



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

Vicerrectorado de  
**INVESTIGACIÓN**

**Escuela Universitaria de Posgrado**

**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL  
MEDIANTE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA (O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) PARA  
SU VERTIMIENTO EN LA RED DE ALCANTARILLADO”**

**Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Ambiental**

**AUTORA**

**Díaz Córdova, Zoila Margarita**

**ASESOR**

**Galarza Zapata, Edwin Jaime**

**JURADO**

**Dr. Jave Nakayo, Jorge Leonardo - Presidente**

**Dra. Ramos Vera, Juana Rosa - Miembro**

**Dr. Esenarro Vargas, Doris - Miembro**

**LIMA-PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

A mis padres que desde lo alto guían mis pasos

A mis esposo e hijos que son la luz de mi vida

A mis queridos nietos y hermanos

## **AGRADECIMIENTO**

A la Dra. Ana León Zarate y sus directores por la oportunidad de trabajar por la investigación, al Ing. Luigi Bravo Toledo, a Grecia, Andrea y Carlos integrantes de mi equipo de investigación en tratamiento de aguas; al Dr. Juan Medina quien me alentó para desarrollar esta tesis y al Dr. Edwin Galarza Zapata asesor de la tesis por sus consejos y orientación

## INDICE

INDICE .....	1
Abstract .....	7
I. Introducción.....	8
1.1 Planteamiento del Problema .....	8
1.2 Descripción del Problema.....	10
1.3 Formulación del Problema.....	11
1.4 Antecedentes .....	12
1.5 Justificación de la Investigación .....	16
1.6 Limitaciones de la Investigación .....	16
1.7 Objetivos. ....	16
1.8 Hipótesis.....	17
II. Marco teórico .....	18
2.1 Marco Conceptual.....	18
2.1.1 Aguas Residuales.....	18
2.1.2 Aguas residuales Textiles .....	19
2.1.3 Procesos de Producción Textil .....	21
2.1.4 Caracterización de las aguas residuales textiles .....	22
2.1.5 Procesos de tratamiento de aguas residuales Textiles.....	24
2.1.6 Parámetros de Control - tratamiento de aguas residuales industriales.....	28
2.1.7 Sistema de tratamiento de Oxidación Avanzada (POA) .....	32
2.1.8 Peróxido de Hidrogeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ).....	39
2.1.9 Peroxono (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> ).....	40
2.1.10 Cinética química de aguas residuales .....	41
III. Método .....	43
3.1 Tipo de Investigación .....	43
3.2 Población y Muestra .....	44
3.3 Operacionalización de Variables.....	44
3.4 Instrumentos .....	45
3.5 Procedimientos .....	46
3.5.1 Caracterización del efluente Textil .....	46
3.5.2 Pretratamiento del agua residual textil real .....	46

3.5.3	Acondicionamiento del sistema de oxidación avanzada.....	47
3.5.4	Diseño experimental de condiciones de operación.....	48
3.5.5	Diseño cinético de la variabilidad para materia orgánica (DBO <sub>5</sub> ).....	48
3.5.6	Preparación de agua residual sintética para pruebas cinéticas.....	49
3.6	Análisis de Datos.....	49
3.7	Consideraciones éticas.....	50
IV.	Resultados.....	53
4.1	Contrastación estadística de Hipótesis.....	53
3.1	.....	53
4.1.1	Prueba de hipótesis con Límites Máximos permisibles (LMP).....	53
4.2.1	.....	61
4.2.1	Efectos de las condiciones de operación del tratamiento.....	61
4.2.2	Resultados de parámetros de operación.....	63
4.2.3	Cinética química las mejores condiciones de operación del DBO.....	70
V.	Discusión de resultados.....	73
VI.	Conclusiones.....	75
VII.	Recomendaciones.....	76
VIII.	Referencias.....	77
IX.	Anexos.....	84
	FOTO N°1 Tablero de control del Sistema de tratamiento POA.....	84
	FOTO N° 2 Tanque de almacenamiento del Sistema de tratamiento POA.....	84
	FOTO N°3 Tanque de Peróxido de Hidrogeno del Sistema de tratamiento POA.....	84
	FOTO N°4 Análisis de las aguas residuales textiles.....	84
	FOTO N°5 Sistema Ozonificador.....	84
	FOTO N°6 Equipo de inyección de Peróxido de hidrogeno.....	84
	FOTO N°7 Equipo lámpara UV.....	84
	FOTO N°8 Almacén de agua residual de industria textil real.....	84
	FOTO N°9 Control del flujo del agua residual.....	84
	FOTO N°10 Elaboración de agua residual sintética.....	84
	INFORMES DE ENSAYO DE LABORATORIO.....	84
	FICHA TÉCNICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO POA.....	84
	Matriz de Consistencia.....	98

## Tablas

Tabla 1: Producción de la industria de productos textiles en Perú.....	9
Tabla 2. Otras investigaciones generales sobre el tratamiento de POAs .....	15
Tabla 3. Valores medianos y característicos del efluente textil.....	23
Tabla 4. Operacionalización de variables .....	45
Tabla 5. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Agua .....	46
Tabla 6. Composición efluente textil para 1kg de materia procesada.....	49
Tabla 7. Resultados de los tratamientos de DBO y DQO .....	53
Tabla 8. Análisis descriptivo variable DBO. Software InfoStat 2020 .....	54
Tabla 9. Análisis descriptivo variable DQO .....	55
Tabla 10. Análisis descriptivo Variable pH. Software InfoStat 2020 .....	56
Tabla 11. Análisis descriptivo Variable DBO. Software InfoStat 2020 .....	57
Tabla 12. Análisis descriptivo variable DQO .....	58
Tabla 13. Análisis descriptivo variable pH .....	59
Tabla 14. Resultados de las concentraciones de DBO <sub>5</sub> a mejores condiciones de operación ....	70

## Gráficos

Gráfico 1: Variación de los valores de pH en los tratamientos aplicados. ....	56
Gráfico 2: Variación de los valores de pH en los tratamientos aplicados. ....	60
Gráfico 3: Gráfica de efectos para la variable señal/ruido (S/R) para el DBO <sub>5</sub> . 61	
Gráfico 4: Gráfica de efectos para la media del DBO <sub>5</sub> .....	61
Gráfico 5: Gráfica de efectos para la media del DQO .....	62
Gráfico 6: Influencia de la dosificación del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 50% y 100% en el cambio del pH respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (En condiciones iniciales de T=25°C , pH= 5.5 y 8.5, Concentración O <sub>3</sub> = 200 mg/L , Caudal de 8.0 L/min) .....	63
Gráfico 7: Influencia de la dosificación del H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 50% y 100% en el cambio de la conductividad respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de T=25°C , pH= 5.5 y 8.5 , Concentración O <sub>3</sub> = 200 mg/L , Caudal de 8.0 L/min) .....	63
Gráfico 8: Influencia del pH acondicionado inicialmente de 5.5 y 8.5 en el DBO <sub>5</sub> respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada	

(con condiciones iniciales de $T=25^{\circ}\text{C}$ , Concentración $\text{O}_3=200\text{ mg/L}$ , Caudal de $8.0\text{ L/min}$ ) .....	64
Gráfico 9: Influencia del pH acondicionado inicialmente de 5.5 y 8.5 en el porcentaje de remoción de DQO respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de $T=25^{\circ}\text{C}$ , Concentración $\text{O}_3=200\text{ mg/L}$ , Caudal de $8.0\text{ L/min}$ ) .....	65
Gráfico 10: Influencia de la dosificación del $\text{H}_2\text{O}_2$ al 50% y 100% sobre la relación $\text{DBO}_5/\text{DQO}$ respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de $T=25^{\circ}\text{C}$ , $\text{pH}= 5.5$ y $8.5$ , Concentración $\text{O}_3= 200\text{ mg/L}$ , Caudal de $8.0\text{ L/min}$ ) .....	66
Gráfico 11: Influencia del pH acondicionado inicialmente de 5.5 y 8.5 sobre la relación $\text{DBO}_5/\text{DQO}$ respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de $T=25^{\circ}\text{C}$ , $\text{pH}= 5.5$ y $8.5$ , Concentración $\text{O}_3= 200\text{ mg/L}$ , Caudal de $8.0\text{ L/min}$ ) .....	66
Gráfico 12: Relación $\text{DBO}_5$ y conductividad respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de $T=25^{\circ}\text{C}$ , $\text{pH}= 5.5$ y $8.5$ , Concentración $\text{O}_3= 200\text{ mg/L}$ , Caudal de $8.0\text{ L/min}$ ).....	67
Gráfico 13: Comportamiento del DQO y pH respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (a condiciones iniciales de $T=25^{\circ}\text{C}$ , $\text{pH}= 8.5$ , Concentración $\text{O}_3= 200\text{ mg/L}$ , Caudal de $8.0\text{ L/min}$ ) .....	68
Gráfico 14: Comportamiento del pH y la relación $\text{DBO}_5/\text{DQO}$ respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de $T=25^{\circ}\text{C}$ , $\text{pH}$ de $5.5$ , Concentración $\text{O}_3= 200\text{ mg/L}$ , Caudal de $8.0\text{ L/min}$ ) .....	68
Gráfico 15: Comportamiento del pH y la relación $\text{DBO}_5/\text{DQO}$ respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de $T=25^{\circ}\text{C}$ , $\text{pH}$ de $8.5$ , Concentración $\text{O}_3= 200\text{ mg/L}$ , Caudal de $8.0\text{ L/min}$ ) .....	69
Gráfico 16: Resultado de la variación del $\text{DBO}_5$ para el L.C .....	71
Gráfico 17: Resultado de la variación del $\text{DBO}_5$ para el L.D .....	71

