SGS.

También se realizó el análisis de la DQO siguiendo los lineamientos y procedimiento del Standard Methods [35] en el laboratorio de la empresa Soluciones Químicas Ambientales S.A.C., donde se utilizó un termoreactor de la marca Rocker Scientific, modelo CR25 COD para la digestión, un espectrofotómetro marca Hach, modelo DR1900 y viales de digestión alto rango.

#### **4.2.3. Etapa 3: Tratamiento mediante coagulación y floculación**

Para la primera etapa de coagulación – floculación, la muestra se acondicionó llevando a un pH de 11, porque inicialmente estuvo a un pH ácido como se muestra en la **Figura 8 (Ver pag N° 34)**

**Figura 7**  
**Conservación de la muestra para análisis de DBO5.**



**Figura 8**  
**Análisis de DQO en la empresa Soluciones Químicas Ambientales S.A.C.**



**Figura 9**  
**Caracterización inicial de pH y acondicionamiento a pH 11**



Luego, la muestra mezclada se trasvasó en 4 vasos de 1 L cada uno, se utilizó como coagulante el Policloruro de aluminio (PAC). De acuerdo con la matriz de experimentación, se dosificó 200 ppm y 300 ppm. La dosis de floculante fue de 2 ppm para todos los tratamientos. En la **Figura 9** se evidencia las pruebas de jarras.

Del clarificado obtenido se tomó una muestra de 250 mL para para determinar la DBO y un volumen de 100 mL para la DQO

**Figura 10**  
**Pruebas de Jarras para tratamiento de agua residual textil mediante coagulación – floculación.**



#### 4.2.4. Etapa 4: Tratamiento mediante ozonización

En esta etapa se utilizó un generador de ozono cuyo caudal es de 1 g/hora, los tiempos aplicados fueron de 5 min, 10 min y 20 min, la dosificación de ozono se realizó en un volumen de 500 mL del clarificado en probetas graduadas de 1 L, tal como se observa en la **Figura 10 (Ver pag N° 35)**

**Figura 11**

**Dosificación de ozono al clarificado de la muestra de agua residual textil.**



Después del proceso de ozonización, se recolectó las muestras en recipientes herméticos para determinar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y la demanda química de oxígeno (DQO)

#### 4.2.5. Etapa 5: Tratamiento mediante filtración con carbón activado

Para este proceso de filtración, se utilizaron dos conos Imhoff con lecho de carbón activado a una altura de 20 cm y 30 cm respectivamente. Se usó 500 mL de la muestra tratada del proceso ozonización.

La muestra se agregó lentamente en flujo descendente, con la finalidad de que esta se disperse por todo el lecho filtrante tal como se muestra en la **figura 11**

**Figura 12**  
**Proceso de filtración con carbón activado a una altura de 20 y 30 cm.**



En la **Figura 12** se muestra el diagrama de bloques de las etapas experimentales del presente trabajo de investigación, donde, se detalla las 5 etapas de la parte experimental de la presente investigación; comenzando desde la toma de muestra de agua residual textil hasta el tratamiento final mediante filtración con lecho de carbón activado.

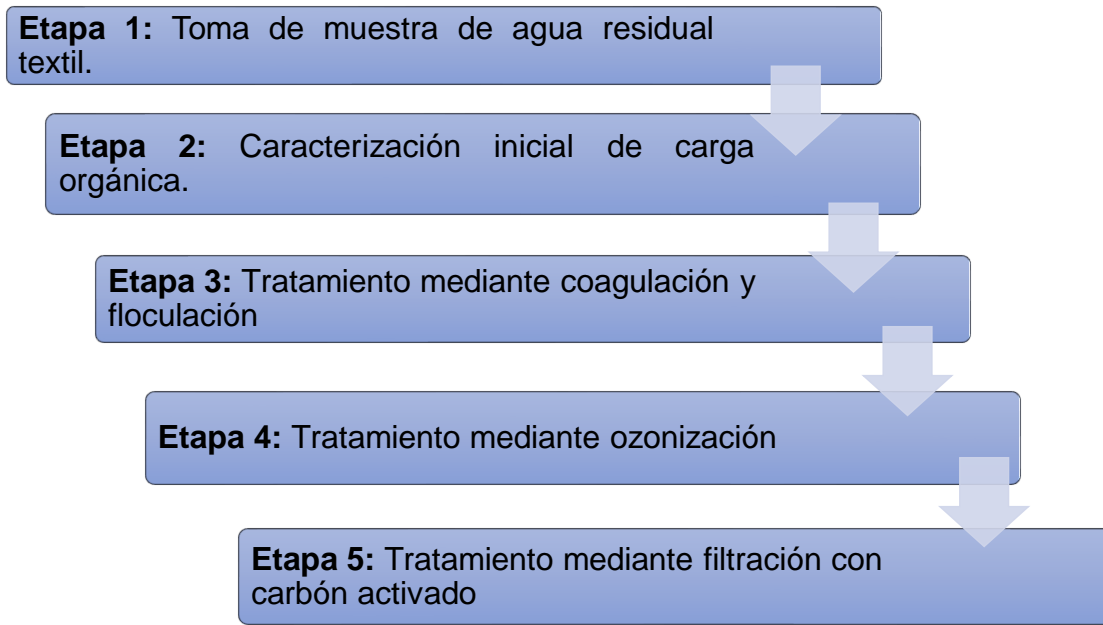
#### **4.3. Población y muestra**

La población de esta investigación está determinada por las aguas residuales del proceso de teñido de una industria textil, ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho - Lima.

La toma de muestra fue de tipo compuesto, se obtuvo del buzón de salida y se recolectaron de las 9:00 horas del día hasta las 15:00 horas por tres días consecutivos para ver el comportamiento de la carga orgánica. Por día, se recolectaron 48 L, y para las corridas experimentales todas las muestras se

mezclaron y homogenizaron, siendo el tamaño de muestra total de 120 L aproximadamente.

**Figura 13**  
**Diagrama de bloques de las pruebas experimentales.**



#### **4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado**

El trabajo de investigación se realizará en las instalaciones del laboratorio de la empresa Soluciones Química Ambientales SAC.

#### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de información**

- a) Técnica.-** La técnica es la observación, toma de muestra y caracterización de los parámetros fisicoquímicos del agua residual.
- b) Instrumentos.-** Los instrumentos que se utilizará son:
  - 1) Hojas de registro de parámetros de campo.
  - 2) Guía de análisis de agua residual según el Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 23rd Edition
  - 3) Hoja de registro de pruebas de coagulación-floculación, ozonización y filtración con carbón activado.

#### **4.5.1. Equipos y materiales**

##### **a) Equipos.**

- 1) Un Generador de ozono de un caudal de 1 g/hora.
- 2) Un Tes de Jarras, de la marca Galli, para el proceso coagulación – floculación.
- 3) Un Medidor multiparámetro. Marca: HACH. Modelo: HQ40D. Medición de pH.
- 4) Un Espectrofotómetro digital. Marca: HACH. Modelo: DR1900. Medición de DQO y viales de digestión alto rango.
- 5) Un Reactor digital. Marca: ROCKER SCIENTIFIC. Modelo: CR–25. Digestión de la muestra de agua residual con los viales para determinación de DQO

##### **b) Materiales.**

- 1) Un Brazo muestreador, para poder tomar la muestra del buzón de agua residual.
- 2) Tres Galoneras se utilizaron para la toma de muestra de agua residual.
- 3) Tres Bidones se usaron para la homogenización de la muestra por día.
- 4) Cuatro Vasos precipitados de 1 Litro, para las pruebas de jarras.
- 5) Dos Probetas graduadas. Material: Vidrio. Capacidad: 1 000 mL. Para aplicación de ozono.
- 6) Dos Conos imhoff con soportes y nueces. Material: acrílico. Capacidad métrica: 1 000 mL. Altura métrica: 480 mm. Cono de filtración con carbón activado.

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

Para el análisis y procesamiento de datos de las pruebas experimentales, se utilizó el software IBM SPSS Statistics y el programa de Excel avanzado. Esta investigación tiene la intención de analizar los datos de las muestras iniciales y finales en cada proceso para el cálculo del porcentaje de remoción de carga orgánica.

#### **4.7. Aspectos Éticos en Investigación**

La tesis presentada es única, con citas y referencias bibliográficas que otorga el reconocimiento de los autores. La investigación fue ejecutada de manera ética,

dando cumplimiento a las normas técnicas pertinentes y al código de ética de investigación de la Universidad Nacional del Callao, el cual fue aprobado mediante la Resolución N° 260–2019–CU



## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

En la **Tabla 4** se muestra los resultados de los valores iniciales de carga orgánica de los tres días, respecto al parámetro de la DBO<sub>5</sub>, el día uno presentó un mayor valor siendo de 386,7 mg/L, y un menor valor el día tres, con 337,9 mg/L. La DQO mayor obtenida fue en el día tres, con un valor de 2 192,7 mg/L, y la DQO mínima, fue del día dos, con un valor de 1 922 mg/L

**Tabla 4**  
**Resultados de la carga orgánica inicial de la muestra de los tres días**

Parámetro	Unidades	Día 1	Día 2	Día 3
DBO <sub>5</sub>	mg/L	386,7	358,3	337,9
DQO	mg/L	2 149,5	1 922,0	2 192,7

Asimismo, se analizó la carga orgánica de la muestra mezclada de los tres días, en la **Tabla 5** se muestra los valores de la DBO<sub>5</sub> y DQO inicial de la mezcla.

**Tabla 5**  
**Carga orgánica inicial de la muestra mezclada de los tres días.**

Parámetro	Unidades	Mezcla
DBO <sub>5</sub>	mg/L	420,9
DQO	mg/L	2 106,3

Los resultados de la DBO<sub>5</sub> y DQO (**Anexos del 1 al 8**) analizadas después de cada tratamiento se utilizaron para calcular el porcentaje de remoción utilizando la siguiente fórmula:

$$\%R = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

- %R** : Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> o DQO (%)
- C<sub>0</sub>** : Concentración de DBO<sub>5</sub> o DQO en el afluente (mg/L)
- C** : Concentración de DBO<sub>5</sub> o DQO en el efluente (mg/L)

### 5.1.1. Determinación del porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante el proceso de coagulación – floculación

Se calculó el porcentaje de remoción considerando los datos iniciales de la **Tabla 5 (Ver pag N° 41)** y los valores del análisis de la DBO<sub>5</sub> (**Anexo 3**). Se obtuvo mayor porcentaje de remoción con una dosis de 300 ppm de coagulante PAC en la primera repetición, con un valor de 94,2%, seguido de un 93,7% en la segunda repetición y el menor porcentaje de remoción resultó a una dosis de 200 ppm en la tercera repetición, con un valor de 84,5%

**Tabla 6**

**Resultados del porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> después del tratamiento de coagulación y floculación**

N°	X <sub>1</sub> (ppm)	Porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> (%)			Promedio (%)
		1	2	3	
1	200	88,8	87,3	84,5	86,9
2	300	94,2	93,7	92,8	93,6

**Nota :** En la tabla las siguientes notaciones y sus variables respuesta son: Dosis de coagulante = X<sub>1</sub> (ppm); Repeticiones: 1, 2 y 3

Con los valores obtenidos del análisis de la DQO (**Anexo 4**) y los datos iniciales de la **Tabla 5 (Ver pag N° 41)** se calculó el porcentaje de remoción. La mejor remoción en este tratamiento se logró con una dosificación de 300 ppm de coagulante PAC en la tercera repetición, alcanzando un 49,1% de remoción, seguido por un 49,0% en la primera repetición. El porcentaje de remoción más bajo se registró en la tercera repetición con una concentración de 200 ppm, llegando a un 40,4%, los valores obtenidos se muestran en la **Tabla 7**

**Tabla 7**

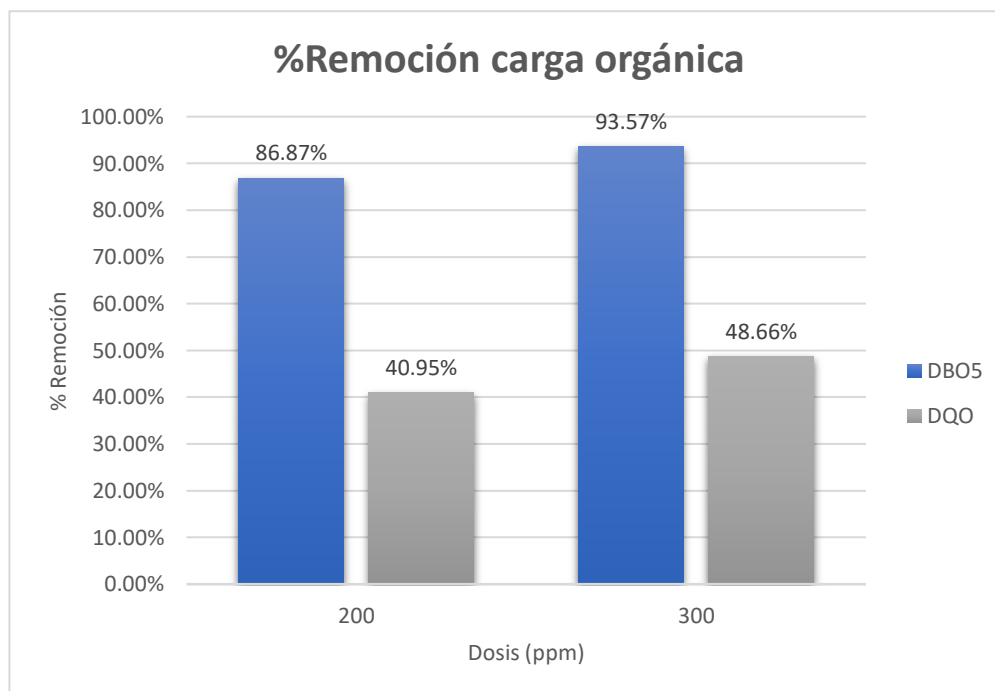
**Resultados del porcentaje de remoción de DQO después del tratamiento de coagulación y floculación**

N°	X <sub>1</sub> (ppm)	Porcentaje de remoción de DQO (%)			Promedio (%)
		1	2	3	
1	200	41,9	40,6	40,4	40,9
2	300	49,0	47,9	49,1	48,7

**Nota :** En la tabla las siguientes notaciones y sus variables respuesta son: Dosis de coagulante = X<sub>1</sub> (ppm); Repeticiones: 1, 2 y 3

En la **Figura 13 (Ver pag Nº 38)** se muestra la gráfica obtenida con los promedios del porcentaje de remoción de la DBO<sub>5</sub> y DQO, concluyendo que a una dosis de 300 ppm se logra una mejor remoción de la carga orgánica, donde, se alcanzó un 93,57% de remoción de la DBO<sub>5</sub> y un 48,66% de remoción de la DQO

**Figura 14**  
**Gráfica de % remoción de carga orgánica con una dosis de 200 y 300 ppm**



### 5.1.2. Determinación del porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la ozonización

En la **Tabla 8 (Ver pag Nº 44)** se detallan los resultados del porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> después del tratamiento de ozonización, para la muestra clarificada con 200 ppm el mayor porcentaje de remoción se presenta en la tercera repetición, con dosis de ozono a 20 min, 10 min y 5 min, los valores fueron 51,5%: 48,7% y 50,0% respectivamente. La muestra clarificada con una dosis de 300 ppm, en un tiempo de 5 min alcanzó el mejor porcentaje de remoción, siendo de 56,4% en la tercera repetición, a los 10 min de ozonización se removi6 un 53,0% en la tercera repetición, y a los 20 min el mayor porcentaje alcanzado es de un 53,0% de remoción de DBO<sub>5</sub> en la segunda repetición.

**Tabla 8**

**Resultados del porcentaje de remoción de DBO5 después del tratamiento de ozonización**

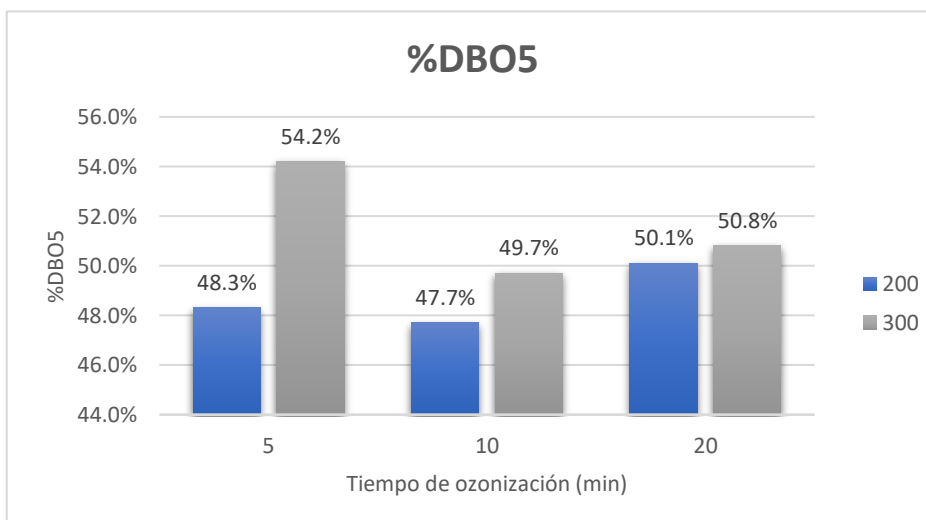
N°	X <sub>1</sub> (ppm)	X <sub>2</sub> (min)	Porcentaje de remoción %DBO5			Promedio (%)
			1	2	3	
1	200	5	48,3	46,6	50,0	48,3
2	200	10	47,0	47,4	48,7	47,7
3	200	20	50,0	48,7	51,5	50,1
4	300	5	52,6	53,6	56,4	54,2
5	300	10	50,6	45,5	53,0	49,7
6	300	20	47,0	53,0	52,3	50,8

**Nota :** En la tabla las siguientes notaciones y sus variables respuesta son: Dosis de coagulante = X<sub>1</sub> (ppm); Tiempo de ozonización = X<sub>2</sub> (ppm); Repeticiones: 1, 2 y 3

En la **Figura 14 (Ver pag N° 43)** se muestra la gráfica con los valores de los promedios del %remoción de DBO5 vs tiempo de ozonización, se deduce que el mejor tiempo de ozonización es de 5 min con la muestra clarificada a una dosis de 300 ppm, logrando una mejor remoción de 54,2% de DBO5, seguido de un 50,8% de remoción en un tiempo de 20 min. De la muestra clarificada con una dosis de 200 ppm, la mayor remoción se obtuvo en un tiempo de 20 min y 5 min, con valores de 50,1% y 48,3% respectivamente.

**Figura 15**

**Gráfica de %remoción de DBO5 vs tiempo de ozonización**



En la **Tabla 9** se detallan los resultados del porcentaje de remoción de DQO después del tratamiento de ozonización, se observó mayor porcentaje de remoción de la muestra del clarificado con dosis de 200 ppm, a los 20 y 10 min con un porcentaje de 20,4%. La muestra con dosis de 300 ppm, en la segunda repetición a los 20 min alcanzó el mejor porcentaje de remoción con un valor de 28,4%, a los 10 min de ozonización se removió un 23,5% en la tercera repetición y a los 5 min se obtuvo un 15,3% de remoción de DBO5 en la segunda repetición.

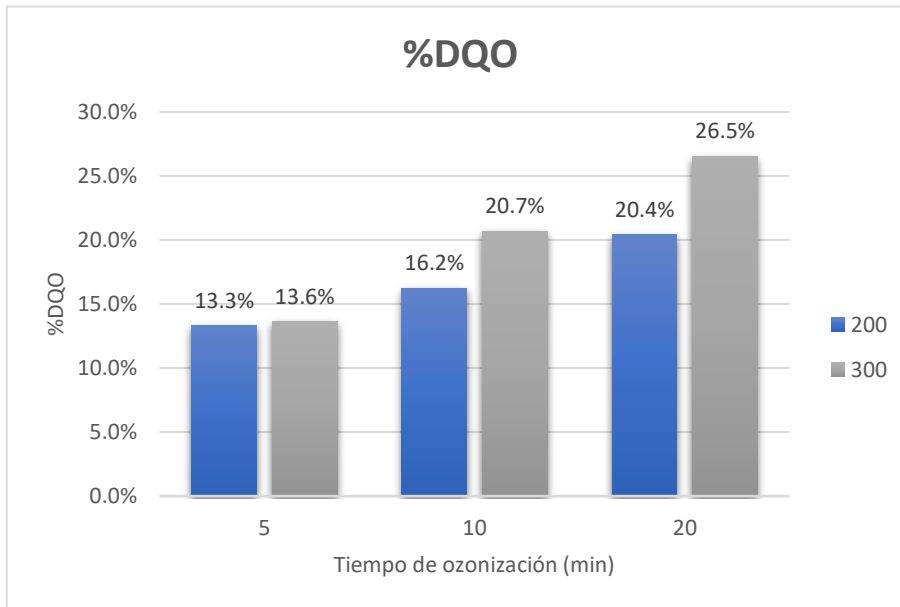
**Tabla 9**  
**Resultados del porcentaje de remoción de DQO después del tratamiento por ozonización**

N°	X <sub>1</sub> (ppm)	X <sub>2</sub> (min)	Porcentaje de remoción %DQO			Promedio (%)
			1	2	3	
1	200	5	12,2	11,4	16,3	13,3
2	200	10	20,4	11,8	16,3	16,2
3	200	20	20,4	20,4	20,4	20,4
4	300	5	12,2	15,3	13,3	13,6
5	300	10	17,3	21,4	23,5	20,7
6	300	20	23,5	28,4	27,5	26,5

**Nota :** En la tabla las siguientes notaciones y sus variables respuesta son: Dosis de coagulante = X<sub>1</sub> (ppm); Tiempo de ozonización = X<sub>2</sub> (ppm); Repeticiones: 1, 2 y 3.

En la **Figura 15 (Ver pag N° 44)** se presenta la gráfica de %remoción de DQO vs tiempo de ozonización; se utilizaron los promedios de los porcentajes de remoción de la DQO, se puede interpretar que el mejor tiempo de ozonización es de 20 min, donde, la muestra clarificada a una dosis de 300 ppm, logra una mejor remoción de la DQO, con un valor de 26.5%, seguido de un 20,7% de remoción en un tiempo de 10 min, de la muestra clarificada con una dosis de 200 ppm, la mayor remoción se obtuvo en un tiempo de 20 min y 10 min, con valores de 20,4% y 16,2% respectivamente.

**Figura 16**  
**Gráfica de %remoción de DQO vs tiempo de ozonización**



### **5.1.3. Determinación del porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la filtración con carbón activado**

Para el último tratamiento se tuvo seis muestras obtenidas de los tres tiempos de ozonización, estas muestras fueron filtradas a una altura de 20 y 30 cm del lecho de carbón activado, realizando 12 corridas experimentales. En base a los datos recolectados, el cálculo del porcentaje de remoción se muestra en las **Tablas 10 (Ver pag Nº 47) y 11 (Ver pag Nº 49)**

El mejor porcentaje de remoción respecto a la DBO5, fue de la muestra clarificada con dosis de 200 ppm, en un tiempo de ozonización de 20 min y a la altura del lecho de 30 cm, con un valor de 68,09% de remoción de DBO5, y el menor valor, fue a la altura del lecho de 20 cm, con 33,33% de remoción, de la misma manera, del clarificado con dosis de 300 ppm, en un tiempo de ozonización de 20 min, y a una altura de 30 cm el valor obtenido es de 67,66%, siendo el segundo mayor porcentaje de remoción de DBO5 para este tratamiento.

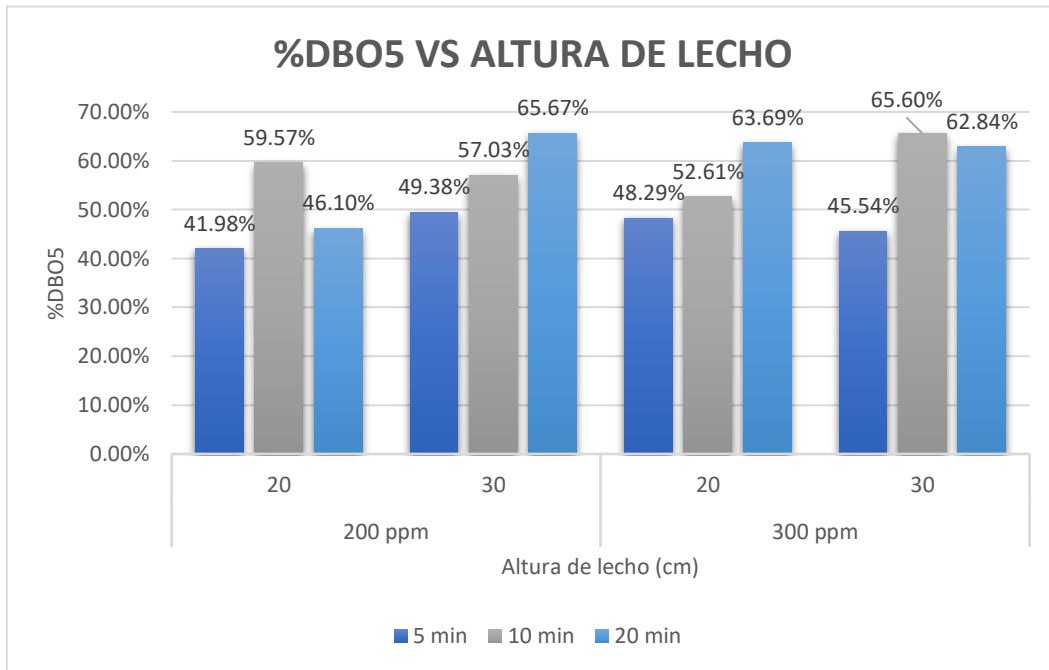
**Tabla 10****Resultados del porcentaje de remoción de DBO5 después del tratamiento por filtración con carbón activado**

N°	X <sub>1</sub> (ppm)	X <sub>2</sub> (min)	X <sub>3</sub> (cm)	Porcentaje de remoción %DBO5			Promedio (%)
				1	2	3	
				1	200	5	
2	200	5	30	47,74	44,03	56,38	49,38
3	200	10	20	60,64	60,64	57,43	59,57
4	200	10	30	59,04	50,60	61,45	57,03
5	200	20	20	51,91	48,51	37,87	46,10
6	200	20	30	63,83	68,09	65,11	65,67
7	300	5	20	56,38	46,91	41,56	48,29
8	300	5	30	40,33	47,33	48,97	45,54
9	300	10	20	55,02	50,60	52,21	52,61
10	300	10	30	62,65	65,86	68,27	65,60
11	300	20	20	66,81	65,11	59,15	63,69
12	300	20	30	60,85	60,00	67,66	62,84

En la **Figura 16 (Ver pag N° 46)** se muestra la gráfica de %remoción de DBO5 vs dosis (ppm), tiempo de ozonización (min) y altura de lecho (cm); se utilizaron los promedios de los porcentajes de remoción de la DBO5 de la tabla anterior, donde se puede interpretar que la mejor remoción de % DBO5 es a una altura de 30 cm del lecho de carbón activado, con un valor de 65,67%, la muestra que se filtró fue el clarificado con una dosis de 200 ppm en un tiempo de 20 min de ozonización, seguido del 65.60% también con la muestra filtrada a una misma altura; pero, con una dosis de 300 ppm y en un tiempo de ozonización de 10 min. La muestra obtenida en un tiempo de 5 min de ozonización, una vez filtrada la mejor remoción de DBO5 fue a una altura de 30 cm, con un valor de 49,38%

**Figura 17**

**Gráfica de %remoción de DBO5 vs dosis (ppm), tiempo de ozonización (min) y altura de lecho (cm)**



De los análisis de la DQO, el mejor porcentaje de remoción calculado fue de la muestra clarificada con dosis de 200 ppm, en un tiempo de ozonización de 20 min y a la altura del lecho de 30 cm, con un valor de 95,65% de remoción de DQO, seguido de un 95,32% a la misma altura, y el menor valor alcanzado, fue a la altura del lecho de 20 cm, con 75,33% de remoción, de la misma manera, del clarificado con dosis de 300 ppm, en un tiempo de ozonización de 20 min, y a una altura de 30 cm el valor obtenido es de 97,08%, siendo el mayor porcentaje de remoción de DBO5, seguido de un 96,87% a la misma altura y un menor valor a una altura de 20 cm con 81,37% de la muestra en un tiempo de ozonización de 10 min, tal como se muestra en la **Tabla 11 (Ver pag N° 49)**