## Figuras

Figura 1: Representación esquemática de la concentración molar. La concentración molar en (a) es aproximadamente la mitad que en (b) (Winterbone y Turan, 2015) .....	42
Figura 2 : Diseño experimental de Taguchi, citado por Arias, N., Ríos, L., Vásquez, L. & Pérez, G. (2013) .....	48

## Fotos

Foto 1 Tablero de control del Sistema de tratamiento POA .....	85
Foto 2 Tanque de almacenamiento del Sistema de tratamiento POA .....	85
Foto 3 Tanque de Peróxido de Hidrogeno del Sistema de tratamiento POA .....	86
Foto 4. Análisis de las aguas residuales textiles .....	86
Foto 5 sistema Ozonificador .....	87
Foto 6 Equipo de inyección de Peróxido de hidrogeno .....	87
Foto 7 Equipo lámpara UV .....	88
Foto 8 Almacén de agua residual de industria textil real .....	88
Foto 9 Control del flujo del agua residual .....	89
Foto 10 Elaboración Agua residual textil Sintética .....	89

## Resumen

En la presente investigación experimental se evaluó la eliminación de materia orgánica ( $\text{DBO}_5$ ) de las aguas residuales de la industria textil mediante métodos de procesos de oxidación avanzada (POAs). En un reactor secuencial de POAs, se utilizó como tratamientos químicos lo siguiente: ozono ( $\text{O}_3$ ), peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y radiación ultravioleta (UV). Los experimentos se realizaron variando el pH del efluente, la concentración de peróxido y el tiempo de exposición a UV, manteniendo un flujo constante de  $\text{O}_3$  (100%). Los resultados indicaron que el tratamiento con procesos de oxidación avanzada (POAs) logró una degradación de aproximadamente el 34.81% de la Demanda Biológica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), teniendo como caracterización inicial un  $\text{DBO}_5$  de 108 mg/L. Los resultados sugieren que el tratamiento óptimo se logró con Ozonización al 100 %, con 300 min de tratamiento con UV y 8,5 de pH. También se estableció un modelo cinético para la degradación de agua residual textil sintético con las condiciones óptimas de operación. En función a los datos de DBO hallados se considera de primer orden. Las constantes de velocidad de oxidación de la materia orgánica ( $\text{DBO}_5$ ) resultaron  $9.5 \times 10^{-3}\text{m}^{-1}$  y  $13.1 \times 10^{-3}\text{m}^{-1}$ , para tiempos de exposición de 250 y 300 minutos respectivamente, con un  $R^2$  de ajuste de 0.99 en ambos casos. Las concentraciones finales de los parámetros de vertimiento al alcantarillado  $\text{DBO}_5$ , DQO y pH se comparó con la normativa de Límites Máximos Permisibles (D.S 003-2002-PRODUCE) y la normativa Valores Máximos Admisibles (VMA) (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA). Se concluyó que las muestras no cumplen ambas normativas en el parámetro de DQO por lo que no se puede descargar en la red de alcantarillado.

**Palabras claves:** POAs, Demanda Biológica de Oxígeno, tratamiento avanzado, aguas residuales textil.

## Abstract

In the present experimental investigation, the elimination of organic matter (BOD<sub>5</sub>- Biochemical oxygen demand) from wastewater of the textile industry by means of advanced oxidation processes (POAs). In a sequential POAs reactor, the following chemical treatments were used: ozone (O<sub>3</sub>), hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) and ultraviolet (UV) radiation. Experiments were performed varying the pH of the effluent, the concentration of peroxide and the UV exposure time, maintaining a constant flow of O<sub>3</sub> (100%). The results indicated that the treatment with advanced oxidation processes (POAs) managed to eliminate, approximately, 34.81% of the Biological Demand of Oxygen (BOD<sub>5</sub>), having as initial characterization a BOD<sub>5</sub> of 108 mg / L. The results suggest that the optimal treatment is achieved with 100% ozonation, 300 min of UV treatment and pH= 8.5. A kinetic model was also established for the degradation of synthetic textile wastewater with optimal operating conditions. Based on the BOD data found, a first order equation is considered. The oxidation rate constants of organic matter DBO<sub>5</sub> were  $9.5 \times 10^{-3} \text{m}^{-1}$  and  $13.1 \times 10^{-3} \text{m}^{-1}$ , for exposure times of 250 and 300 minutes, respectively, with R<sup>2</sup> adjustment of 0.99 in both cases. The final concentrations of the discharge parameters to the sewage system DBO<sub>5</sub>, COD (chemical oxygen demand) and pH were compared with the regulations of Maximum Permissible Limits (DS 003-2002-PRODUCE) and the Maximum Acceptable Values (VMA) (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA). It was concluded that these samples do not comply with both regulation in the COD parameter, so it cannot be discharged into the sewerage network.

**Key words:** POAs, Biochemical oxygen demand, advanced treatment, text le wastewater

## I. Introducción

### 1.1 Planteamiento del Problema

Siendo América Latina una de las regiones más biodiversas del mundo y dueña de un tercio de las fuentes de agua del mundo, la contaminación del agua representa consecuencias ecológicas adversas. Así también el 70% de las aguas residuales de la región latinoamericana no son tratadas. El agua es extraída, usada y devuelta completamente contaminada a los ríos (Yee-Batista, 2013).

El Perú genera, aproximadamente, 2 217 946 m<sup>3</sup> por día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado; el 32% de estas recibe tratamiento, mientras que Lima genera, aproximadamente, 1 202 286 m<sup>3</sup> por día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado y el 20,5% de estas recibe tratamiento (OEFA, 2014)

Los sectores de procesamiento químico de textiles son principales consumidores de agua. Sólo el procesamiento de poliéster y algodón requiere de 100-200 kg y 250-350 kg de agua por kg de tela, respectivamente, y contribuye 4-80% y 4-37% a la carga total de aguas residuales. Los procesos químicos industriales como el pretratamiento de tejidos, el teñido, la impresión comparten la carga principal, que se genera debido al uso de productos químicos nocivos y tóxicos, cuyo exceso se drena después del uso específico (Chakraborty, 2014).

Cada año la demanda del sector textil (importación y exportación) va en aumento al igual que el requerimiento del recurso agua para el uso en su proceso. Como se muestra en la Tabla 1 “La producción de productos textiles en el Perú es un mercado constante, cuya demanda y oferta se mantienen en el tiempo”(SUNASS, 2013).

Tabla 1: Producción de la industria de productos textiles en Perú

PRINCIPALES PRODUCTOS	Unidad de medida	2012	2013	2014	2015	Ene - Ago 2016
<b>131 Hilatura, tejeduría y acabados de productos textiles</b>						
Hilo e hilado de algodón	kg	29,106,161	34,966,669	31,276,228	29,606,407	16,402,076
Hilo e hilado - Varios	kg	31,405,330	29,779,077	31,259,252	27,584,529	17,946,645
Hilo e hilado acrílico	kg	5,124,010	6,446,194	5,888,099	5,741,342	4,013,316
Hilo e Hilado mezcla	kg	2,920,107	2,181,495	2,289,149	2,214,423	1,628,776
Telas - Varios	kg	3,536,270	3,126,275	2,738,767	2,751,425	1,826,146
Telas - Varios	m	13,102,140	11,650,535	9,899,710	10,176,853	5,262,236
Tela Drill	m	18,829,906	21,987,991	23,300,446	26,013,939	16,878,064
Telas de algodón	m	34,422,650	39,915,781	43,527,345	43,998,273	27,942,167
Telas de algodón	kg	885,899	539,958	617,283	439,416	255,521
Telas de poliéster	m	12,356,042	10,402,184	6,713,094	5,500,747	2,448,948
Felpa	kg	56,444	95,580	96,411	85,836	73,807
<b>139 Fabricación de otros productos textiles</b>						
Tela Jersey	kg	11,165,459	11,333,968	9,790,204	8,587,674	5,188,707
Tejido de punto	kg	2,170,330	1,813,069	1,782,838	2,075,364	1,526,133
Tela Gamuza	kg	1,218,815	1,353,905	1,438,804	1,107,024	512,247
Tejido Rib	kg	1,012,107	1,551,697	1,643,420	1,405,063	951,741
Tela Franela	kg	1,102,183	1,306,759	1,136,696	647,664	479,546
Tela Piqué	kg	926,790	806,615	856,346	724,680	323,511
French Terry	kg	357,945	323,470	279,675	492,580	293,374
Redes	kg	7,689,123	5,358,622	5,017,944	4,262,635	3,105,343
Cordeles y Cabos	kg	1,337,092	994,751	1,091,772	1,029,122	580,133
Cordones	kg	418,634	381,530	259,879	205,477	143,701

Fuente: Reporte sectorial N°08-Pág 8-Setiembre 2016 – SIN (institutos de estudios económicos y sociales)

Cada día, en forma sistemática, casi 80,000 industrias y comercios de Lima vierten aguas residuales a la red de alcantarillado sin el tratamiento adecuado que exige la ley, generando daños a la infraestructura sanitaria y problemas a los demás usuarios, además de un grave daño al medioambiente (El Peruano, 2015). Así también algunas industrias siguen vertiendo efluentes a aguas superficiales como por ejemplo en las cuencas media y baja del río Rímac que según el reporte dado (ANA, 2011) identifica establecimientos industriales textiles que vierten efluentes al río. Por lo que es una gran necesidad de establecer tratamientos para las aguas residuales textiles.

## 1.2 Descripción del Problema

La industria textil peruana es generadora de millones de metros cúbicos anuales de agua residual, que se vierten al alcantarillado o a aguas superficiales (ríos, por ejemplo). Siendo los compuestos contaminantes más importantes en estas aguas residuales textiles 20 compuestos recalcitrantes orgánicos como colorantes, sustancias tóxicas, compuestos inhibitorios, surfactantes y sales que en conjunto conducen a valores extremos de pH (Şen y Demirer, 2003). Igualmente se encuentran en estos efluentes contaminantes inorgánicos tales como metales, cloro, sulfatos, sulfuros y nitrógeno (Bulc & Ojstršek, 2008). Pero basados en su facilidad en la biodegradación estos contaminantes de los efluentes textiles son principalmente de tipos diferentes según (Chakraborty, 2014).

- Contaminantes inorgánicos relativamente inocuos tales como álcalis, ácidos minerales, sales neutras (cloruros, sulfatos, fosfatos y silicatos) y agentes oxidantes como los peróxidos, el cloro y el dióxido de cloro ( $H_2O_2$ ,  $Cl_2$ ,  $ClO_2$ ).
- De DBO moderado a alto, pero son fácilmente degradables, tales como tamaños de almidón, aceites vegetales, grasas y ceras, tensoactivos biodegradables (lineal-alquil aniónicos, ácidos orgánicos y agentes reductores ( $Na_2S$ ,  $Na_2S_2O_4$ , sulfatos).
- De DBO Moderado y difícil de biodegradar, tales como, grasas de lana, éteres y ésteres de almidón, aceite mineral (acabado de espín), tensioactivos (aniónicos ramificados), suavizantes aniónicos y no iónicos.
- De DBO despreciable y no apto para el tratamiento biológico convencional, HCHO y reactivos de N-metilol, disolventes y vehículos clorados, agentes retardantes catiónicos y suavizantes, biocidas (pentaclorofenol, complejos organometálicos, insecticidas), secuestrantes (EDTA, NTA) y sales de metales pesados (Cu, Cr, Cd, Sb).

Por lo que obtener una alta reducción de DBO es importante en el tratamiento de las aguas residuales textiles, descomponiendo y eliminando

los contaminantes biodegradables del agua residual textil por tanto existe una gran necesidad de nuevas tecnologías (específicamente tratamientos avanzados) ya que las moléculas complejas de los contaminantes apenas son atacadas por los microorganismos en los procesos biológicos de tratamientos convencionales (baja eficiencia) (Dewil, Mantzavinos, Poullos y Rodrigo, 2017).

Esta falta de eficiencia de las tecnologías convencionales de tratamiento justificó el interés por otros procesos. Los llamados Advanced Oxidation Processes (AOPs) que constituyen una familia de tecnologías similares, pero no idénticas que se basan predominantemente (pero no exclusivamente) en la producción de radical hidroxilo muy reactivo.

Sin embargo en este tipo de tecnologías avanzadas no existe estudios que busquen las condiciones operativas capaces de mejorar su aplicabilidad y eficiencia de los sistemas de (POA), específicamente en la reducción del DBO (biodegradabilidad) de las aguas residuales textiles, así permitiendo la aplicabilidad del sistema, para que luego el agua tratada pueda ser comparados con la normativa ambiental vigente y no sobrepasar el estándar de calidad ambiental o los valores máximos permisibles, así gestionar su vertimiento en el alcantarillado y/o aguas superficiales.

Con el propósito de encontrar mejores condiciones de operación en un sistema de procesos de oxidación avanzada (POA), y mejorar la eficiencia en la biodegradabilidad de los contaminantes en forma de DBO para su posible descarga en la red de alcantarillado o vertimiento en aguas superficiales, enfocamos el problema de estudio:

### **1.3 Formulación del Problema**

#### **- Problema General**

¿En qué medida el tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos de oxidación avanzada ( $O_3/UV/H_2O_2$ ) influye en el vertimiento en la red de alcantarillado?

- **Problemas específicos**

- a) ¿Cuáles son las condiciones de operación del sistema de tratamiento mediante en el análisis de la combinación de un proceso integrado formado por una etapa de ozonización seguida de otra etapa de Oxidación Ultravioleta y Peroxidación?
- b) ¿Cómo es la cinética de reducción de materia orgánica ( $\text{DBO}_5$ ) en las mejores condiciones de operación del sistema?
- c) ¿Cuáles son las características de las aguas residuales textiles tratadas por proceso de oxidación avanzada ( $\text{O}_3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) para su vertimiento a la red de alcantarillado?

#### 1.4 Antecedentes

Los trabajos relacionados con el uso de procesos de oxidación en distintas condiciones son los siguientes:

Neamtu et al. (2002), investigaron un foto-reactor de lotes a escala de laboratorio equipado con una lámpara de mercurio sumergida a baja presión para evaluar la foto-degradación de tres colorantes reactivos no hidrolizados (azoicos) simulando el agua residual sintética textil. Usaron seis dosis diferentes de peróxido de hidrógeno, a una concentración inicial constante del sustrato (100 mg/L). Por lo que calcularon constantes de velocidad de primer orden en las curvas cinéticas experimentales, para los tres colorantes azoicos, también evaluaron la efectividad de remoción del carbono orgánico total (COT) a dosis de 24,5 mmol  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{L}$ . Los resultados mostraron que estas constantes de velocidad tienen valores extremos del orden de 0.1 min. Concluyeron la idoneidad del tratamiento UV/  $\text{H}_2\text{O}_2$  como una etapa de tratamiento previo de aguas residuales textiles, luego que se establecen las condiciones operativas óptimas y la rentabilidad del método. Georgiou, Melidis, Aivasidis, y Gimouhopoulos, (2002), investigaron sobre la degradación de varios colorantes azoicos reactivos y aguas residuales textiles, bajo irradiación ultravioleta (UV) en presencia de peróxido de hidrogeno  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Los colorantes azo reactivos usados fueron de los tipos

Levafix y Remazol. Prepararon soluciones de tinte de 4 L de 100 mg/L inmediatamente antes de la irradiación. Se utilizó un foto-reactor. La fuente de radiación era una lámpara UV de 120 W que emitía a 253,7 nm y estaba protegida por un tubo de cuarzo. Los resultados muestran la reducción casi completa del color en las soluciones de tinte en los primeros 20 a 30 minutos de irradiación. Respecto a los COT el 80% se destruyeron después de 2h de irradiación. El color de las aguas residuales textiles se eliminó por completo en menos de 1 h, el 90% de los anillos aromáticos y el 70% del DQO de las aguas residuales se eliminaron después de 2 horas de irradiación. Concluyeron que el tratamiento UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> demostró ser capaz de la degradación completa y la mineralización de los colorantes usados.

Azbar, Yonar, y Kestioglu, (2004), presentan en su investigación una comparación de varios procesos de oxidación avanzada (O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>/UV, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) respecto a métodos de tratamiento químico. Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O, FeCl<sub>3</sub> y FeSO<sub>4</sub>, realizando el tratamiento a un efluente del teñido de poliéster y acetato de fibra poliéster. Evaluaron la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) y color, Tiempo de experiencia de 100 min, variaciones de pH 3,5,7 y 9, las variaciones de Peróxido H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fueron, 100, 200, 300 y 400 mg/L. Los resultados mostraron que los POAs tienen un rendimiento superior en comparación con el tratamiento químico convencional, cuyo máximo eliminación de color y de DQO alcanzado fue del 50% y 60%, respectivamente. El tratamiento POAs de mejor rendimiento fue la combinación O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV con un resultado en 99% de eliminación de DQO y 96% de eliminación de color, así también otra combinación de tratamiento con rendimiento aceptable fue Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, siendo una opción económicamente más viable para el efluente de teñido de acetato y fibra de poliéster sobre la base de una eliminación del 90%.

Shu y Chang, (2005), compararon tratamientos POAs (O<sub>3</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y UV/O<sub>3</sub>) para evaluar la decoloración de seis colorantes azoicos; los resultados mostraron alta decoloración para todos los procesos. Sin embargo, los tintes con enlaces dis-azo (es decir, CI Direct Yellow 4 y CI Acid Black 1) fueron más difíciles de decolorar que los colorantes mono-

azoicos, mostrando variación del pH de 5.4 a 3.5, volviéndose más ácido. Concluyeron que el tratamiento UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> utiliza mayor energía.

Lucas, Peres y Puma, (2010), investigaron un reactor de columna de burbujas a escala piloto en la aplicación de diferentes procesos de oxidación avanzada basados en ozono (O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>/UV y O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para el tratamiento de aguas residuales de una vinícola. La caracterización del agua mostró un pH 4. Los resultados mostraron una efectividad en la siguiente secuencia: O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> > O<sub>3</sub>/UV > O<sub>3</sub>. La reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) y la eliminación del carbono orgánico total (COT) mejoraron mediante la operación a pH neutro (pH 7) y a pH alcalino (pH 10). La tasa de consumo de ozono en el reactor con los procesos O<sub>3</sub>/UV y O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> estuvo en el rango de 70 a 95%, lo que sugirió un uso efectivo del ozono suministrado al sistema. La desaparición de la carga orgánica de las aguas residuales se describió mediante una cinética de reacción aparente de pseudo primer orden. La constante de velocidad más rápida fue ( $6.5 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ).