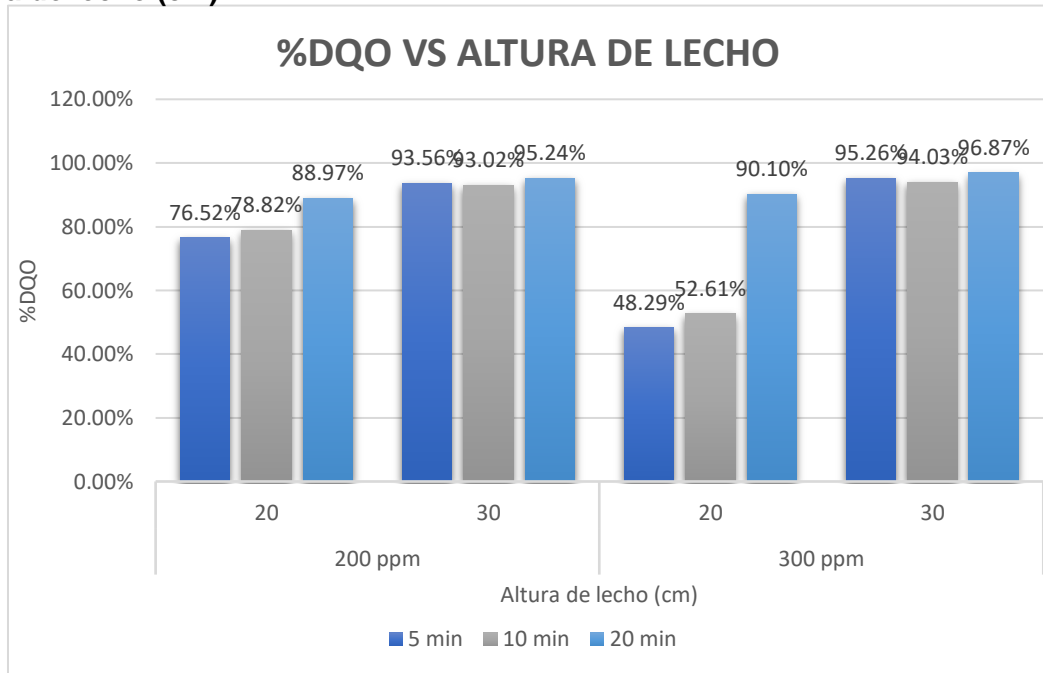
**Tabla 11****Resultados del porcentaje de remoción de DQO después del tratamiento por filtración con carbón activado**

N°	X <sub>1</sub> (ppm)	X <sub>2</sub> (min)	X <sub>3</sub> (cm)	Porcentaje de remoción %DQO			Promedio (%)
				1	2	3	
1	200	5	20	77,33	75,33	76,91	76,52
2	200	5	30	93,93	93,47	93,29	93,56
3	200	10	20	77,56	79,32	79,57	78,82
4	200	10	30	92,77	92,99	93,29	93,02
5	200	20	20	89,01	88,70	89,19	88,97
6	200	20	30	95,32	94,75	95,65	95,24
7	300	5	20	82,06	82,28	82,36	82,23
8	300	5	30	95,52	95,24	95,03	95,26
9	300	10	20	81,69	81,37	81,51	81,52
10	300	10	30	94,04	93,71	94,34	94,03
11	300	20	20	90,35	89,62	90,34	90,10
12	300	20	30	96,66	96,87	97,08	96,87

En la **Figura 17 (Ver pag N° 48)** se muestra la gráfica de %remoción de DQO vs dosis (ppm), tiempo de ozonización (min) y altura de lecho (cm), se utilizaron los promedios de los porcentajes de remoción de la DQO determinados en la tabla anterior, se evidencia que la mejor remoción de DQO fue a una altura de 30 cm de lecho de carbón activado, con un valor de 96,87%, en esta muestra filtrada se dosificó 300 ppm de coagulante y se aplicó ozono por 20 min, el valor medio obtenido es de 95,26% a una misma altura, y el menor valor alcanzado fue de 48,29%, cuya muestra filtrada fue dosificada con 300 ppm y se aplicó ozono por 5 min. De la muestra utilizada con dosis de 200 ppm el mejor porcentaje de remoción de DQO, fue de en un tiempo de ozonización de 20 min a una altura de 30 cm con un valor de 95,24%, seguido de la muestra con 5 min de ozonización, con un valor de 93,56% y un menor valor obtenido es de 76,52% de remoción para la muestra de la menor dosis de coagulante y un tiempo de 5 min de ozonización.

**Figura 18**

**Gráfica de %remoción de DQO vs dosis (ppm), tiempo de ozonización (min) y altura de lecho (cm)**



## 5.2. Resultados inferenciales

### % Remoción de DBO5 vs Dosis de coagulante, tiempo de ozonización, Altura de lecho

Los resultados finales de la DBO5 se encuentran registrados en el **Anexo 7**, con estos datos y el valor inicial de la muestra residual textil (**Tabla 5 Ver pag N° 41**), se obtuvo los porcentajes de remoción de DBO5 según el diseño factorial propuesto; en la **Tabla 12 (Ver pag N° 51)** se presentan los valores después de los tratamientos en tres repeticiones y los promedios de estos.

**Tabla 12**  
**Porcentaje final de remoción de DBO5**

N°	X <sub>1</sub> (ppm)	X <sub>2</sub> (min)	X <sub>3</sub> (cm)	Porcentaje de remoción %DBO5			Promedio (%)
				1	2	3	
1	200	5	20	97,5	96,3	96,2	96,7
2	200	5	30	97,0	96,8	97,5	97,1
3	200	10	20	97,7	97,7	97,5	97,6
4	200	10	30	97,6	97,1	97,7	97,5
5	200	20	20	97,3	97,1	96,5	97,0
6	200	20	30	98,0	98,2	98,1	98,1
7	300	5	20	97,5	96,9	96,6	97,0
8	300	5	30	96,6	97,0	97,1	96,9
9	300	10	20	97,3	97,1	97,2	97,2
10	300	10	30	97,8	98,0	98,1	98,0
11	300	20	20	98,1	98,1	97,7	98,0
12	300	20	30	97,8	97,8	98,2	97,9

**Nota :** En la tabla las siguientes notaciones y sus variables respuesta son: Dosis de coagulante = X<sub>1</sub> (ppm); Tiempo de ozonización = X<sub>2</sub> (ppm); Altura de lecho = X<sub>3</sub> (ppm) Repeticiones: 1, 2 y 3

**% Remoción de DQO vs Dosis de coagulante, tiempo de ozonización, Altura de lecho**

Los resultados finales de la DQO se encuentran registrados en el **Anexo 7**, con estos datos y el valor inicial de la muestra residual textil (**Tabla 5, ver pag N° 41**), se obtuvo los porcentajes finales de remoción de DQO, en la **Tabla 13 (Ver pag N° 52)** se presentan los valores después de los tratamientos en tres repeticiones y los promedios de estos.

**Tabla 13**  
**Porcentaje final de remoción de DQO**

N°	X <sub>1</sub> (ppm)	X <sub>2</sub> (min)	X <sub>3</sub> (cm)	Porcentaje de remoción de DQO (%)			Promedio (%)
				1	2	3	
				1	200	5	
2	200	5	30	96,9	96,7	96,6	96,7
3	200	10	20	89,6	90,4	90,5	90,2
4	200	10	30	96,7	96,8	96,9	96,8
5	200	20	20	94,9	94,8	95,0	94,9
6	200	20	30	97,8	97,6	98,0	97,8
7	300	5	20	90,8	91,0	91,0	90,9
8	300	5	30	97,7	97,6	97,5	97,6
9	300	10	20	91,5	91,4	91,4	91,4
10	300	10	30	97,2	97,1	97,4	97,2
11	300	20	20	95,5	95,2	95,5	95,4
12	300	20	30	98,5	98,6	98,6	98,6

**Nota :** En la tabla las siguientes notaciones y sus variables respuesta son: Dosis de coagulante = X<sub>1</sub> (ppm); Tiempo de ozonización = X<sub>2</sub> (ppm); Altura de lecho = X<sub>3</sub> (ppm) Repeticiones: 1, 2 y 3

Se realiza el Análisis de Varianza (ANOVA) para un diseño factorial mediante el software IBM SPSS Statistics del %Remoción de DBO<sub>5</sub>, %Remoción de DQO vs Dosis de coagulante (X<sub>1</sub>), Tiempo de Ozonización (X<sub>2</sub>) y Altura de Lecho (X<sub>3</sub>).  
Teniendo en cuenta que:

**H<sub>0</sub>** : Hipótesis nula: No existe diferencias significativas entre grupos o medias.

**H<sub>1</sub>** : Hipótesis alterna: Existe diferencias significativas entre grupos o medias.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0,05$

Si  $p < 0.05$  se rechaza la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alterna lo que indica que existe diferencias significativas entre los factores.

Si  $p > 0,05$  se acepta la hipótesis nula, indicando que no existe diferencias

significativas entre los factores.

En la **Tabla 14** se presenta el análisis de varianza para el % Remoción de DBO<sub>5</sub>, que permite evaluar las diferencias de cada factor en la variable respuesta, mediante los resultados de la suma de cuadrados. Para los tratamientos X1, X2 y X3 los valores de p son mayores al nivel de significancia ( $p > 0,05$ ), por lo tanto, se concluye que no existe diferencias significativas entre las medias de la variable respuesta % Remoción de DBO<sub>5</sub> mediante los procesos de coagulación – floculación, ozonización y filtración con carbón activado.

**Tabla 14**  
**Análisis de varianza para %Remoción de DBO<sub>5</sub>**

Variable de respuesta	Factor	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados ajustados (SC)	Media Cuadrática (MC)	Valor p
% Remoción de DBO <sub>5</sub>	X <sub>1 ppm</sub>	1	0,083	0,325	0,586
	X <sub>2 min</sub>	2	0,487	0,950	0,432
	X <sub>3 cm</sub>	1	0,333	1,301	0,292
	Total	12	107 585.510		

**Nota :** En el % Remoción de DBO<sub>5</sub>, el tratamiento X1, presenta un valor de  $p = 0,586 > 0,05$ , el X2 un valor de  $p = 0,432 > 0,05$  y para el X3,  $p = 0,292 > 0,05$ ; podemos concluir que no existen diferencias significativas entre las medias o grupos.

En la **Tabla 15 (Ver pag Nº 54)** se presenta el análisis de varianza para el % Remoción de DQO, esto nos permite evaluar las diferencias de cada factor en la variable respuesta, mediante los resultados de la suma de cuadrados. En el tratamiento X1 podemos observar que presenta un valor de  $p = 0,313 > 0,05$ , al igual que en el X2 el valor de  $p = 0,133 > 0,05$ ; sin embargo, en el X3 el valor de  $p = 0,001 < 0,05$ , por lo que se concluye que para los dos primeros tratamientos se acepta la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y se concluye que no existe diferencias significativas entre las medias de la variable respuesta a diferencia del tercer tratamiento, que se rechaza la hipótesis nula, y se concluye que existe diferencias significativas en las medias del % Remoción de DBO<sub>5</sub> después del proceso de filtración con carbón activado.

**Tabla 15**  
**Análisis de varianza para %Remoción de DQO**

Variable de respuesta	Factor	Grados de libertad (GL)	Suma de cuadrados ajustados (SC)	Media cuadrática (MC)	Valor p
% Remoción de DQO	X <sub>1 ppm</sub>	1	3,741	3,741	0,313
	X <sub>2 min</sub>	2	17,205	8,602	0,133
	X <sub>3 cm</sub>	1	95,768	95,768	0,001
	Total	12	107 585,510		

Se realizó una prueba post Hoc, para determinar el mejor tratamiento, esto se aplica al tratamiento X2, proceso de ozonización, porque presenta tres grupos para su comparación.

En la **Tabla 16**, se presentan la comparación de los tratamientos del proceso de ozonización para la variable respuesta %Remoción de DBO5, donde, se concluye que para la remoción de un 97,7% de la DBO5, el mejor tiempo de ozonización es de 20 min.

**Tabla 16**  
**Prueba post hoc, HSDTukey % Remoción de DBO5 vs X2 (min)**

HSD Tukey <sup>a,b</sup>		
X2_min	N	Subconjunto 1
10 min	4	97,2500
5 min	4	97,3000
20 min	4	97,7000
Sig.		0,4600

**Nota :** Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = 0,256

**a)** Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

**b)** Alfa = .05

En la **Tabla 17 (Ver pag N° 55)**, se presentan la comparación de los tratamientos del proceso de ozonización para la variable respuesta %Remoción de DQO, en este caso, se concluye que para la remoción de un 96,15% de la DQO, el mejor

tiempo de ozonización es de 10 min.

**Tabla 17**  
**Prueba post hoc, HSD Tukey %Remoción de DQO vs X2 (min)**

HSD Tukey <sup>a,b</sup>		
X2_min	N	Subconjunto 1
5 min	4	93,2250
20 min	4	94,5000
10 min	4	96,1500
Sig.		0,1170

**Nota :** Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = 3,158

**a)** Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000

**b)** Alfa = .05

Después de la prueba post hoc, se realiza la prueba T de student para contrastar los resultados de la carga orgánica (DBO5 y DQO en mg/L) después de cada tratamiento con los valores iniciales de la **Tabla 5 (Ver pag N° 41)**, y concluir si existen efectos significativos en la remoción de carga orgánica.

La **Tabla 18 (Ver pag N° 56)**, corresponde al análisis inferencial, prueba T sobre la remoción de carga orgánica después del tratamiento de coagulación – floculación (X1), se presenta los valores de la correlación de Pearson, para el indicador DBO5 se obtuvo un valor de  $-0,20$ , lo que indica que mientras la dosis de coagulante sea mayor, el valor de la DBO5 disminuye en proporción constante, lo que no sucede con la remoción de DQO, porque el valor es  $0,06$ , siendo un valor positivo, e indica que mientras menor sea la dosis de coagulante, menor será la remoción de la DQO. Con el valor de “t” de ambos parámetros se deduce que no existen diferencias significativas entre las medias de los valores de la DBO5 y DQO. Finalmente, el valor de Sig (bilateral) es menor al nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ) para la DBO5 y DQO, concluyendo que el tratamiento de coagulación – floculación tiene efectos significativos en la remoción de la carga orgánica del agua residual textil a escala laboratorio.