Güyer, Nadeem y Dizge, (2016), investigaron la reciclabilidad y la reutilización directa de las aguas de lavado/blanqueo del teñido reactivo del tejido de algodón mediante procesos de oxidación avanzada (O<sub>3</sub>, UV/O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV). Llevaron a cabo ensayos de teñido con aguas residuales tratadas a escala de laboratorio variando O<sub>3</sub> (5-20mg/L), (40-300mM) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Luz UV (254nm, 40W). Los resultados mostraron que el proceso O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV eliminó la DQO a una tasa mayor (55%) que otros POAs estudiados, mientras que la eliminación de color fue similar (> 95%).

Bilińska, L., Gmurek, M., & Ledakowicz, S. (2017), demostraron el grado de mineralización que se logró a un pH alcalino inicial, para soluciones sintéticas, obteniendo el 80 y 90% de reducción de DQO después de 60min de tratamiento, pero en el caso de aguas residuales industriales diluidas y no diluidas, la reducción de compuestos orgánicos fue menor, aproximadamente un 50% y 10 % de DQO, respectivamente; pero (Bilińska et al., 2017) después de 60min la degradabilidad obtenida resulta ser 20 y 30% los colorantes individuales y 40% para mezcla de estos. Para mayores detalles revisar (Tabla 2).

Tabla 2. Otras investigaciones generales sobre el tratamiento de POAs

Tipo de proceso oxidativo	Tipo de agua residual	Condición	Resultado	Referencia
UV/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	Verde reactivo 19 (RG19), condición óptima de radiación UV 1500 mW cm <sup>2</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y condiciones de pH (ch ¼ 30 mM, pH ¼ 6.5)	✓ Decoloración completa en 20 min. ✓ 63% de remoción de carbono orgánico total (TOC) en 90 minutos	(Zuorro y Lavecchia, 2014)
Combinaciones de TiO <sub>2</sub> / UV / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	Condición óptima de TiO <sub>2</sub> (0,16 g / L) y radiación UV de 10 mW / cm <sup>2</sup> a longitud de onda de 254 nm	✓ Eficiencias de decoloración de 17%, 26%, 38% y 64% en las series UV, UV + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , UV + TiO <sub>2</sub> y (UV + TiO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	(Ruppert, Bauer,y Heisler, 1994)
Contraste yodado (ICM), Iohexol, mediante (UV, UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , UV/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>2+</sup> )	Iohexol 10-1000ppm aditivo en Mili-Q agua, agua sintética, sintética diluida, sin tratar; orina sintética, real y diluida.	Concentración de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0-1000 ppm, iv) adición inicial de Fe <sup>2+</sup> : 0-50 ppm, v) Factor de dilución: sin diluir, x10 diluido, x100 diluido y vi) pH inicial: 3-11.	✓ El t <sub>90%</sub> , como medida de comparación entre los diversos experimentos, puede reducirse moderadamente.	(Giannakis et al., 2017)
O <sub>3</sub> , UV/O <sub>3</sub> ,	Sintético, colorante Mordant Violet 40 (MV-40)	Ajuste de pH 3-11, 100 mg/l, O <sub>3</sub> : 500 mg/h y 200 ml de agua a tartar.	✓ La decoloración máxima es a pH 9. ✓ 98% de la eliminación de color se obtuvo en 20 minutos para O <sub>3</sub> /UV	(Mohamed, Nemr, & Fedekar, 2017)
O <sub>3</sub> , Floculación	Aguas textil real	Dosis de Sulfato de Aluminio (500-600mg/L)	En el tratamiento con coagulación-floculación la eficiencia fue 98% (con y sin polímero) y para turbidez, 95% sin polímero y 98% con Polímero	(Nagel Hassemmer y Luiz Sens, 2002)
O <sub>3</sub> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Agua residual de baños portátiles con fenoles	Caudal de 0.223 gr/h, O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> a (0.25, 0.50, 1.00 y 2.00 molar).	Reducción H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> a 2.0 molar de los compuestos fenólicos hasta valores de 0.01 mg/l se dio en 3h de reacción, tiempo corto en comparación con la reacción con 0.25 molar, donde la reducción del compuesto fenólico a 0.01 mg/l se dio en 28h.	(Quicaño Tafur, 2014)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> , UVC/O <sub>3</sub> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> UVA/O <sub>3</sub> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	sulfolano en un medio acuoso (sintético y subterráneo)	Con fotocátalisis de TiO <sub>2</sub> , a 30 min.	(a) UVC/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / O <sub>3</sub> (b) UVC/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y (c) UVC/ O <sub>3</sub> condujeron una mayor tasa de pérdida de sulfolano en muestras de agua sintética y subterránea.	(Yu, Mehrabani-Zeinabad, Achari, y Langford, 2016)

Fuente: Elaboración Propia

### 1.5 Justificación de la Investigación

El presente trabajo de investigación se justificó debido a la necesidad de tratar las aguas residuales, de la industria textil formal e informal, que se vierten al alcantarillado sin tratamiento algunos (con eficiencias de tratamiento muy baja). Este tratamiento ofrecerá parámetros óptimos de operación del tratamiento avanzado para estas aguas residuales con eficiencias mayores del 70%; de modo que, se hace necesario realizar este tipo de estudios que permitan generar impactos positivos en la comunidad al elevar la eficiencia en la remoción de contaminantes. Con ello, cumplir también con la normativa presente y su posterior vertimiento. Así, el presente trabajo de investigación se enmarca en el modelo de procesos tecnológicos avanzados.

Conocer la calidad de las aguas residuales industriales textiles permite implementar sistemas de tratamiento que acondicionen las aguas para su vertimiento a la red de alcantarillado dentro de la normatividad vigente, este sistema de tratamiento (POA) tendrá la capacidad de transformar las características del efluente textil de modo que se ha de comportar como la herramienta principal para la investigación.

### 1.6 Limitaciones de la Investigación

**Temporal:** El tiempo es limitante importante, las concentraciones del agua residual textil varían por demanda de producción en ciertos meses del año reduciendo el tiempo de muestreo.

**Espacial:** Las limitaciones para la siguiente investigación son referente a la accesibilidad al agua residual textil por ser de origen privado.

### 1.7 Objetivos.

#### - Objetivo General

Determinar en qué medida el tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos de oxidación avanzada ( $O_3/UV/H_2O_2$ ) influyen para el vertimiento en la red de alcantarillad.

### - **Objetivo Específicos**

- a.- Determinar, las condiciones de operación del sistema de tratamiento mediante el análisis de la combinación de un proceso integrado formado por una etapa de ozonización seguida de otra etapa de Oxidación Ultravioleta y Peroxidación.
- b.- Cuantificar, la cinética de reducción de materia orgánica ( $\text{DBO}_5$ ) en las mejores condiciones de operación del sistema.
- c.- Caracterizar, las aguas residuales textiles tratadas por proceso de oxidación avanzada ( $\text{O}_3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) para su vertimiento a la red de alcantarillado.

### 1.8 **Hipótesis.**

La hipótesis está constituida de su variable independiente y dependiente, se evaluará el tratamiento por POAs, y luego, las mejores condiciones de operación la variabilidad cinética del  $\text{DBO}_5$  permitiendo tratar los efluentes de la industria textil.

“El tratamiento de aguas residuales de la industria textil, mediante procesos de oxidación avanzada ( $\text{O}_3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) tienen una alta influencia para el vertimiento en la red de alcantarillado”

#### **Hipótesis Específicas**

- a.- Las condiciones de operación tienen una alta influencia en el sistema de tratamiento mediante el análisis de la combinación de un proceso integrado formado por una etapa de ozonización seguida de otra etapa de Oxidación Ultravioleta y Peroxidación.
- b.- La cinética de reducción de materia orgánica ( $\text{DBO}_5$ ) es alta cuando se da las mejores condiciones de operación del sistema.
- c.- Las aguas residuales textiles tratadas por proceso de oxidación avanzada ( $\text{O}_3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ) cumplen la normativa ambiental vigente para su vertimiento a la red de alcantarillado.

## II. Marco teórico

### 2.1 Marco Conceptual

*Aguas residuales en la industria textil:* Las aguas residuales obtenidas de la industria textil suelen ser ricas en color, demanda química de oxígeno (DQO), productos químicos complejos, sales inorgánicas, sólidos disueltos totales (STD), pH, temperatura y turbidez (Lafi, Gzara, Lajimi, & Hafiane, 2018).

*Oxidación avanzada:* Los procesos de oxidación avanzada (POA), como los procesos de ozonización, la radiación de ozono/UV son alternativas potenciales para el tratamiento terciario de efluentes (Sivagami, Sakthivel, & Nambi, 2018).

*Demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub>:* Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.

*Demanda Química de Oxígeno DQO:* Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

#### 2.1.1 Aguas Residuales

Las aguas residuales son aquellos líquidos de composición variada provenientes de los usos domésticos, agropecuarios, industriales, comercial, de servicios o de cualquier otros uso, que hayan sufrido degradación de su calidad original (Torres, 1994). Las aguas residuales empezaron a existir desde que el hombre se le ocurrió que el agua sería un excelente medio para limpiar y llevar lejos desperdicios generados por la actividad cotidiana. Las aguas residuales presentan una gran cantidad de contaminantes que tienen una acción muy compleja sobre el medio ambiente, afectando el desarrollo natural de los ecosistemas por el cambio de condiciones tales como la toxicidad, olor, color, entre otras. (Forero, Ortiz y Rios, 2005) contienen aproximadamente un 99.9% de agua y el resto está constituido por materia sólida. Los residuos sólidos están

conformados por materia mineral y materia orgánica. La materia mineral proviene de los subproductos desechados durante la vida cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento. La materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana (Rojas, 2002).

### **2.1.2 Aguas residuales Textiles**

El agua es un elemento esencial para muchas funciones ambientales asociadas a los ecosistemas cumple varios roles y funciones en todo tipo de industrias. El crecimiento de la producción industrial, generado por el dinamismo de las industrias de las principales ciudades en el estado, ha determinado un crecimiento en la cantidad consumida de agua en diversos procesos industriales, (Guzman Soria, Garcia Salazar, Rebollar Rebollar y Hernández Martínez, 2011).

Casi toda el agua utilizada en las industrias termina como aguas residuales liberados en el medio ambiente, esto crea huella significativa y también crea otros peligros, especialmente para las industrias químicas y de procesos relacionados. La cantidad de aguas residuales generadas en muchas industrias varía sustancialmente de un proceso a otro y son más alta en los países en desarrollo, las industrias intensivas son las de mayor contribución en la generación de aguas residuales; la industria del papel consume 300 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de producto generando cantidades similares de aguas residuales; la industria azucarera requiere hasta 15 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de azúcar, la industria minera requiere 40 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de mineral, y la industria petrolera requiere 10-300 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de producto. La industria de fertilizantes químicos también contribuye enormemente, requiriendo hasta 270 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de producto, y la industria siderúrgica requiere agua de 20-60 m<sup>3</sup> por tonelada de producto, mientras que la industria del papel de alta calidad necesita una cantidad máxima de agua hasta 1000 m<sup>3</sup> (Ranade y Bhandari, 2014). en la industria textil genera más de 300 000 L de aguas residuales por tonelada de producto (Bilińska, Gmurek y Ledakowicz, 2017).

La industria textil es una de las actividades más antiguas del mundo, desde su origen, se ha caracterizado por tener un gran consumo de agua, por lo tanto, una gran generación de desechos líquidos llamados efluentes (Cunha, 2000). Se utiliza un volumen excesivo de agua, alrededor de 50 a 100 litros para cada kilogramo beneficiado, alcanzando un alarmante consumo medio de agua de aproximadamente 150 mil millones de los metros cúbicos al año (Rosa Marcos Jorge, 2010).

El alto consumo del agua se debe a sus procesos que provienen principalmente del desengomado (15 %), descrude y mercerizado (20 %) y del blanqueo, teñido y lavado (65 %). (Héctor D. Mansilla, Cristian Lizama, 2008). Estos efluentes tienen un alto contenido orgánico, coloración intensa y compuestos químicos tóxicos para los seres humanos y el medio ambiente. Los procesos y descargas generados por la industria textil cambian según el desarrollo de procesos y técnicas que usan (Hassemer, 2006).

El mayor aporte de la carga orgánica proviene de la etapa del desengomado que aporta alrededor de 50 % del total de DBO. (Héctor D. Mansilla, Cristian Lizama, 2008) por el gran volumen y la composición de sus efluentes, se le considera como una de las más contaminantes de todos los sectores industriales (Cuásquer, 2015), por eso han llegado a ser en muchos lugares un problema que iguala o supera al de otro tipos de agua residuales. Su descarga al sistema de alcantarillado de la ciudad está limitada, por dañar la vida acuática del ecosistema marino, donde son finalmente descargadas. La industria está obligada a tratar los efluentes o aguas residuales parcial o completamente en su fuente (Salas Colotta, 2003). En cuanto a las investigaciones acerca del tratamiento de efluentes de la industria textil podemos encontrar multitud de estudios acerca de su utilización (Mora, 2012).

Los procesos biológicos y físico-químicos son los métodos más comunes para el tratamiento de efluentes textiles. Sin embargo, en muchas ocasiones, la eficiencia de remoción de contaminantes se

puede aumentar a través de la combinación de estos métodos convencionales con los avanzados. se ha estudiado la influencia de ozonización en el proceso de coagulación-floculación en las aguas residuales textiles de una tintura, estampado y acabado de la industria textil. Así, varios ensayos de jarra se llevaron a cabo utilizando las aguas residuales antes y después de un proceso de ozonización, con tiempos de reacción de 30 y 60 min. Se puede destacar que un corto tiempo de pre-ozonización mejora el proceso de coagulación, logrando después de la sedimentación, unas reducciones de COD y turbidez de 57% y 95%, respectivamente (Barredo-Damas et al., 2005).

### **2.1.3 Procesos de Producción Textil**

La industria textil fabrica tejidos que utilizan grandes cantidades de materias primas para la preparación de las diversas fibras (algodón, lana, seda, lino, materiales sintéticos, etc.), aplicando diversos procesos implicados en su producción (Mora, 2012). La fabricación de textiles se produce con materia prima, ya sea de origen vegetal, animal o químico; luego la fibra se hila y se usa para tejer las telas. Después viene el teñido y el acabado de los tejidos, el material se suministra para la confección de prendas de vestir. Cada clase de fibra se comporta de manera diferente, siendo necesario darle un tratamiento especial a cada una; para ello existen diferentes tipos de máquinas, colorantes, productos o sustancias auxiliares, etc. Las operaciones efectuadas en la industria textil se engloban en dos etapas que incluyen distintos procesos. y son: hilatura-tejido de la fibra y el acabado (Salinas, 2011). El acabado es la última fase del tratamiento se realiza por tratamiento mecánico o químico en la fibra, hilo o tejido, para mejorar la apariencia, brillo, toque, caída, resistencia, estabilidad, aumentar el brillo y darle el toque a los productos textiles(De Freitas, 2002).Durante la fase de acabado intervienen los procesos de: medio blanqueo, teñido-blanqueo y el acabado(Salinas, 2011). Durante el medio blanqueo se remueve la

materia coloreada. Se utiliza sobre algodón y algunas fibras sintéticas se trata con una solución diluida de los agentes blanqueadores y tensoactivos. Después del blanqueo, la tela se enjuaga con agua y luego se trata con sustancias reductoras que eliminan el exceso del agente oxidante. (Pérez, 2006). Por último, el acabado es el proceso que se realiza sobre el tejido para modificar su comportamiento, apariencia de tal forma que queda como producto final. (Mora, 2012) La mayor cantidad de agua empleada por la industria textil es aplicada en estas etapas, en donde se adicionan la mayor cantidad de agentes químicos y sustancias que posteriormente se convierten en fuertes contaminantes (Salinas, 2011).

#### **2.1.4 Caracterización de las aguas residuales textiles**

Las actividades que realiza la industria textil genera aguas residuales de características muy variables (Crespi y Huertas, 1987) una de las principales características de la industria es el alto consumo de agua, haciendo que este ocupe el tercer lugar en el mundo de las industrias con alto nivel de contaminación (Mora, 2012), dichos efluentes se caracterizan generalmente por su elevada demanda química de oxígeno (DQO), debido a los compuestos orgánicos refractarios; demanda biológica de oxígeno, (DBO) debida a la materia orgánica biodegradable (DBO<sub>5</sub>), metales, elevada temperatura, alto contenido en color, pH inestable, sólidos en suspensión en sus procesos (Salas, 2010).

**Encolado (Sizing).** -En el proceso de encolado el volumen del efluente es bajo, pero puede contener altos niveles de demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos totales suspendidos (STS). (Correia, Stephenson y Judd, 1994).

**Desencolado (Desizing).**-El agua residual generada en este proceso puede ser el mayor contribuyente a la demanda biológica de oxígeno (DBO) y sólidos totales (ST) (Correia et al., 1994).

**Descrudado (Scouring).** -El volumen del efluente dependen de la fuerza del proceso de fregado y de las propiedades del propio material procesado. Debido a su no biodegradabilidad o toxicidad, muchas impurezas, pueden plantear problemas en el funcionamiento de sistemas de tratamiento biológico(Correia et al., 1994).

**Mercerizado (Mercerizing)** –Las aguas residuales de mercerización tienen bajos niveles de DBO y sólidos totales TSS, pero tienen un pH altamente alcalino antes de la neutralización (Correia et al., 1994)

**Blanqueo (Bleaching)** –Suelen tener un alto contenido de sólidos con niveles de DBO bajos a moderados. TOM (Correia et al., 1994)

**Tintado (Dyeing)** –Los efluentes de colorantes tienen un alto contenido de color, altos valores de TDS y valores moderados de DBO tienden a contener bajos niveles de TSS, presencia de metales debido a los colorantes (Correia et al., 1994).

Tabla 3. Valores medianos y característicos del efluente textil.