**Tabla 18**

**Análisis inferencial, prueba T sobre la remoción de carga orgánica después del tratamiento de coagulación – floculación (X1)**

Indicadores	Coef. Correlación Pearson	Media inicial	Media final	t	GL	Sig (bilateral)
DBO5	- 0,20	420,9	41,1	46,4	5	8,781 x 10 <sup>8</sup>
DQO	0,06	2 106,3	1 162,6	25,7	5	1,661 x 10 <sup>6</sup>

En la siguiente **Tabla 19**, se detalla los datos del análisis inferencial, prueba T sobre la remoción de carga orgánica después del tratamiento de ozonización (X2), el valor de la correlación de Pearson para la DBO5 es de 0.40, lo que significa que existe una correlación positiva moderada y señala que mientras aumente el tiempo de ozonización tiende a aumentar la remoción de la DQO; pero no de manera muy pronunciada. Respecto a la remoción de DQO, el valor es 0,11; siendo una correlación positiva débil lo que señala que la variación en los tiempos de ozonización tiene muy poca influencia en la remoción de la DQO. Con el valor de “t” de ambos parámetros se infiere que existen diferencias significativas entre las medias iniciales y finales de los valores de la DBO5 y DQO. Por último, el valor de Sig (bilateral) es menor al nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ ) para la DBO5 y DQO, y se concluye que el tratamiento de ozonización tiene efectos estadísticamente significativos en la remoción de la carga orgánica del agua residual textil a escala laboratorio.

**Tabla 19**

**Análisis inferencial, prueba T sobre la remoción de carga orgánica después del tratamiento de ozonización (X2)**

Parámetro	Coef. Correlación Pearson	Media inicial	Media final	t	GL	Sig (bilateral)
DBO5	0,40	420,9	23,4	234,3	17	2,837 x 10 <sup>31</sup>
DQO	0,11	2 106,3	998,7	73,0	17	1.117 x 10 <sup>22</sup>

De acuerdo con los datos presentados en la **Tabla 20 (Ver pag N° 57)**, el valor de la correlación de Pearson para la DBO5, es de 0,02, lo que significa que existe



una correlación positiva muy débil y señala que la variación en la altura del lecho de carbón activado tiene muy poca influencia en la remoción de la DBO. Respecto a la remoción de DQO, el valor es 0,20; siendo una correlación positiva débil lo que sugiere que la variación en la altura del lecho de carbón activado tiene muy poca influencia en la remoción de la DQO. Con el valor de “t” de ambos parámetros se infiere que existen diferencias significativas entre las medias iniciales y finales de los valores de la DBO5 y DQO. Por último, el valor de Sig (bilateral) es menor al nivel de significancia ( $\alpha = 0,05$ ) para la DBO5 y DQO, y se concluye que el tratamiento de filtración con carbón activado tiene efectos estadísticamente significativos en la remoción de la carga orgánica del agua residual textil a escala laboratorio.

**Tabla 20**

***Análisis inferencial, prueba T sobre la remoción de carga orgánica después del tratamiento de filtración con carbón activado (X3)***

Parámetro	Coef. Correlación Pearson	Media inicial	Media final	t	GL	Sig (bilateral)
DBO5	0.02	420.9	10.4	313.5	36	5.982x10 <sup>62</sup>
DQO	0.20	2106.3	132.5	91.0	36	3.512x10 <sup>43</sup>

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Para la hipótesis específica 1, el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la coagulación–floculación de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio será mayor a 30%, se contrasta con la **Figura 13 (Ver pag N° 38)**, gráfica de %remoción de carga orgánica con una dosis de 200 y 300 ppm, donde se observa que el coagulante PAC utilizado es eficiente con una dosis de 300 ppm alcanzando un 93,57% de remoción de la DBO<sub>5</sub> y un 48,66% de la DQO. Esto se debe a que cuando la dosis es mayor, hay más iones de aluminio para formar flocs con las partículas suspendidas en el agua residual; sin embargo, un exceso de iones también puede disminuir la efectividad de la coagulación. En esta etapa se logró una remoción de la carga orgánica mayor a 30%.

Siguiendo nuestra hipótesis específica 2, el cual afirma que el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la ozonización de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio será mayor a 30%, esto se cumple para la remoción de la DBO<sub>5</sub> mas no para la remoción de DQO, en la **Figura 14 (Ver pag N° 43)**, gráfica de %remoción de DBO<sub>5</sub> vs tiempo de ozonización, podemos observar que dosificando ozono en 5 min se logró un 54,2% de remoción de DBO<sub>5</sub> y en 20 min se alcanzó un 26,5% en la remoción de DQO. En este caso, no se cumple la afirmación de la hipótesis para la remoción de la DQO, esto podría atribuirse a la concentración insuficiente de ozono utilizada en este proceso, a la naturaleza del contaminante porque algunos compuestos orgánicos pueden ser más resistente a la oxidación por ozono que otros requiriendo tiempos de oxidación más prolongadas, la variación del pH también puede influir en la degradación de la carga orgánica.

Por otro lado, para la hipótesis específica 3 afirmando que el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio será mayor a 25%, nuestros resultados respaldan esta afirmación demostrándose en las **Figuras 16 (Ver pag N° 46) y 17 (Ver pag N° 48)**, gráfica de %remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO vs dosis (ppm), tiempo de ozonización (min), y altura de lecho (cm), donde a una altura de 30 cm

del lecho de carbón activo se alcanzó un 65,60% en la remoción de DBO<sub>5</sub> y un 96,87% en la remoción de DQO. Existe muchos factores que influyen en la eficiencia del tratamiento, para una mayor capacidad de adsorción un lecho más alto de carbón activado proporciona mayor tiempo de contacto e interacción para retener los contaminantes orgánicos, lo que beneficia en la remoción de carga orgánica. Hay que tener en cuenta la uniformidad del flujo de agua a través del lecho, el cual debe garantizar la distribución uniforme del agua para una remoción eficiente.

Por último, la hipótesis general afirma que el porcentaje de remoción de carga orgánica mediante la coagulación – floculación, ozonización y filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio será mayor a 80%, lo que se contrasta con los resultados de las **Tablas 12 (Ver pag Nº 51) y 13 (Ver pag Nº 52)**, porcentaje final de remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO, se evidencia que el mayor porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> oscila en un 98% y en la remoción de DQO el porcentaje mayor alcanzado es de un 98,6%, concluyendo que la remoción de carga orgánica es mayor al 80%

## **6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

Se realizaron tratamientos de coagulación – floculación, utilizando como coagulante Policloruro de aluminio (PAC) con dosis de 200 y 300 ppm, luego pasó por el proceso de ozonización en un tiempo de 5, 10 y 20 min, y finalmente la filtración con carbón activado a una altura de lecho de 20 y 30 cm, en la caracterización inicial se reportó un valor de 420,9 mg/L y 2 106,3 mg/L de la DBO<sub>5</sub> y DQO, logrando disminuir la concentración de DBO<sub>5</sub> y DQO hasta 8,2 mg/L y 28,5 mg/L respectivamente, obteniendo un porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> de 98% y de DQO 98,6%, estos valores se asemejan con el trabajo de investigación titulado “Tratamiento fisicoquímico de los efluentes del proceso de lavado de lana en una industria textil de Arequipa” (ZEVALLOS M., *et al*) [11], donde la DQO inicial fue de 1 407,9 mg/L después del proceso de coagulación – floculación removi6 un 79,36% la DQO llegando hasta un valor de 290,6 mg/L, en este caso se us6 el coagulante FeCl<sub>3</sub> al 40% con una dosis de 200 ppm, dando cumplimiento a la normativa peruana VMA. Comparando con este trabajo logramos afirmar que el tratamiento de coagulación – floculación es eficiente

para una remoción mayor de 80% de DQO, en nuestro caso obtuvimos mayor porcentaje de remoción utilizando como coagulante el policloruro de aluminio (PAC) con 300 ppm, inicialmente nuestra DQO fue mayor.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes**

Como autores de la presente investigación, reconocemos y reafirmamos nuestro compromiso en el cumplimiento de los reglamentos y procedimientos actuales de la Universidad Nacional del Callao. Por ello, asumimos la responsabilidad por la información proporcionada en el presente informe de tesis, titulado “Remoción de la carga orgánica mediante la coagulación – floculación, ozonización y filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio” con el propósito de obtener el título de Maestro en Ingeniería Química. Por lo tanto, este trabajo cumple con los aspectos éticos, legales y de propiedad intelectual establecidos para proyectos de investigación, con pleno entendimiento de que cualquier acción contraria a dichas normativas podría resultar en sanciones.

## VII. CONCLUSIONES

Respecto al objetivo general, se logró determinar el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la coagulación, floculación, ozonización y filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio, obteniendo un porcentaje mayor de remoción para la DBO<sub>5</sub>, siendo de 98% y para la DQO, la remoción fue de 98,6%

En cuanto al objetivo específico 1, se determinó el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante el proceso de coagulación – floculación, el mayor porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> es de 93,57%. De la misma manera, para el indicador porcentaje de remoción de DQO, la mejor remoción alcanzada fue de 48.66%, con la dosis de 300 ppm de coagulante PAC.

El objetivo específico 2, se determinó el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la ozonización de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio, el mayor porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> fue con una dosis de 300 ppm, el valor alcanzado es de 54,2%. De la misma manera, para el indicador DQO, la mejor remoción alcanzada fue de 26,5%, con la dosis de 300 ppm de coagulante PAC.

Finalmente, se determinó el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio, donde a una altura de 30 cm del lecho de carbón activo se alcanzó un 65,60% en la remoción de DBO<sub>5</sub> y un 96.87% en la remoción de DQO.

## VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar pruebas de coagulación – floculación con una variedad de coagulantes y floculantes para determinar cuáles son los más eficaces en la remoción de carga orgánica. Esto puede llevar a la selección de reactivos eficientes y económicos.

Para realizar el proceso de ozonización se recomienda realizar variando el pH y los tiempos de ozonización.

Se sugiere evaluar otros parámetros del **Anexo 1** para comparar y verificar el cumplimiento de los Valores Máximos Admisibles (VMA) con el sistema de tratamiento continuo realizado a escala laboratorio.

Se sugiere evaluar otros parámetros de diseño para propuesta de implementación de una planta de tratamiento de agua residual textil.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. A. López and M. Romero Ariza, “La importancia del agua para nuestro planeta,” *Universidad de Jaén*, 2016, Accessed: Jul. 22, 2023. [Online]. Available: <http://crea.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/2374>
- [2] E. Carrera I Gallissà, “Los retos sostenibilistas del sector textil,” 2017.
- [3] L. Rodríguez Tapia and J. A. Morales Novelo, “CONTAMINACIÓN E INTERNALIZACIÓN DE COSTOS EN LA INDUSTRIA TEXTIL,” *Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México*, vol. XXI, no. 1, pp. 143–169, 2011.
- [4] E. Del, C. Ubaldo Vázquez, H. Alejandro, N. Aguilar, and R. Fernando Gutiérrez Hernández, “EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA EN LIXIVIADOS MADUROS MEDIANTE UN SISTEMA ACOPLADO: COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN-OXIDACIÓN ANÓDICA,” *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, vol. 7, no. 2, pp. 170–178, 2014, Accessed: Jul. 21, 2023. [Online]. Available: <https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/46800>
- [5] J. & Zela and G. Olivas, “DIAGNÓSTICO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) EN EL ÁMBITO DE LAS EMPRESA OPERADORAS ,” LIMA, PERÚ, Jun. 2022. Accessed: Jul. 22, 2023. [Online]. Available: [https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR\\_VdigitalConcomentario.pdf](https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf)
- [6] E. GilPavas, P. E. Arbeláez-Castaño, J. D. Medina-Arroyave, and C. M. Gómez-Atehortua, “TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE COAGULACIÓN QUÍMICA ACOPLADA A PROCESOS FENTON INTENSIFICADOS CON ULTRASONIDO DE BAJA FRECUENCIA,” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 34, no. 1, pp. 157–167, Feb. 2018, doi: 10.20937/RICA.2018.34.01.14.
- [7] X. Ntampou, A. I. Zouboulis, and P. Samaras, “Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates,” *Chemosphere*, vol. 62, no. 5, pp. 722–730, Feb. 2006, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2005.04.067.
- [8] A. E. Papadopoulos, D. Fatta, and M. Loizidou, “Development and optimization of dark Fenton oxidation for the treatment of textile wastewaters with high organic load,” *J Hazard Mater*, vol. 146, no. 3, pp. 558–563, Jul. 2007, doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2007.04.083.
- [9] A. K. Badawi and K. Zaher, “Hybrid treatment system for real textile wastewater remediation based on coagulation/flocculation, adsorption and filtration processes: Performance and economic evaluation,” *Journal of Water Process Engineering*, vol. 40, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.JWPE.2021.101963.
- [10] N. Jorge, A. R. Teixeira, C. C. Matos, M. S. Lucas, and J. A. Peres, “Combination of coagulation–flocculation–decantation and ozonation processes for winery wastewater treatment,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 18, no. 16, Aug. 2021, doi: 10.3390/ijerph18168882.
- [11] M. O. Guillén Zevallos, V. Pérez Murillo, T. Quispe Carrizales, M. E. Talavera Núñez, and F. E. Huamán Paredes, “TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE LOS EFLUENTES DEL PROCESO DE LAVADO DE LANA EN UNA INDUSTRIA TEXTIL DE AREQUIPA,” *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 86, no. 4, pp. 428–438, Mar. 2021, doi: 10.37761/rsqp.v86i4.312.