Parámetro	Valor medio	Parámetro	Valor medio
Temperatura	35°C	Nitrógeno amoniacal (NH <sub>3</sub> )	20- 30 mg/L
DBO 5	300 mg/L	Fósforo	5 - 10 mg/L
DQO	1000 mg/L	Tensoactivos	30- 40 mg/L
Sólidos en suspensión	200 mg/L	Cloratos	1000- 1500 mg/L
Sólidos sedimentables	0 - Vs mg/L	Sulfatos	1000- 1500 mg/L
Nitrógeno total (TKN)	30 - 40 mg/L	Color perceptible después de la dilución	1/40
Fenoles	5 - 10 mg/L		
pH	7 - 10	Aceites y grasas	30- 40 mg/L

Fuente: Storti (2001)

En general la carga contaminante de los efluentes textiles es de dos a tres veces superior al de agua residual urbana y algo más tóxica. (Crespi y Huertas, 1987)

Presentan alto contenido en color debido a la presencia de colorantes que no se fijan en las fibras durante el proceso de teñido. Los

colorantes son moléculas orgánicas altamente estructuradas y de difícil degradación biológica. Su concentración es menor que muchos otros productos químicos encontrados en los efluentes, pero su color es visible hasta en bajas concentraciones (Cunha, 2000).

Presentan alto contenido de sólidos suspendidos (TSS), compuestos orgánicos, alcalinidad y colorantes. Para tratar este tipo de efluente se utilizan los tratamientos primarios, secundarios y terciarios, que objetivan la remoción de las partículas o contaminantes mediante operaciones físicas, químicas y biológicas o combinación de éstas, cuyo objetivo es reducir los sólidos totales, eliminar la turbidez y el color y oxidar química y bioquímicamente estas sustancias, además de eliminar las consideradas tóxicas (De Freitas, 2002).

La presencia de los metales pesados en los efluentes textiles puede atribuirse tanto a las moléculas de colorantes como a los productos auxiliares implicados en el proceso de teñido o acabado. Además, se debe también considerar que la materia prima como fibras, hilos y tejidos, pueden contener residuos de metales. En el caso de los colorantes, existe una clasificación aparte, que es la de colorantes metalizados y no metalizados

Presentan pH, que varían entre el ácido y el alcalino, la turbidez y la coloración del efluente dependen del tipo de colorante utilizado. (Cunha, 2000)

### **2.1.5 Procesos de tratamiento de aguas residuales Textiles**

El agua residual textil tiene una carga alta de color, alta DBO / DQO y sólidos disueltos totales, (TDS). El agua residual textil generada por la industria del teñido de algodón está extremadamente contaminada debido a la presencia de tintes reactivos que no son fácilmente susceptibles de tratamiento biológico. El color del agua causa escasez de luz, que es esencial para el desarrollo de los organismos acuáticos. Para reducir el costo del tratamiento del agua del río; no debe tener ningún color y compuestos tóxicos, por lo tanto, antes de la descarga de aguas residuales textiles en el río, se han desarrollado muchos

procesos de tratamiento que incluyen procesos de tratamiento híbridos físicos, químicos, bioquímicos, para tratarlos de una manera económica y eficiente. Estas tecnologías han sido comprobadas como altamente efectivas para el tratamiento.(Holkar, Jadhav, Pinjari, Mahamuni y Pandit, 2016).

### **A. Métodos Fisicoquímicos**

Los métodos físicos basados en la coagulación-floculación son útiles para la decoloración de aguas residuales que contienen colorantes dispersos. También tienen una baja eficiencia de decoloración para las aguas residuales que tienen colorantes reactivos y de tina. Estas técnicas también limitan su uso debido a la baja eficiencia de decoloración y la gran generación de lodos resultantes (Holkar et al., 2016; Liang, Sun, Li, Ong y Chung, 2014).

Los enfoques de adsorción han atraído una atención significativa debido a su mayor eficiencia de decoloración para aguas residuales que contienen una variedad de tintes. La alta afinidad, la capacidad para los compuestos y la capacidad de regeneración del adsorbente son las características principales que deben considerarse durante la selección de un adsorbente para la eliminación del color (Holkar et al., 2016; Jadhav, Kalyani, Telke, Phugare y Govindwar, 2010). El carbón activado es un adsorbente efectivo para una amplia gama de tintes. Pero, su alto precio y la dificultad en su regeneración limitan la aplicación para la decoloración (Galán, Rodríguez, Gómez, Allen y Walker, 2013; Holkar et al., 2016). Para la aplicación económicamente practicable del método de adsorción, algunos investigadores utilizaron un material adsorbente de bajo costo, como turba, arcilla de bentonita, cenizas volantes y resinas poliméricas. Algunos científicos también probaron muchos recursos bióticos como residuos de trigo, desperdicio de jengibre tratado, carbón de cáscara de nuez molida, piedras y residuos de plantas de papa para la decoloración de las aguas residuales textiles.

## **B. Métodos de Oxidación**

Las tecnologías de oxidación se pueden clasificar como procesos de oxidación avanzada (POA) y oxidación química. Estos procesos tienen la capacidad de degradar la sustancia tóxica inicial y sus productos químicos derivados, tintes, pesticidas, etc. parcial o completamente en condiciones ambientales. Estas tecnologías de oxidación pueden usarse individualmente, así como en sinergia entre sí. Este sinergismo se denomina tecnología de proceso de oxidación avanzada híbrida (POA). Los procesos de oxidación avanzada (POA) son los procesos en los cuales los radicales hidroxilos se producen en cantidades adecuadas. Estos radicales hidroxilos son poderosos agentes oxidantes. Estos agentes oxidantes tienen un potencial de oxidación de 2,33 V y muestran velocidades más rápidas de reacciones de oxidación en comparación con los oxidantes convencionales, como el peróxido de hidrógeno o el permanganato de potasio. Los radicales hidroxilos reaccionan con la mayoría de los colorantes con constantes de reacción de alta velocidad (Asghar et al., 2015). Estos radicales hidroxilos también pueden oxidar la mayoría de los compuestos químicos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua del efluente textil. Estos procesos de POA contienen cavitación, generada mediante irradiación ultrasónica denominada cavitación acústica (Holkar et al., 2016) o mediante constricciones como orificio, Venturi, etc. en los dispositivos hidráulicos denominados cavitación hidrodinámica. Estos procesos de POA también implican la oxidación foto catalítica (uso de la luz solar para la activación del catalizador semiconductor) y la química de Fenton (reacción entre los iones  $\text{Fe}_3\text{O}$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$ ). El reactivo de Fentons es un químico apropiado (principalmente una sal de hierro) que promueve la oxidación de contaminantes orgánicos complejos (al promover la descomposición del  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), que son resistentes a la degradación biológica. También se ha demostrado que es operativo en degradar colorantes tanto solubles como insolubles. Un inconveniente principal del método de Fenton es la generación de lodo

de hierro debido a la floculación combinada del reactivo y las moléculas de colorante (Babuponnusami y Muthukumar, 2014; Holkar et al., 2016). Los métodos de oxidación química utilizan agentes oxidantes como  $O_3$  y  $H_2O_2$ . El ozono y el  $H_2O_2$  forman fuertes radicales hidroxilos no selectivos a altos valores de pH. Estas radículas, debido a este alto potencial de oxidación, pueden romper efectivamente los dobles enlaces conjugados de los cromóforos colorantes, así como otros grupos funcionales como los complejos anillos aromáticos de los colorantes. La formación posterior de moléculas no cromóforas más pequeñas disminuye el color de los efluentes (Holkar et al., 2016; Tehrani-Bagha, Mahmood y Menger, 2010). Estos métodos son útiles para las moléculas de colorante de doble enlace. Estos agentes oxidantes tienen una baja tasa de degradación en comparación con los procesos POA debido a la menor producción de radicales hidroxilos. Un beneficio importante de la ozonización es que el ozono se puede usar en su estado gaseoso y, por lo tanto, no aumenta el volumen de las aguas residuales y no produce la generación de lodos. Sin embargo, la principal desventaja de usar ozono es que puede formar subproductos tóxicos incluso a partir de colorantes biodegradables en aguas residuales (Holkar et al., 2016; Miralles-Cuevas et al., 2017). Las desventajas de la ozonización es el costo, la ozonización constante es esencial debido a su corta vida media de 10 minutos en agua a pH 7 (Gosavi y Sharma, 2014; Holkar et al., 2016), este corto tiempo de vida media puede reducirse de manera adicional debido a la presencia del tinte. La estabilidad del ozono también se ve afectada por la presencia de sales, el pH y la temperatura. La descomposición del ozono es más rápida en condiciones alcalinas de  $pH > 8,5$ . Por lo tanto, se requiere el monitoreo continuo del pH del efluente textil (Holkar et al., 2016; Zhang, Dong, Sun, Yang, & Dong, 2014). La degradación del colorante también es posible mediante el tratamiento combinado de la luz UV y el  $H_2O_2$  debido a la producción de altas concentraciones de radicales hidroxilos. Este método combinado de luz ultravioleta y el

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es ventajoso para el efluente textil que contiene colorante debido a que no produce lodo y reduce los malos olores. Aquí, la luz UV se utiliza para activar la descomposición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en radicales hidroxilos. Estos radicales hidroxilos causan la oxidación química del tinte o material orgánico, mineralizando lo mismo a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Los parámetros como la intensidad de la radiación UV, el pH, la estructura de la molécula de tinte y la composición del baño de tinte deben optimizarse para obtener una mayor tasa de eliminación de tinte (Holkar et al., 2016; Yen, 2016). Por lo tanto, los radicales libres se pueden generar mediante la combinación de ozono con peróxido de hidrógeno. De otra manera, los radicales libres también pueden producirse por la acción del ozono o el peróxido de hidrógeno en presencia de los componentes que disipan la energía. La UV, luz solar o ultrasonido son los componentes que disipan la energía (Holkar et al., 2016; Saharan, Rizwani, Malani y Pandit, 2013). Estas técnicas híbridas tienen tiempos de tratamiento menores en relación con cualquiera de los métodos individuales, pero también se asocian con un mayor costo de energía.

#### **2.1.6 Parámetros de Control - tratamiento de aguas residuales industriales.**

Los valores límite de los parámetros controlados se ajustan para proteger el medio ambiente. Estos valores se establecen para cada industria y difieren según los países (Cunha, 2000). Entre los parámetros de calidad de este tipo de aguas destacan: altas concentraciones de sales, de sólidos suspendidos totales (TSS), color, pH, turbidez, demanda química de oxígeno, (DOQ) demanda biológica de oxígeno (DBO) nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) y algunos compuestos tóxicos como pueden ser: surfactantes, metales pesados y compuestos orgánicos (Mora, 2012).

### **A. Potencial de hidrogeno (pH)**

El potencial de hidrogeno pH es el parámetro que mide la acidez o basicidad de una disolución. Se define como menos logaritmo de la concentración de iones de hidrógeno, expresada en moles por litro. La escala de pH varía de 0 a 14. Las soluciones neutras tienen un pH 7, las ácidas menor que 7 y las básicas o alcalinas, mayor que 7 (Vasquez, 2005). El cambio en el pH puede causar alteraciones en la solubilidad de metales pesados y sus concentraciones (Gómez Polanco y Martínez Valeriano, 2013), así como determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH esto permite que este parámetro sea de gran importancia. (Aguirre Chavarria, Gonzales Guidos, 2015).

### **B. Partículas en Suspensión, Sólidos Suspendedos Totales**

Se entiende por total de sólidos en suspensión o TSS a un parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales. Indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro - mg/L), presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos (Aguirre Chavarria, Gonzales Guidos, 2015). También se definen como medidas de control de la calidad del agua, que corresponde al contenido de partículas orgánicas o inorgánicas suspendidas en el agua que pueden ser sedimentadas por acción de la gravedad, que conforme a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, antes de la descarga a un cuerpo receptor, deben ajustarse a los máximos permisibles contenidos en las normas técnicas ecológicas y condiciones particulares de descargas fijadas por la autoridad competente y que se miden conforme a las normas oficiales expedidas por la misma (Torres, 1994).

### **C. Color**

El color es un parámetro que le da calidad al agua en lo que se refiere a sus características estéticas que son muy importantes para el

usuario o consumidor. El color en el agua puede deberse a la presencia de sustancias orgánicas coloreadas, usualmente ácidos húmicos; a metales como el hierro y el manganeso y a aguas de desechos provenientes de las industrias, como las fábricas de papel o textiles.(Pacheco, 2010). Es el resultado de la presencia de materiales de origen vegetal tales como ácidos húmicos, plancton, y de ciertos metales como hierro, manganeso, cobre y cromo, disueltos o en suspensión que es medible en valores de DQO o por su constituyente específico. Su impacto es primariamente visual (Gómez Polanco y Martínez Valeriano, 2013).

#### **D. Contenido de compuestos tóxicos**

La toxicidad de los residuos textiles es una de las cuestiones más relevantes en el ámbito de los impactos ambientales, tanto para los organismos medioambientales y para la propia sociedad. Esta toxicidad es más relevante cuanto más se hace el uso de colorantes basados en metales pesados, azufre y agrupaciones azoicas, además evidentemente, de otros compuestos, como los surfactantes, los productos auxiliares no degradables, y otros compuestos como fenoles, solventes aromáticos, metileno, cloruros, entre otros. La toxicidad asociada a los efluentes industriales puede estar estrechamente relacionada con la presencia de compuestos recalcitrantes o refractarios (Hassemer, 2006).

#### **E. Contenido Orgánico (NOM)**

La materia orgánica de origen natural (NOM) es una compleja matriz de materiales orgánicos presentes en todas las aguas naturales, siendo un componente clave en los ambientes acuáticos y está presente, especialmente, en aguas superficiales. La materia orgánica de origen natural (NOM) encontrada en aguas naturales se define como hidrofóbica e hidrofílica, de las que la fracción más grande es, generalmente, hidrofóbica, representando casi el 50% del carbono orgánico total (COT) en agua. Estos ácidos hidrófobos son sustancias

húmicas que comprenden ácidos húmicos (HA), que son solubles en álcali, pero insolubles en ácido, ácidos fúlvicos (FA), las sustancias húmicas son las principales constituyentes de la NOM en las aguas, son amorfas, de color oscuro y de naturaleza ácida. La materia orgánica de origen natural (NOM) hidrófila contiene más carbono alifático y compuestos nitrogenados, tales como carbohidratos, azúcares y aminoácidos. Los factores que determinan la composición de NOM dependen de la ubicación e incluyen la fuente de materia orgánica, el agua química, temperatura, pH y procesos biológicos variando con la fuente y la temporada de forma estacional en el mismo lugar siendo las inundaciones y las sequías fenómenos climáticos que pueden explicar el aumento en la cantidad total de NOM que se ha observado en varias partes del mundo durante los últimos 20 años. Afecta la calidad del agua potable contribuyendo a problemas indeseables de color, sabor y olor. Además, contribuye a la corrosión y principalmente en la formación de subproductos de desinfección (DBP) (Sillanpää, 2015). Se caracterizan por la medición de su carbono orgánico total (COT), demanda química de oxígeno (DQO), adsorción de luz UV (UV), la materia orgánica de origen natural NOM es el principal contribuyente al color amarillo pardusco en el agua, por lo que la medición del color puede proporcionar la cantidad de NOM que contiene el agua (Sillanpää, Matilainen y Lahtinen, 2014).

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La DBO es representa la necesidad de oxígeno total para oxidar productos químicos que pueden ser oxidados por medios bacterianos o biológicos, dado que todos los productos químicos son biodegradables, se requiere otro parámetro integral que pueda representar la cantidad de contaminación debida a los orgánicos.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

El DQO representa el requisito de oxígeno para oxidar los productos químicos en las aguas residuales (Ranade y Bhandari, 2014).

- **Carbono Orgánico Total (TOC) y Carbono Orgánico Disuelto (DOC):**

El TOC y DOC son los parámetros más convenientes para analizar la remoción de compuestos orgánicos de los procesos de tratamiento, sin embargo, las mediciones por sí solas no proporcionan mucha información sobre el comportamiento de NOM durante el tratamiento del agua (Sillanpää et al., 2014).

### **2.1.7 Sistema de tratamiento de Oxidación Avanzada (POA)**

Los procesos avanzados de oxidación (POA) se han utilizado comercialmente en el tratamiento de aguas residuales, especialmente para la eliminación de contaminantes refractarios. Se consideran preferentemente en la categoría de procesos de tratamiento terciario. Cuando se usa como una etapa de tratamiento secundario, el papel de un POA es degradar los contaminantes tóxicos y convertirlos en formas que pueden ser tratadas por otros métodos, tales como el tratamiento biológico (Bhandari y Ranade, 2014). El atractivo de los POAS es su capacidad para conseguir la oxidación o mineralización completa de contaminantes orgánicos a temperatura y presión cercanas al ambiente (Sillanpää y Matilainen, 2014). La gran ventaja de estos procesos reside en que son un tipo de tratamiento destructivo, es decir, el contaminante no es simplemente transferido de fase, sino degradado a través de una serie de reacciones químicas (Hassemer, 2006) por las diversas combinaciones de oxidantes, radiación y catalizadores para la eliminación de contaminantes orgánicos, por ejemplo,  $O_3 / H_2O_2$ ,  $UV / H_2O_2$ ,  $UV / O_3$ ,  $UV / TiO / H_2O_2$ ,  $Fe_2 + / H_2O + hv$ , radiación ultravioleta al vacío (VUV) o radiación ionizante. Estos procesos implican la generación de intermediarios radicales altamente reactivos, especialmente el radical OH (Sillanpää y Matilainen, 2014).

El proceso tiene dos componentes inherentes, siendo el primero la generación de un agente oxidante, por ejemplo, radicales hidroxilos (agente con alto poder oxidante ( $E = 2,3 V$ ), extremadamente reactivo

y de reducida selectividad, capaz de actuar sobre una gran diversidad de contaminantes orgánicos (Hassemer, 2006), y el segundo la reacción de oxidación (Bhandari y Ranade, 2014). Las reacciones de los radicales OH se da de tres maneras diferentes: primero mediante la adición de radicales OH a dobles enlaces, segundo por abstracción de átomos de H, que produce radicales centrados en carbono, y tercero por el radical OH que gana un electrón a partir de un sustituyente orgánico (Sillanpää y Matilainen, 2014). El radical hidroxilo es un oxidante comparativamente fuerte que puede destruir muchos contaminantes de otra manera difíciles de destruir (Bhandari y Ranade, 2014), son afectados por factores en la formación de radicales, como el pH, la temperatura, la presencia de iones, el tipo de contaminante y la presencia de catalizadores como los iones bicarbonato (Sillanpää y Matilainen, 2014).