- [12] F. E. Blas Melendez and P. R. Lopez Tapia, "Procesos de oxidación avanzada en la remoción de la demanda química de oxígeno en aguas residuales industriales," *Repositorio Institucional - UCV*, 2022, Accessed: Jul. 26, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/93632>
- [13] S. J. Castellanos Cardona and M. Tusarma Grajales, "Evaluación fisicoquímica por el método de adsorción-coagulación-floculación para la remoción de colorantes del efluente del área de procesos industriales de la empresa Textil CO&TEX S.A.S." Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, 2014. Accessed: Jul. 26, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.utp.edu.co/items/616a527d-89be-4cc4-bea4-66376db1ec35>
- [14] R. Rosales Palomino, "Reducción del contenido de colorantes en efluentes de la industria textil usando el proceso fenton, Zarate, 2017," Universidad César Vallejo, Lima, 2017.
- [15] L. Fernando, G. Giraldo, G. Antonio, and P. Mesa, "Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar," *Rev Lasallista Investig*, vol. 4, no. 2, pp. 24–31, 2007, Accessed: Jul. 21, 2023. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-44492007000200004&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492007000200004&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- [16] I. Hidráulica and Y. Ambiental, "Caracterización de las aguas residuales generadas en una industria textil cubana Characterization of wastewater generated in a Cuban textile industry," vol. XXXVII, no. 3, pp. 46–58.
- [17] L. R. Tapia and J. A. M. Novelo, "CONTAMINACIÓN E INTERNALIZACIÓN DE COSTOS EN LA INDUSTRIA TEXTIL," vol. XXI, no. 1, pp. 143–169, 2011.
- [18] E. De Posgrado, U. De, P. De, L. F. De, S. Deyse, and O. Soto, "Mineralización de la carga orgánica contenido en matrices acuosas hospitalarias mediante proceso foto-fenton," 2022, Accessed: Jul. 21, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8008>
- [19] S. Reyes–Lara and R. Reyes–Mazzoco, "Efecto de las cargas hidráulica y orgánica sobre la remoción masica de un empaque estructurado en un filtro percolador ," *SCIELO*, vol. 8, pp. 1–2, 2009.
- [20] E. R. Castillo Borges, G. M. Herrera Canché, and R. Mendes Novelo, "DETERMINACION DE PARAMETROS DE DISEÑO DE UN TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES," *Universidad Autónoma de Yucatán* , Jun. 2015.
- [21] G. S. Colotta, "TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL," *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. 6, no. 2, pp. 64–71, Dec. 2003, Accessed: Jul. 23, 2023. [Online]. Available: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/5078>
- [22] "Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación - M. I. Aguilar - Google Libros." Accessed: Jul. 21, 2023. [Online]. Available: <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=8vIQBXPvhAUC&oi=fnd&pg=PA17&dq=que+es+la+coagulacion+en+tratamiento+de+aguas+residuales&ots=ckVHaWwnw9&sig=wzOgyH34iESj2CpMoMF2SveZpco#v=onepage&q=que%20es%20la%20coagulacion%20en%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales&f=false>
- [23] Y. Lorenzo Acosta, "Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación," *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azucar*, vol. 2, 2006, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>



- [24] J. Bratby, "COAGULATION and FLOCCULATION With an emphasis on water and wastewater treatment".
- [25] A. I. Zouboulis and N. Tzoupanos, "Alternative cost-effective preparation method of polyaluminium chloride (PAC) coagulant agent: Characterization and comparative application for water/wastewater treatment," *Desalination*, vol. 250, no. 1, pp. 339–344, Jan. 2010, doi: 10.1016/J.DESAL.2009.09.053.
- [26] J. Gregory, "Fundamentals of flocculation," *Critical Reviews in Environmental Control*, vol. 19, no. 3, pp. 185–230, Jan. 1989, doi: 10.1080/10643388909388365.
- [27] M. Caraballo, M. Ricardo, and J. Valenzuela, "Estudio del efecto de las condiciones hidrodinámicas, la presencia de iones y de arcilla, en el proceso de floculación de un relave de sulfuro de cobre," 2018, Accessed: Jul. 22, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168135>
- [28] B. Belén and B. Bautista, "Estudio de las características coagulantes/floculantes de polímeros orgánicos naturales, extraídos de materiales de desecho alimenticio, para la potabilización del agua," Jun. 2017, Accessed: Jul. 22, 2023. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17388>
- [29] K. V Patiño, S. M. Arroyave, and J. M. Marín, "Oxidación Electroquímica y Ozonización Aplicadas al Tratamiento de Aguas de Lavado de la Producción de Biodiesel," *Información tecnológica*, vol. 23, no. 2, pp. 41–52, 2012, doi: 10.4067/S0718-07642012000200006.
- [30] E. Veliz Lorenzo, J. Llanes Ocaña, L. Fernández García, and M. Bataller Venta, "Evaluación de la eficiencia de los procesos de coagulación-floculación y ozonización a escala laboratorio," *Revista CENIC Ciencias Químicas*, vol. 41, pp. 49–56, 2010.
- [31] A. Cescon and J.-Q. Jiang, "Filtration Process and Alternative Filter Media Material in Water Treatment," *Water (Basel)*, vol. 12, no. 12, p. 3377, Dec. 2020, doi: 10.3390/w12123377.
- [32] J. G. Carriazo, M. J. Saavedra, and M. F. Molina, "Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo," *Educación Química*, vol. 21, no. 3, pp. 224–229, Jul. 2010, doi: 10.1016/S0187-893X(18)30087-9.
- [33] ROBERTO HERNÁNDEZ SAMPIERI, CARLOS FERNÁNDEZ COLLADO, and PILAR BAPTISTA LUCIO, *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*, SEXTA. MEXICO: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V, 2014.
- [34] SMEWW-APHA-AWWA-WEF, *Standard Methods For the Examination of water and Wastewater, 5210 BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (BOD)*, 2023rd ed., vol. 24th. 2023.
- [35] SMEWW-APHA-AWWA-WEF, *Standard Methods For the Examination of water and Wastewater, 5220 CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD)*, Ed: 2023., vol. 24th. 2023.

## ANEXOS


### ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

#### TÍTULO : “REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA MEDIANTE LA COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN, OZONIZACIÓN Y FILTRACIÓN DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE UNA INDUSTRIA TEXTIL A ESCALA LABORATORIO”

Problema General	Objetivo general	Hipótesis general	Variable dep.	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿Cuál será el porcentaje de remoción de carga orgánica mediante la coagulación-floculación, ozonización y filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio?	Determinar el porcentaje de remoción de carga orgánica mediante la coagulación-floculación, ozonización y filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio	El porcentaje de remoción de carga orgánica mediante la coagulación-floculación, ozonización y filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio será mayor a 80%.	Y= Remoción de carga orgánica	Remoción	- DQO % - DBO %	Tipo de investigación: Cuantitativa Aplicada
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variables ind.	Dimensiones	Indicadores	
¿Cuál será el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la coagulación-floculación de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio?	Determinar el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la coagulación-floculación de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio	El porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la coagulación-floculación de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio será mayor a 30%.	X <sub>1</sub> = Coagulación - floculación	Dosis de coagulante	- 200 ppm - 300 ppm	
¿Cuál será el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la ozonización de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio?	Determinar el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la ozonización de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio	El porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante la ozonización de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio será mayor a 30%.	X <sub>2</sub> = Ozonización	Tiempo de ozonización	-5 min -10min -20min	Nivel: Causa-efecto
¿Cuál será el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio?	Determinar el porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio	El porcentaje de remoción de la carga orgánica mediante filtración de agua residual proveniente de una industria textil a escala laboratorio será mayor a 25%.	X <sub>3</sub> = Filtración con carbón activado	Altura de lecho	- 20cm - 30cm	Diseño: Experimental

## ANEXO 2

# INFORME DE ENSAUYO Y REPORTE DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DBO5 y DQO

	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002</b>	 INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado <small>Registro N° LE - 002</small>				
<b>INFORME DE ENSAYO MA2328728 Rev. 0</b>						
<b>SOLUCIONES QUIMICAS AMBIENTALES S.A.C.</b> JR. IGNACIO TOROTE NRO. 515 INT. 202 URB. EL TREBOL - LIMA - LOS OLIVOS ENV / LB-352836-002 PROCEDENCIA : AGUA RESIDUAL TEXTIL - SJL						
Fecha de Recepción SGS :	18-08-2023					
Fecha de Ejecución :	Del 18-08-2023 al 27-08-2023					
Muestreo Realizado Por :	CLIENTE					
Observación :	TRATAMIENTO DE EFLUENTE TEXTIL					
<table border="1"><thead><tr><th>Estación de Muestreo</th></tr></thead><tbody><tr><td>ART-01</td></tr><tr><td>ART-02</td></tr><tr><td>ART-03</td></tr></tbody></table>			Estación de Muestreo	ART-01	ART-02	ART-03
Estación de Muestreo						
ART-01						
ART-02						
ART-03						
<b>Emitido por SGS del Perú S.A.C.</b> <b>Impreso el 27/08/2023</b>						
						
Rosselyn J. Colca Chuquirachi C.Q.P. 1317 Analista Senior de Laboratorio						
<small>"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"</small>						
<small>Página 1 de 5</small>						



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



**INFORME DE ENSAYO  
MA2328728 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					ART-01	ART-02
FECHA DE MUESTREO					16/08/2023	17/08/2023
HORA DE MUESTREO					16:00:00	16:00:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	386.7 (**) ± 81.20	358.3 ± 75.20
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	2,149.5	1,922.0 ± 153.80

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					ART-03
FECHA DE MUESTREO					18/08/2023
HORA DE MUESTREO					16:00:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	337.9
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO2/L	1.8	4.5	2,192.7 ± 175.40



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



**INFORME DE ENSAYO  
MA2328728 Rev. 0**

**REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO**

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
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. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2017



SOLUCIONES QUIMICAS AMBIENTALES SAC

## INFORME DE ENSAYO N°048-2023

### I.DATOS DEL SERVICIO

CLIENTE	:	FRANK MARTÍNEZ LINARES
MATRIZ	:	AGUA
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	:	AGUA RESIDUAL TEXTIL
MUESTREO POR	:	CLIENTE
CANTIDAD DE MUESTRA	:	2
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	:	18-08-2023
FECHA DE FIN DE LOS ENSAYOS	:	28-08-2023
FECHA DE EMISION DE INFORMES	:	29-08-2023



Ing. Eduardo Molina Rodriguez  
CIP N°224227

Fecha: 29/08/2023

Página 1 de 2

Correo: ventas@sqaperu.com



SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC

## INFORME DE ENSAYO N°048-2023

### II.RESULTADOS

FECHA		18/08/2023	
CÓDIGO DE MUESTRA		MI-01	
DESCRIPCION DE MUESTRA		Muestra Inicial	
HORA DE MUESTREO (horas)		16:30	
ENSAYO	L.C.M	UNIDAD	RESULTADOS
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2.6	mg/L	420.9
Demanda Química de Oxígeno	5.00	mg/L	2106.3

"L.C.M.": Límite de Cuantificación del Método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.  
Los resultados de los ensayos 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



SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC

## INFORME DE ENSAYO N° 049-2023

### I. DATOS DEL SERVICIO

CLIENTE	:	FRANK MARTÍNEZ LINARES
MATRIZ	:	AGUA
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	:	AGUA RESIDUAL TEXTIL
MUESTREADO POR	:	CLIENTE
CANTIDAD DE MUESTRA	:	120
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	:	18-08-2023
FECHA DE FIN DE LOS ENSAYOS	:	04-09-2023
FECHA DE EMISION DE INFORMES	:	08-09-2023



Ing. Eduardo Molina Rodríguez  
CIP N°224227



SOLUCIONES QUIMICAS AMBIENTALES SAC

## INFORME DE ENSAYO N° 049-2023

### II. RESULTADOS

PROCEDENCIA DE MUESTRA				AGUA RESIDUAL TEXTIL										
DESCRIPCION DE MUESTRA				DOSIS CON 200 PPM										
FECHA DE MUESTREO				18/08/23	19/08/23	19/08/23	19/08/23	19/08/23	19/08/23	19/08/23	19/08/23	19/08/23	19/08/23	19/08/23
HORA				17:30	8:30	9:30	10:30	11:30	13:00	14:30	16:00	17:30	19:00	
ENSAYO	L.C.M	unidad	Corrida	ARC-D1	ARO-05	ARO-10	ARO-20	ARCA5-20	ARCA5-30	ARCA10-20	ARCA10-30	ARCA20-20	ARCA20-30	
DBO	2.6	mg/L	1	47	24.3	24.9	23.5	10.5	12.7	9.8	10.2	11.3	8.5	
DQO	5.00	mg/L		1224.8	1074.8	974.8	974.8	243.7	65.2	218.7	70.5	107.1	45.6	
DBO	2.6	mg/L	2	53.5	25.1	24.7	24.1	15.6	13.6	9.8	12.3	12.1	7.5	
DQO	5.00	mg/L		1251.5	1084.8	1080	974.8	265.2	70.2	201.6	68.3	110.2	51.2	
DBO	2.6	mg/L	3	65.3	23.5	24.1	22.8	16.2	10.6	10.6	9.6	14.6	8.2	
DQO	5.00	mg/L		1255.2	1024.8	974.8	974.8	248.2	72.1	199.2	65.4	105.4	42.4	



SOLUCIONES QUIMICAS AMBIENTALES SAC

## INFORME DE ENSAYO N° 049-2023

PROCEDENCIA DE MUESTRA				AGUA RESIDUAL TEXTIL										
DESCRIPCION DE MUESTRA				DOSIS CON 300 PPM										
FECHA Y HORA DE MUESTREO				18/08/23	20/08/23	20/08/23	20/08/23	20/08/23	20/08/23	20/08/23	20/08/23	20/08/23	20/08/23	20/08/23
				17:30	8:30	9:30	10:30	11:30	13:00	14:30	16:00	17:30	19:00	
ENSAYO	L.C.M	unidad	Corrida	X1-01	X2-02	X2-03	X2-04	X3-05	X3-06	X3-07	X3-08	X3-09	X3-10	
DBO	2.6	mg/L	1	24.6	22.3	23.2	24.9	10.6	14.5	11.2	9.3	7.8	9.2	
DQO	5.00	mg/L		1074.8	1074.8	1012.4	937.4	192.8	48.2	178.5	58.1	94.1	32.6	
DBO	2.6	mg/L	2	26.5	21.8	25.6	22.1	12.9	12.8	12.3	8.5	8.2	9.4	
DQO	5.00	mg/L		1098.2	1037.4	962.4	876.4	190.5	51.2	181.6	61.3	101.2	30.5	
DBO	2.6	mg/L	3	30.1	20.5	22.1	22.4	14.2	12.4	11.9	7.9	9.6	7.6	
DQO	5.00	mg/L		1071.3	1062.4	937.4	887.4	189.6	53.4	180.2	55.2	94.2	28.5	



### ANEXO 3

#### RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DBO5 / DQO DESPUÉS DEL TRATAMIENTO X1

X1 (ppm)	Dosis floculante (ppm)	Parámetro	Unidades	Repeticiones		
				1	2	3
200	2	DBO <sub>5</sub>	mg/L	47,0	53,5	65,3
200	2	DQO	mg/L	1 224,8	1 251,5	1 255,2
300	2	DBO <sub>5</sub>	mg/L	24,6	26,5	30,1
300	2	DQO	mg/L	1 074,8	1 098,2	1 071,3

### ANEXO 4

#### RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DBO5 / DQO DESPUÉS DEL TRATAMIENTO X2

X1 (ppm)	X2 (min)	Parámetro	Unidades	Repeticiones		
				1	2	3
200	5	DBO <sub>5</sub>	mg/L	24,3	25,1	23,5
200	5	DQO	mg/L	1 074,8	1 084,8	1 024,8
200	10	DBO <sub>5</sub>	mg/L	24,9	24,7	24,1
200	10	DQO	mg/L	974,8	1 080,0	1 024,8
200	20	DBO <sub>5</sub>	mg/L	23,5	24,1	22,8
200	20	DQO	mg/L	974,8	974,8	974,8
300	5	DBO <sub>5</sub>	mg/L	22,3	21,8	20,5
300	5	DQO	mg/L	1 074,8	1 037,4	1 062,4
300	10	DBO <sub>5</sub>	mg/L	23,2	25,6	22,1
300	10	DQO	mg/L	1 012,4	962,4	927,4
300	20	DBO <sub>5</sub>	mg/L	24,9	22,1	22,4
300	20	DQO	mg/L	937,4	876,4	887,4

## ANEXO 5

### RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DBO<sub>5</sub> / DQO DESPUÉS DEL TRATAMIENTO X3

Muestra tratada con una dosis de 200 ppm de coagulante							
N°	X <sub>2</sub> (min)	X <sub>3</sub> (cm)	Parámetro	Unidades	Repeticiones		
					1	2	3
1	5	20	DBO <sub>5</sub>	mg/L	10,5	15,6	16,2
2	10	30	DQO	mg/L	70,5	68,3	65,4
3	20	20	DBO <sub>5</sub>	mg/L	11,3	12,1	14,6
4	5	30	DQO	mg/L	65,2	70,2	72,1
5	10	20	DBO <sub>5</sub>	mg/L	9,8	9,8	10,6
6	20	30	DQO	mg/L	45,6	51,2	42,4
7	5	20	DQO	mg/L	243,7	265,2	248,2
8	10	30	DBO <sub>5</sub>	mg/L	10,2	12,3	9,6
9	20	20	DQO	mg/L	107,1	110,2	105,4
10	5	30	DBO <sub>5</sub>	mg/L	12,7	13,6	10,6
11	10	20	DQO	mg/L	218,7	201,6	199,2
12	20	30	DBO <sub>5</sub>	mg/L	8,5	7,5	8,2

## ANEXO 6

### RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DBO<sub>5</sub> / DQO CON TRATAMIENTO X3

Muestra tratada con una dosis de 300 ppm de coagulante							
N°	X <sub>2</sub> (min)	X <sub>3</sub> (cm)	Parámetro	Unidades	Repeticiones		
					1	2	3
1	5	20	DBO <sub>5</sub>	mg/L	10,6	12,9	14,2
2	10	30	DQO	mg/L	58,1	61,3	55,2
3	20	20	DBO <sub>5</sub>	mg/L	7,8	8,2	9,6
4	5	30	DQO	mg/L	48,2	51,2	53,4
5	10	20	DBO <sub>5</sub>	mg/L	11,2	12,3	11,9
6	20	30	DQO	mg/L	32,6	30,5	28,5
7	5	20	DQO	mg/L	192,8	190,5	189,6
8	10	30	DBO <sub>5</sub>	mg/L	9,3	8,5	7,9
9	20	20	DQO	mg/L	94,1	101,2	94,2
10	5	30	DBO <sub>5</sub>	mg/L	14,5	12,8	12,4
11	10	20	DQO	mg/L	178,5	181,6	180,2
12	20	30	DBO <sub>5</sub>	mg/L	9,2	9,4	7,6

## ANEXO 7

### RESULTADOS FINALES DE DBO<sub>5</sub> / DQO

Resultados finales de DBO <sub>5</sub>						
N°	X <sub>1</sub> (ppm)	X <sub>2</sub> (min)	X <sub>3</sub> (cm)	Repeticiones		
				1	2	3
1	200	5	20	10,5	15,6	16,2
2	200	10	30	10,2	12,3	9,6
3	200	20	20	11,3	12,1	14,6
4	200	5	30	12,7	13,6	10,6
5	200	10	20	9,8	9,8	10,6
6	200	20	30	8,5	7,5	8,2
7	300	5	20	10,6	12,9	14,2
8	300	10	30	9,3	8,5	7,9
9	300	20	20	7,8	8,2	9,6
10	300	5	30	14,5	12,8	12,4
11	300	10	20	11,2	12,3	11,9
12	300	20	30	9,2	9,4	7,6

---

**Resultados finales de DQO**

---

<b>N°</b>	<b>X<sub>1</sub> (ppm)</b>	<b>X<sub>2</sub> (min)</b>	<b>X<sub>3</sub> (cm)</b>	<b>Repeticiones</b>		
				<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1	200	5	20	243,7	265,2	248,2
2	200	10	30	70,5	68,3	65,4
3	200	20	20	107,1	110,2	105,4
4	200	5	30	65,2	70,2	72,1
5	200	10	20	218,7	201,6	199,2
6	200	20	30	45,6	51,2	42,4
7	300	5	20	192,8	190,5	189,6
8	300	10	30	58,1	61,3	55,2
9	300	20	20	94,1	101,2	94,2
10	300	5	30	48,2	51,2	53,4
11	300	10	20	178,5	181,6	180,2
12	300	20	30	32,6	30,5	28,5

---

## ANEXO 8

### MATERIALES Y EQUIPOS



Reactor digital. Marca: ROCKER SCIENTIFIC. Modelo: CR-25



Tes de Jarras, de cuatro posiciones. Marca Fratelli Galli.



Espectrofotómetro digital. Marca: HACH. Modelo: DR1900




Generador de ozono de un caudal de 1 g/hora.




Medidor multiparámetro. Marca: HACH. Modelo: HQ40D. Medición de pH

ANEXO 09

INSTRUCTIVOS DE ANÁLISIS

 SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC	<b>DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SMEWW 5220 D</b>			
	CÓDIGO	SQA-AL-03	INICIO DE VIGENCIA	14/09/2021
	VERSIÓN	01	PÁGINA	1 de 7
 <b>TÍTULO:</b>  <b>DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SMEWW 5220 D</b>				
	CARGO	NOMBRE	FIRMA	
ELABORADO POR:	Asistente de Laboratorio	Daniel Arcondo Crisanto		
APROBADO POR:	Supervisor de Proyectos	Jesús Touzet San Martín		

 <b>SQA</b> <small>SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC</small>		<b>DETERMINACIÓN DE LA          DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO          SMEWW 5220 D</b>		<b>CÓDIGO</b>	<b>SQA-AL-03</b>
				<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	<b>14/09/2021</b>
				<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 7</b>

### 1. OBJETIVO

El presente instructivo describe en forma resumida el desarrollo de los ensayos bajo la norma de la referencia. El objetivo es garantizar un proceso de análisis seguro y confiable bajo un lenguaje común y estándar para todos los analistas.

### 2. ALCANCE

Aplicable para el Método de Determinación de Demanda Química de Oxígeno en la Norma SMEWW 5220 D del Standard Methods "Examination of Water and Wastewater" 23rd.

### 3. RESPONSABILIDADES

- 3.1. El Supervisor de laboratorio (SL) es responsable de hacer cumplir lo establecido en el presente instructivo técnico.
- 3.2. Analista de laboratorio (AL) son responsables de cumplir con lo establecido en el presente instructivo técnico.

### 4. DEFINICIONES


- 4.1. Patrón primario: Patrón que es designado o reconocido ampliamente como un patrón que tiene las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor es aceptado sin referencia a otros patrones de la misma magnitud.
- 4.2. Curva de Calibración: Es un método de química analítica empleado para medir la concentración de una sustancia en una muestra por comparación con una serie de elementos de concentración conocida. Se basa en la existencia de una relación en principio lineal entre un carácter medible (por ejemplo, la absorbancia en los enfoques de espectrofotometría) y la variable a determinar (concentración).

### 5. INTERFERENCIAS

- 5.1. El método no oxida uniformemente todos los materiales orgánicos. Algunos compuestos son muy resistentes a la oxidación, mientras que otros tales como los carbohidratos son fácilmente oxidables.
- 5.2. El interferente común es el ion cloruro. El cloruro reacciona con el ion plata y precipita como cloruro de plata además que inhibe la actividad catalítica de la plata. El bromuro, yoduro y otro agente que inactive al ion plata interfiere similarmente. Estas interferencias son negativas ya que restringen la acción oxidativa del ion dicromato. Las dificultades

*"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"*



 SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC		<b>DETERMINACIÓN DE LA          DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO          SMEWW 5220 D</b>		<b>CÓDIGO</b>	<b>SQA-AL-03</b>
				<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	<b>14/09/2021</b>
				<b>PÁGINA</b>	<b>3 de 7</b>

causadas por la presencia del cloruro pueden ser superadas en gran parte, aunque no completamente, por acomplejamiento con sulfato de mercurio (HgSO<sub>4</sub>).

5.3. Los compuestos alifáticos volátiles de cadena abierta no se oxidan.

5.4. El nitrito El nitrito ejerce un DQO de 1.1 mg O<sub>2</sub>/mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N pero como usualmente en el agua no exceden de 1 o 2 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N /L la interferencia no es significativa.

## 6. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

### 6.1. EQUIPOS

- Termo reactor para usar a temperatura a 150°C+/-2°C
- Espectrofotómetro para usar a 420nm y/o 600 nm.
- Balanza Analítica de 4 decimales, sensibilidad 0.1mg.
- Estufa para usar a 150 °C


### 6.2. MATERIALES

- Pipetas graduadas de 10ml
- Fiola 1000 ml
- Probeta de 100 ml
- Tubos de 16 x100 mm
- Gradilla

### 6.3. REACTIVOS

- Agua de grado reactivo (desionizada, destilada, o una combinación de ambas).
- Disolución de digestión A (alta concentración). Añadir 500 ml de agua desionizada, pesar 10,216 g de dicromato de potasio, grado estándar primario, previamente secado a 150°C por 2 h, adicionar 167 mL de ácido sulfúrico concentrado y 33,3 g de sulfato mercuríco. Disolver y enfriar a temperatura ambiente y diluir a 1000 mL.
- Disolución de digestión B (baja concentración). Preparar como en la parte 6.3.b, pero solo pesar 1,022 g de dicromato de potasio, grado estándar primario.
- Reactivo de ácido sulfúrico: Disolver cristales o polvo de sulfato de plata en ácido sulfúrico concentrado en una relación de 5,5 g Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> /Kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. (Pesar 2.53 g Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y añadir 250 ml de

*"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"*

 SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC	<b>DETERMINACIÓN DE LA          DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO          SMEWW 5220 D</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>SQA-AL-03</b>
		<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	14/09/2021
		<b>PÁGINA</b>	<b>4 de 7</b>

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado al 98%). Se requieren de 1 a 2 días para que se disuelva completamente el sulfato de plata. La disolución formada debe mantenerse en la oscuridad para evitar su descomposición.

- e. Ácido sulfámico: Solo para interferencia de nitritos. Agregar 10 mg de ácido sulfámico para cada mg NO<sub>2</sub> +N presente en un volumen de muestra usado.
- f. Sulfato de mercurio: Solo para interferencias de cloruros, para concentraciones DQO ≤ 2000 mg/L adicionar 1g HgSO<sub>4</sub> a 50 ml de muestra.
- g. Estándar ftalato hidrogeno de potasio HOOCC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>COOK: Secar el ftalato hidrogeno de potasio a 110°C por 2 horas. Solución Stock de 500 mg/L: Pesar 0,425 g de biftalato de potasio, disolver en agua y aforar a 1000 mL. Solución Stock de 1000 mg/L: Pesar 0,850 g de biftalato de potasio, disolver en agua y aforar a 1000 mL.

**Nota:** Es estable la solución cuando se mantiene en refrigeración y si no se observa crecimiento biológico. Una preparación semanal es usualmente satisfactoria.


## 7. PROCEDIMIENTO

### 7.1. Preparación de Curva de Calibración

Preparar por lo menos 5 estándares de solución de ftalato hidrogeno de potasio con DQO equivalentes para cubrir cada rango de concentración. Ajustar a volumen con agua destilada; utilizar los mismos volúmenes de reactivos, tubo o tamaño de ampollas, y procedimientos de digestión como de las muestras. Preparar la curva de calibración para cada lote nuevo de tubos o ampollas o cuando el estándar preparado difiere ≥5% de la curva de calibración. Las curvas deberían ser lineales. Sin embargo, puede ocurrir alguna no linealidad, dependiendo del instrumento usado y precisión global necesaria.

**7.1.1. Curva Baja:** A partir de la solución stock de 500 mg/L (Secar el ftalato hidrogeno de potasio a 110°C por 2 horas. Pesar 0,425 g de biftalato de potasio, disolver en agua y aforar a 1000 mL), proceder según el siguiente cuadro:

*"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"*

 SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC		<b>DETERMINACIÓN DE LA          DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO          SMEWW 5220 D</b>		<b>CÓDIGO</b>	<b>SQA-AL-03</b>
				<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	14/09/2021
				<b>PÁGINA</b>	<b>5 de 7</b>


Solución Estándar (mg/l)	Alícuota (ml)	Volumen final (ml)	Concentración final mg/l
500,00	0,0	100	0,00
<b>(*)100,00</b>	<b>5,0</b>	100	5,00
<b>(*)100,00</b>	<b>10,0</b>	100	10,00
500,00	5,0	100	25,00
500,00	10,0	100	50,00
500,00	15,0	100	75,00
<b>500,00</b>	<b>18,0</b>	<b>100</b>	<b>90,00</b>

(\*) Realizar una dilución previa de 100 ppm: tomar una alícuota de 20ml de solución patrón de 500ppm y aforar a 100ml con agua desionizada).

**7.1.2. Curva Alta:** Proceder a partir de la solución stock de 1000 mg/L (Secar el ftalato hidrogeno de potasio a 110°C por 2 horas. Pesar 0,850 g de biftalato de potasio, disolver en agua y aforar a 1000 mL), como el cuadro siguiente:

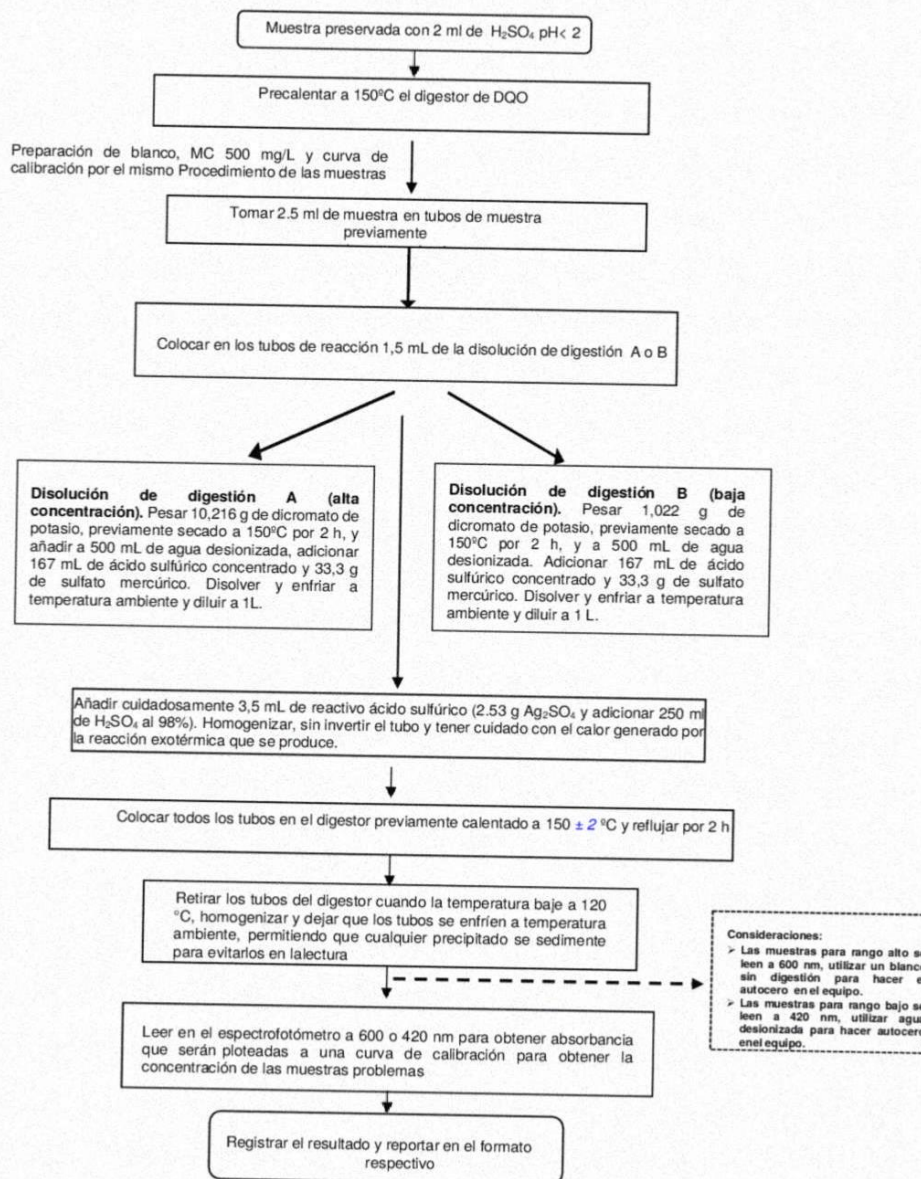
Solución Estándar (mg/l)	Alícuota (ml)	Volumen final de solución (ml)	Concentración final (mg/l)
1000,00	0,0	50	0,00
1000,00	5,0	50	100,00
1000,00	10,0	50	200,00
1000,00	25,0	50	500,00
1000,00	<b>35,0</b>	<b>50</b>	<b>700,00</b>
1000,00	<b>45,0</b>	<b>50</b>	<b>900,00</b>

"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"


 <b>SQA</b> <small>SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC</small>		<b>CÓDIGO</b>	<b>SQA-AL-03</b>
		<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	14/09/2021
		<b>PÁGINA</b>	6 de 7

**DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SMEWW 5220 D**

**7.2. Tratamiento de muestras**



*"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"*

 <b>SQA</b> <small>SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC</small>		<b>DETERMINACIÓN DE LA          DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO          SMEWW 5220 D</b>		<b>CÓDIGO</b>	<b>SQA-AL-03</b>
				<b>VERSIÓN</b>	<b>01</b>
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	<b>14/09/2021</b>			<b>PÁGINA</b>	<b>7 de 7</b>

## 8. CALCULOS

8.1. Registrar los datos de la curva en el formato NC-FT-107 Curva de Calibración para espectrometría UV/VIS

8.2. Determinar la ecuación de la curva de calibración, la regresión lineal  $r^2$  no puede ser menor de 0.995

$$Y = mX + b$$

Donde:

**m** es la pendiente;

**b** es la ordenada al origen; **Y** es la absorbancia, y

**X** es la concentración (mg O<sub>2</sub>/L).

8.3. Reportar los resultados en el formato NC-FT-092 "Registro de Demanda Química de Oxígeno".

8.4. Reportar los resultados expresados en mg O<sub>2</sub> /L

## 9. CONTROL DE CALIDAD

9.1. Se realiza Blanco de Método (BK-M), Muestra Duplicada (MD), Adición de la Muestra fortificada (AD), Duplicado de la Adición de la Muestra (DAD) Control certificada (MC) por cada 20 muestras. Revisar NC-LT-006: "Aseguramiento de la calidad límites de detección y cuantificación".

## 10. REGISTROS

10.1. Registro de Demanda Química de Oxígeno. NC-FT-092

10.2. Curva de Calibración para espectrometría UV/VIS NC-FT-107

## 11. REFERENCIAS

Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025:2017 "Requisitos Generales Relativos a la Competencia Técnica de los Laboratorios de Ensayo y Calibración".

Standard Methods "Examination of Water and Wastewater" 23 nd Edition.

## 12. ANEXOS

No aplica

*"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"*



SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC


## DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS

CÓDIGO	SQA-AL-02	INICIO DE VIGENCIA	14/09/2021
VERSIÓN	01	PÁGINA	1 de 20

**TÍTULO:**

# DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS

	CARGO	NOMBRE	FIRMA
ELABORADO POR:	Asistente de Laboratorio	Daniel Arcando Crisanto	
APROBADO POR:	Supervisor de Proyectos	Jesús Touzet San Martín	

 <small>ASOCIACION QUIMICA AMBIENTAL S.A.C.</small>		<b>DETERMINACIÓN DE LA          DEMANDA BIOQUÍMICA DE          OXÍGENO EN AGUAS</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>SQA-AL-02</b>
			<b>VERSIÓN</b>	<b>01</b>
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	<b>19/09/21</b>		<b>PÁGINA</b>	<b>2 de 20</b>

### 1. OBJETIVO

El presente instructivo describe en forma resumida el desarrollo de los ensayos bajo la norma de la referencia. El objetivo es garantizar un proceso de análisis seguro y confiable bajo un lenguaje común y estándar para todos los analistas.

### 2. ALCANCE

Aplicable para el Método de Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Norma SMEWW 5210 B.

### 3. RESPONSABILIDADES

- 3.1. El Jefe de laboratorio (JL) es responsable de hacer cumplir lo establecido en el presente instructivo.
- 3.2. El Coordinador de Laboratorio (CL)/Analista de laboratorio (AL) son responsables de cumplir con lo establecido en el presente instructivo.


### 4. DEFINICIONES

- a. **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):** Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un período de 5 días.
- b. **Medio aerobio:** Es aquel en el cual se desarrollan microorganismos en presencia de oxígeno molecular.
- c. **Medio anaerobio:** Es aquel en el cual se desarrollan microorganismos en ausencia de oxígeno molecular.
- d. **Polyseed:** Nombre del producto que contiene a los microorganismos vivos. Es una mezcla de bacterias diseñada específicamente como un inóculo de siembra para la DBO5.

### 5. INTERFERENCIAS

- a. El pH ácido o alcalino, Cloro residual, Nitritos, Sustancias inorgánicas y orgánicas reductoras.
- b. Muestras que contienen cloro residual, metales tóxicos o compuestos orgánicos tóxicos no permiten el desarrollo de bacterias que degradan la materia orgánica.
- c. Altos contenido de peróxido de hidrógeno (que pueden encontrarse en efluentes con procesos industriales de blanqueo; papeleras y plantas textiles), puede causar niveles de oxígeno iniciales supersaturados, e interferir con el valor obtenido de DBO.
- d. Muestras de agua provenientes de lugares fríos o con alta producción de fotosíntesis pueden causar niveles de oxígeno iniciales

*"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"*

 <small>SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES S.A.C.</small>		<b>DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS</b>	CÓDIGO	SQA-AL-02
			FECHA DE VIGENCIA	19/09/21
			PÁGINA	3 de 20

supersaturados, e interferir con el valor obtenido de DBO.

## 6. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

### 6.1. EQUIPOS

- a. Incubadora de aire, controlado por termostato a  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Elimine toda la luz para evitar la posibilidad de producción fotosintética de OD.
- b. Bomba de aireación.
- c. Multiparámetro
- d. Sensor de OD basado en luminiscencia
- e. Balanza Analítica de 4 decimales, sensibilidad 0.1mg.
- f. Estufa para uso de  $103^\circ\text{C}$

### 6.2. MATERIALES

- a. Botellas de incubación (winkler): Usar frascos de vidrio de 300 ml con un tapón de vidrio esmerilado y una boca acampanada).
- b. Probeta 1000 ml
- c. Pipetas volumétricas
- d. Fiolas 1000ml.
- e. Bagueta

### 6.3. REACTIVOS


Almacenar hasta un máximo de 6 meses. Descartar en caso de apreciable crecimiento biológico o precipitación. Para el buffer fosfato se recomienda preparar solución nueva cada semana o esterilizar cada semana. Dejar registro de su preparación.

Desechar los reactivos si hay cualquier signo de precipitación o crecimiento biológico en las botellas de stock. Utilizar agua destilada o agua de grado reactivo equivalente.

- 6.3.1. Agua de dilución de DBO: Usar agua desmineralizada, destilada, grifo o natural para hacer las diluciones de la muestra.
- 6.3.2. Solución amortiguadora de fosfato: Pesar 8,5 g de fosfato monobásico de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), 21,75 g de fosfato dibásico de potasio ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ), 33,4 g de fosfato dibásico de sodio heptahidratado ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) y 1,7 g de cloruro de amonio, disolver en 500 mL de agua desionizada y aforar a 1 L. El pH de la disolución debe ser de 7,2. Alternativamente, disolver 42,5 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y 1,7 g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  en 700 mL de agua desionizada. Ajustar el pH a 7,2 con 30% de NaOH y diluir a 1 L. Almacenar hasta un máximo de 6 meses. Descartar en caso de apreciable crecimiento biológico o precipitación.


*"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"*



 SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES S.A.C.		<b>DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS</b>		<b>CÓDIGO</b>	<b>SQA-AL-02</b>
				<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	<b>19/09/21</b>
				<b>PÁGINA</b>	<b>4 de 20</b>

- 6.3.3. Solución de sulfato de magnesio: Pesar 22,5 g de sulfato de magnesio heptahidratado ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ), disolver en agua desionizada y diluir a 1 L. Almacenar hasta un máximo de 6 meses. Descartar en caso de apreciable crecimiento biológico o precipitación.
- 6.3.4. Solución de cloruro de calcio: Pesar 27,5 g de cloruro de calcio anhidro ( $CaCl_2$ ), disolver en agua desionizada y diluir a 1 L. Almacenar hasta un máximo de 6 meses. Descartar en caso de apreciable crecimiento biológico o precipitación.
- 6.3.5. Solución de cloruro férrico: Pesar 0,25 g de cloruro férrico hexahidratado, disolver en agua desionizada y diluir a 1 L. Almacenar hasta un máximo de 6 meses. Descartar en caso de apreciable crecimiento biológico o precipitación.
- 6.3.6. Solución de ácido sulfúrico (1N): Agregar 28 mL de ácido sulfúrico concentrado a 500 mL de agua desionizada, mezclar bien y diluir hasta 1 L.
- 6.3.7. Solución de hidróxido de sodio (1N): Pesar 4,0 g de hidróxido de sodio, disolver en agua desionizada y diluir a 100 mL.
- 6.3.8. Disolución de sulfito de sodio: Pesar 1,575 g de sulfito de sodio ( $Na_2SO_3$ ), disolver en agua desionizada y diluir a 1L. Esta disolución no es estable; por lo que debe prepararse diariamente.
- 6.3.9. Solución patrón de glucosa-ácido glutámico (GGA): Secar glucosa y ácido glutámico a  $103^\circ C$  durante una hora. Pesar 150,0 mg de glucosa y 150,0 mg de ácido glutámico, diluir en agua desionizada y aforar a 1L. Preparar inmediatamente antes de usarla a menos que la solución se mantenga refrigerada a  $\leq 6^\circ C$  sin refrigerar, bajo condiciones estériles. Descartar la solución si se evidencia contaminación.
- 6.3.10. Fuente e agua para preparación agua de dilución de DBO. Utilizar agua desmineralizada, destilada, o equivalente de grado reactivo, potable o agua natural para hacer diluciones de muestras.
- 6.3.11. Solución de cloruro de amonio: Pesar 1,15 g de cloruro de amonio ( $NH_4Cl$ ) y disolver en 500 mL de agua desionizada, ajustar el pH a 7,2 con disolución de hidróxido de sodio y aforar a 1 L. La disolución contiene 0,3 mg N/mL.
- 6.3.12. Inhibidor para la nitrificación. Disolver 2 g  $C_4H_8N_2S$  en 1L de agua desionizada. Guardar a  $4^\circ C$ . Esta solución es estable hasta 2 semanas cuando es guardado a  $\leq 6^\circ C$  sin refrigerar.
- 6.3.13. Solución de yoduro de potasio (KI): Disolver 10,00 g de KI en 100 mL de agua destilada.
- 6.3.14. Solución indicadora de almidón: Disolver 2 g de almidón y 0,2g de ácido salicílico como preservante en 100 mL de agua desionizada caliente.

"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"

 <small>SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES S.A.S.</small>		<b>DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS</b>		<b>CÓDIGO</b>	<b>SQA-AL-02</b>
				<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	<b>19/09/21</b>
				<b>PÁGINA</b>	<b>5 de 20</b>

## 7. PROCEDIMIENTO

### 7.1. Pretratamiento y preparación de la muestra

#### 7.1.1. Condiciones de muestra

La muestra debe de ser colectada en frascos de plástico. Debe contener un volumen mínimo de 1 L. La muestra no debe ser preservada. Los frascos deben llenarse completamente y taparse.

Si el análisis inicia entre las 2 h de colección, almacenar en frío es innecesario. De otra manera, mantener la muestra a  $\leq 6^{\circ}\text{C}$  entre la colección y el análisis. Idealmente iniciar el análisis entre 6h de colección de la muestra; si es imposible debido a la distancia entre el lugar de muestreo y laboratorio, entonces iniciar el análisis entre las 24 horas de colección. El tiempo recomendado de espera es 24h; sin embargo, el US EPA permite por un 48h de tiempo de espera.

Las muestras deben de analizarse lo antes posible o antes de las 48 horas, mientras permanezcan en el laboratorio deben conservarse en refrigeración a  $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

#### 7.1.2. Verificación de pH

Si el pH no está entre 6.0 y 8.0, ajustar la temperatura de la muestra a  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , entonces ajustar pH entre 6.5 y 7.5 utilizando solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  o  $\text{NaOH}$  suficiente para no diluir la muestra por  $> 0.5\%$ . Las excepciones pueden justificarse con aguas naturales, cuando se medirán los valores de pH in situ para la DBO. El pH del agua de dilución no debería ser afectado por la dilución de la muestra baja. Siempre sembrar muestra que han sido ajustados el pH.


#### 7.1.3. Ajustar la temperatura de la muestra

Llevar la temperatura de la muestra a  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , antes de realizar las diluciones.

#### 7.1.4. Sellado de botellas

Completar cada botella adicionando suficiente agua de dilución, insertar el tapón sin dejar burbujas en la botella. Mezclar la muestra girando la botella manualmente varias veces, a menos

*"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"*

 <small>SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES S.A.S.</small>		<b>DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS</b>		<b>CÓDIGO</b>	<b>SQA-AL-02</b>
				<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	<b>19/09/21</b>
				<b>PÁGINA</b>	<b>6 de 20</b>


que inmediatamente medirá la concentración del oxígeno inicial utilizando una sonda de OD con agitador.

Obtener sellos de agua satisfactorios, sellando por inversión de las botellas en un baño de agua o por adición de agua en la boca acampanada de la botella de DBO. Colocar una capa de plástico o tapa de aluminio para reducir la evaporación del agua de sello durante la incubación.

#### 7.1.5. Oxígeno inicial, incubación y oxígeno final

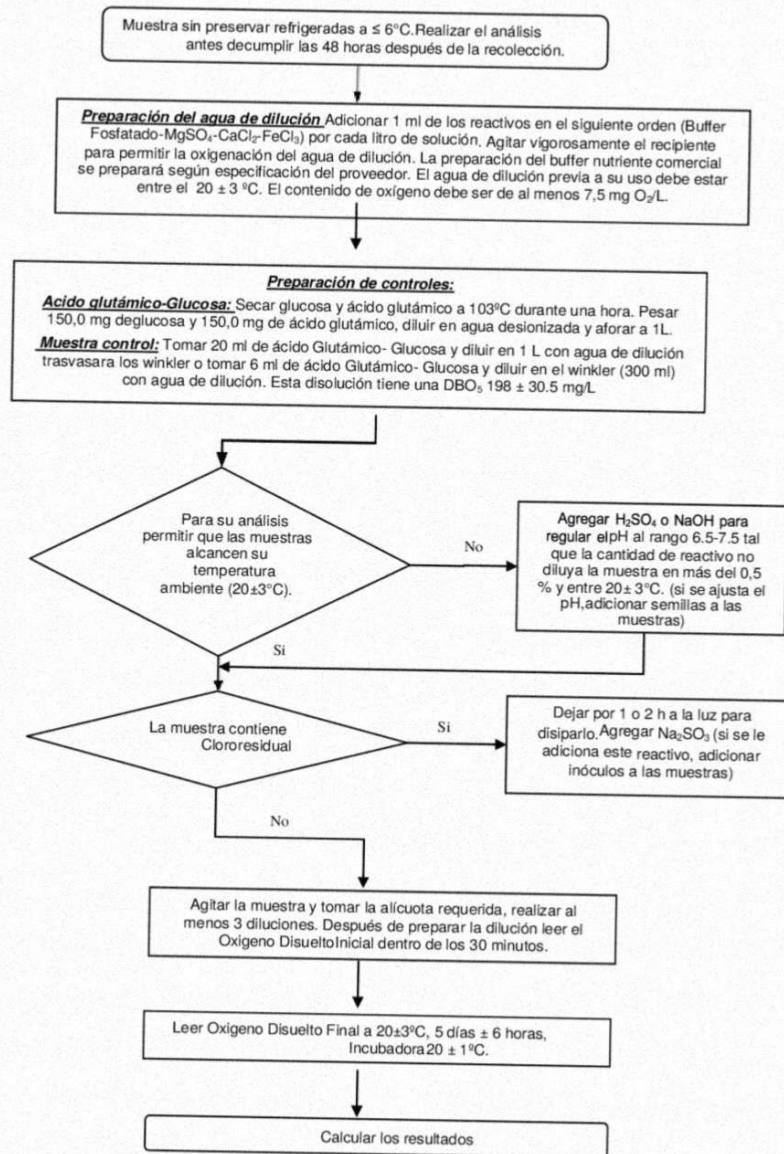
- **Oxígeno inicial**  
Determinar el OD inicial utilizando sonda óptica de medición de OD, sobre todas las diluciones de las muestras, blancos de agua de dilución, y cuando sea apropiado semillas de control. Reemplazar cualquier contenido desplazado con suficiente muestra diluida o agua de dilución para llenar la botella, tapar las botellas herméticamente, y sello de agua antes de iniciar la incubación. Después de preparar la dilución, medir el OD inicial entre 30 minutos. Calibrar sonda diariamente siguiendo el procedimiento de calibración del fabricante.
- **Incubación**  
Incubar a  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , botellas de DBO tapados y sellados, conteniendo diluciones deseadas, semillas de control, blancos de agua de dilución y verificación de GGA. Excluir la luz para evitar el crecimiento de algas en las botellas durante la incubación.
- **Oxígeno final**  
Después de  $5d \pm 6h$  de incubación, determinar OD en todas, diluciones de muestras, blancos y controles, usando el método de sonda óptica.

*"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"*


 <b>SQA</b> <small>SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES S.A.S.</small>		<b>CÓDIGO</b>	<b>SQA-AL-02</b>
		<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	<b>19/09/21</b>
		<b>PÁGINA</b>	<b>7 de 20</b>

**DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS**

**7.2. Diagrama de flujo del procedimiento de la prueba de DBO5**



*"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"*

 SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES S.A.S.		<b>DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS</b>		<b>CÓDIGO</b>	<b>SQA-AL-02</b>
				<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	<b>19/09/21</b>
				<b>PÁGINA</b>	<b>8 de 20</b>

## 8. CALCULOS

8.1. Determinación de mg/L DBO5 (Por cada botella de prueba con al menos 2.0 mg/L de consumo y al menos 1.0 mg/L de OD residual - antes de la corrección de semillas, calcular la DBO como:

$$S, \frac{mg}{L} = OD_{inicial} - \frac{(OD_{f1} + OD_{f2})}{2}$$

$$P = \frac{\text{Volumen de alicuota, ml}}{\text{Volumen de la solución, ml}}$$

$$DBO_5, mg/L = \frac{\left[ OD_{inicial} - \frac{(OD_{f1} - OD_{f2})}{2} \right] - (S)V_s}{P}$$

Donde:

**ODf1:** OD de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación, mg/L

**ODf2:** OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C, mg/L.

**S:** Consumo de oxígeno de inóculo ΔOD/ml de suspensión de inóculo agregado por frasco (S= 0 si la muestra no es inoculada).

**Vs:** Volumen de inóculo en los respectivos frascos de prueba, mL

**P:** Factor de dilución

8.1.1. Reportar los resultados en el formato NC-FT-091 Registro de Demanda Bioquímica de Oxígeno.


8.1.2. Reportar los resultados expresados en mg O<sub>2</sub> /L.

8.2. Si el consumo de OD es <2mg/L y la concentración de la muestra es 100% (no dilución, excepto por la semilla, nutriente, mineral y solución buffer), el consumo real del OD corregido por la semilla puede ser reportado como el DBO, incluso si es < 2.0mg/L.

8.3. Cuando todas las diluciones dan como resultado un OD residual < 1.0 mg/L, seleccionar la botella con la más alta concentración de OD (usualmente la mayor dilución) y reportar:

$$DBO_5, mg/L > \frac{\left[ OD_{inicial} - \frac{(OD_{f1} - OD_{f2})}{2} \right] - (S)V_s}{P}$$

"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"

 <small>SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES S.A.S.</small>		<b>DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS</b>		CÓDIGO	SQA-AL-02
				FECHA DE VIGENCIA	19/09/21
				PÁGINA	9 de 20

8.4. Si todas las diluciones dan como resultado el consumo de OD < 2.0 mg/L y la muestra fue diluida, seleccionar la botella con el más grande volumen de muestra (la menor dilución) y calcular el reporte como si la dilución tuviera un consumo de 2.0 mg/L:

$$DBO_5 \text{ mg/L} < \frac{\left[ OD_{inicial} - \frac{(OD_{f1} - OD_{f2})}{2} \right] - (S)V_s}{P}$$

En todos los cálculos, no hacer correcciones para consumo de OD por el blanco de agua de dilución durante la incubación.

8.5. Los resultados promedios de las pruebas para todas las botellas calificadas en cada serie de dilución. Reportar el resultado como DBO5 si la nitrificación es inhibida. Muestras con grandes diferencias entre el DBO calculado para diferentes diluciones (ejemplo el valor más alto es > 30% más grande que el valor más bajo) puede indicar una sustancia tóxica o problemas analíticos. Cuando el efecto se vuelve repetitivo, investigar para identificar la causa. Identifique los resultados en los reportes de ensayo cuando ocurra cualquiera de las siguientes condiciones de control de calidad.

- Promedio de blancos de agua de dilución > 0.2 mg/L.
- El GGA cae fuera del límite de control aceptable.
- Las réplicas de los ensayos muestran > 30% diferencia entre el más alto y el más bajo valor.
- Ninguna de las muestras de semilla de control cumple con los criterios establecidos.
- Todas las diluciones dan como resultado un OD residual < 1.0 mg/L.

*"Todo ejemplo impreso es una copia No Controlada excepto los ejemplares debidamente Autorizados"*

## ANEXO 10

### PANEL FORTOGRÁFICO

**Figura 19**

**Cargado de madejas de lana en la industria textil**

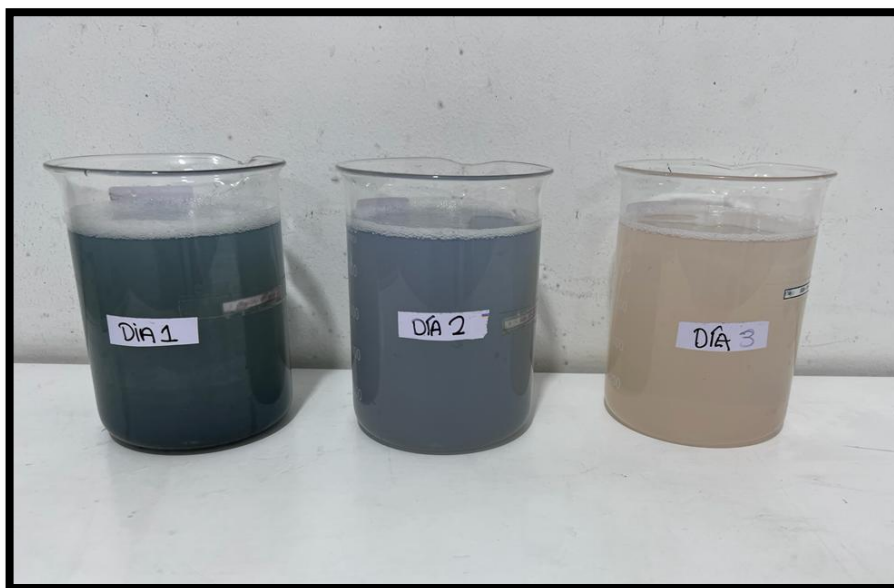


**Figura 20**

**Área de teñido de industria textil**



**Figura 21**  
**Muestra obtenida de agua residual textil**



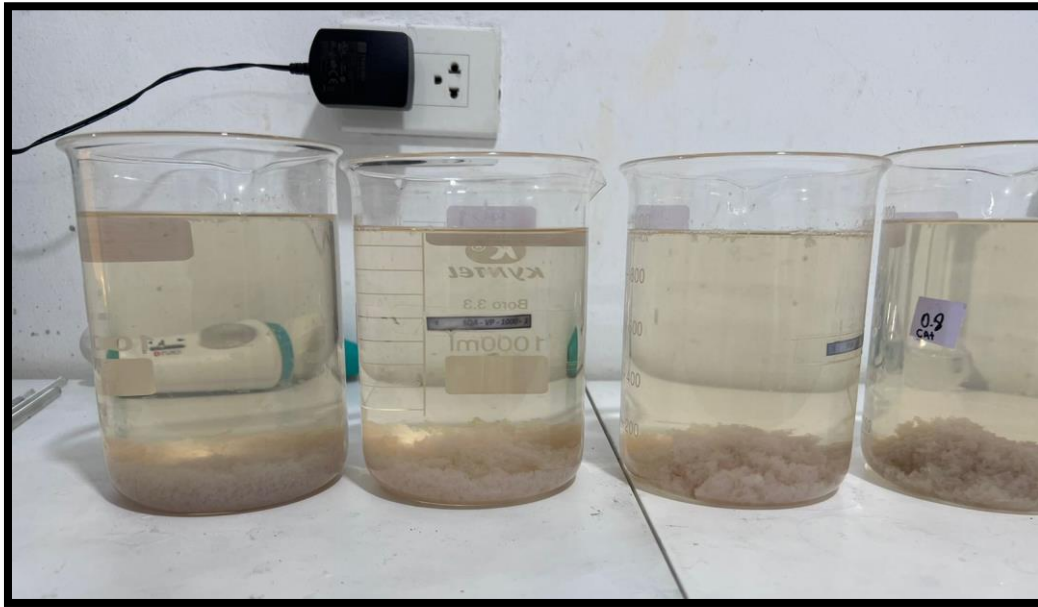
**Figura 22**  
**Etapas de coagulación – floculación, formación de flocs**





**Figura 23**

**Obtención del clarificado después del tratamiento de coagulación – floculación**

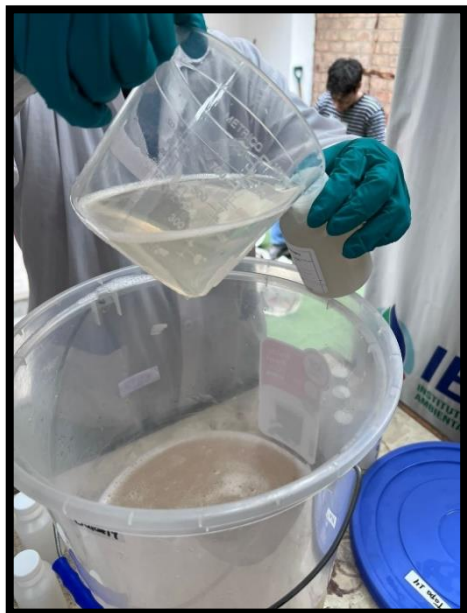


**Figura 24**

**Obtención de muestra tratada después del proceso de ozonización**



**Figura 25**  
**Toma de muestra clarificada para el análisis de carga orgánica**



**Figura 26**  
**Filtración con carbón activado**