Los fundamentos de los POAS incluyen la generación y tipo de radicales, el destino y el tipo de reacciones, el destino de los compuestos durante las reacciones, etc. En general, las reacciones radicales incluyen tres secciones:

1. Sección de inicio mediante la generación de radicales
2. Sección de reacción de radicales y
3. Sección de terminación por recombinación de radicales.

Para generar radicales, hay varias opciones diferentes. No sólo se generan radicales OH, sino que también otros radicales pueden tener contribuciones suficientes como parte de reacciones en cadena dependiendo de las condiciones de las aplicaciones y procesos. Los POAs se pueden clasificar por la forma de generación de radicales.

1. Generación directa de radicales por procesos físicos,
2. Generación de radicales por adición de oxidantes, y
3. Generación de radicales mediante el uso de catalizadores sólidos.

La química de los POAs es muy compleja debido a las muchas reacciones involucradas (Sievers, 2011).

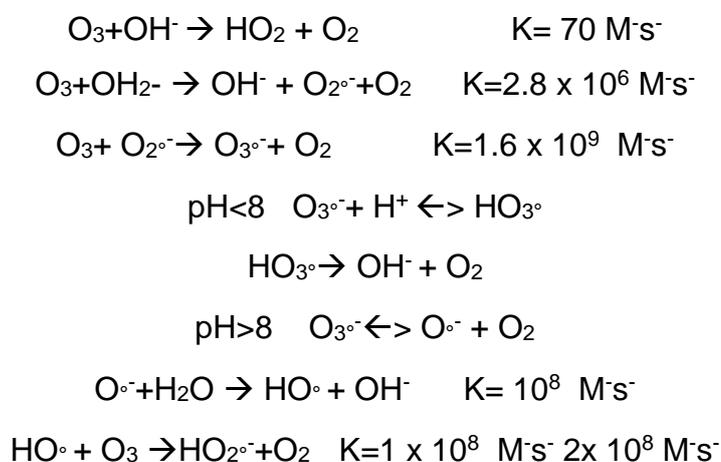
### **A. Oxidación con Ozono (O<sub>3</sub>)**

La ozonización es una técnica utilizada en la industria textil como una alternativa potencial a la decoloración. Proporciona eficiencia satisfactoria, presentando un efluente con poco color, baja DQO, y adecuado para ser lanzado al medio ambiente o volver al proceso, se emplea principalmente para romper las moléculas de colorantes, y luego para la decoloración (Girardi, 2011). La característica única presente en el ozono es su descomposición en radicales hidroxilos. Por lo tanto, la evaluación de los procesos de ozonización siempre involucra a las dos especies, ozono y radicales hidroxilos. Para diferentes aplicaciones del ozono, estas especies son de diferente importancia. Mientras que la desinfección ocurre predominantemente en el ozono, los procesos de oxidación pueden ocurrir a través de ambos oxidantes (Belgiorno, Vincenzo y Rizzo, 2010), el ozono reacciona con los compuestos orgánicos mediante una adición electrofílica a dobles enlaces, esta reacción es muy selectiva, además de la reacción directa del ozono con los compuestos orgánicos, se produce una reacción no selectiva y rápida con los radicales OH formados cuando el ozono se descompone en agua (Sillanpää y Matilainen, 2014). La oxidación con ozono puede ocurrir de dos maneras: directa o indirecta.

**Oxidación directa:** La molécula de ozono puede reaccionar directamente con otras moléculas orgánicas o inorgánicas vía adición electrofílica. El ataque electrofílico del ozono puede ocurrir a los átomos con densidad de carga negativa (N, P, O o carbonos nucleofílicos) y a conexiones dobles o triples del tipo carbono-carbono, carbono-nitrógeno y nitrógeno-nitrógeno.

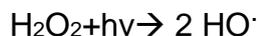
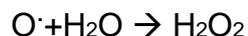
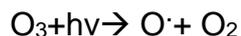
**La oxidación indirecta:** Indirectamente el ozono puede reaccionar a través de reacción radical (principalmente  $\bullet\text{OH}$ ) que es generado por la descomposición del ozono (Hassemer, 2006).

La característica única de ozono es su descomposición en radicales hidroxilos. Por lo tanto, la evaluación de los procesos de ozonización siempre involucra a las dos especies, ozono y radicales hidroxilos. Para diferentes aplicaciones del ozono, estas especies son de diferente importancia. Mientras que la desinfección ocurre predominantemente en el ozono, los procesos de oxidación pueden ocurrir a través de ambos oxidantes, el ozono y el radical hidroxilo reaccionan en una vía de oxidación no selectiva. Compuestos orgánicos complejos, podrían convertirse en moléculas oxidadas y degradación total, y los productos pueden ser sometidos a ataque electrolítico o ciclo de producción dipolar (Belgiorno et al., 2010). La literatura presenta reacciones de ozonización directa o indirectas:

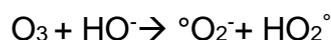


### **B. Ozono (O3) en combinación con UV**

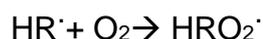
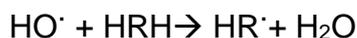
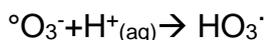
La combinación de ozono e irradiación ultravioleta permite la degradación por oxidación incluso de sustancias muy estables desde el punto de vista químico. En el caso de un sistema reactivo complejo, los radicales hidroxilos se generan en medio acuoso por la descomposición del peróxido de hidrógeno, formado a través de la fotólisis del ozono, (Hassemer, 2006):



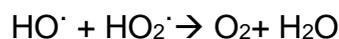
El peróxido es señalado como el principal producto de la descomposición por irradiación del ozono, pero la reacción de este oxidante con compuestos orgánicos insaturados también puede producir peróxido de hidrógeno.



Se forman radicales libres según diferentes secuencias de reacciones de propagación en que se forman especies de radicales orgánicos que contienen oxígeno:



El radical orgánico piróxilo, HRO<sub>2</sub>, es señalado como la especie propagadora de la transformación oxidativa, que conduce a la eliminación de los productos HRH. Si las concentraciones de radicales hidroxilos y piróxilo son suficientemente elevadas, es posible la ocurrencia de la reacción de finalización:



El ozono absorbe radiación UV longitudes de onda  $\lambda < 310$  nm, pero para que un proceso con base en este sistema sea eficiente, debe

utilizarse el rango de longitud de onda menor o hasta 254 nm, correspondiente al máximo de absorción (Hassemer, 2006).

### **C. Ozonización catalítica Homogénea**

Los metales de transición iones en el agua pueden catalizar la descomposición de  $O_3$ , de generación de  $O_2\cdot^-$  que transfieren un electrón a otra molécula de  $O_3$  para formar  $O_3\cdot^-$  y posteriormente conduce a la formación de OH. La velocidad de descomposición de  $O_3$  depende del pH y las concentraciones de reactivos. La otra forma de descomposición es la formación de un complejo entre catalizador metálico y la molécula orgánica que reacciona adicionalmente con  $O_3$  que conduce a la oxidación de la molécula.

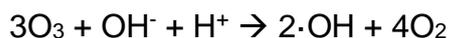
### **D. Ozonización catalítica Heterogénea**

Este POA es catalizado por un catalizador sólido, tal como óxidos de hierro, óxido de titanio, alúmina y su combinación. El mecanismo y la eficiencia de ozonización son dependientes de varios factores tales como el tipo de catalizador, el pH del agua y sus propiedades de superficie. Como este sistema catalítico es heterogénea para la selección de catalizador, se considera su área de superficie, densidad, volumen de poro, tamaño de poro (porosidad) porque estos factores afectan a la eficiencia del catalizador. El óxido de metal y metal soportado, catalizan la ozonización por diferentes mecanismos. En el óxido de metal soportado, primero es la adsorción de la capa de ozono seguido de la descomposición de radical  $OH\cdot$ . Cuando la ozonización es catalizada por el metal sobre un soporte, que implica la transferencia de un electrón de metal para  $O_3$  lo que conduce a  $O_3\cdot^-$  formación y posterior liberación de OH radical.

### **E. Ozonización de pH elevado**

El ozono molecular se ha utilizado ampliamente para fines de desinfección y oxidación para el agua potable. Sin embargo, el ozono tiene una característica única en que se descompone en OH e inicia

reacciones de oxidación avanzada. Esto depende en gran medida del pH del agua ya que la velocidad de descomposición del ozono aumenta a medida que se eleva el pH (Linden y Mohseni, 2014). La descomposición del ozono en agua depende de valor de pH, a medida que el pH aumenta la velocidad de descomposición también aumenta. La vida media del ozono en agua es inferior a 1 minuto a pH 10. La descomposición de la capa de ozono se inicia por ion hidroxilo, seguido por la serie de reacción que conduce a la formación de  $\bullet\text{OH}$  este radical es de corta duración y extremadamente potente agente oxidante. Las otras especies que se forman durante la descomposición del ozono incluir anión superóxido radical ( $\text{O}_2^-$ ), radicales hidroperoxilo ( $\text{HO}_2\cdot$ ) y el anión ozónido radical  $\text{O}_3^-$ . La reacción muestra la formación de dos moléculas de radical  $\bullet\text{OH}$  por la utilización de tres moléculas de  $\text{O}_3$ .



En masas de agua naturales, la reacción en cadena es suprimida por bicarbonato y carbonato que actúan como eliminadores de radicales  $\bullet\text{OH}$ . El producto de una reacción es también radical, pero son bicarbonato y carbonatos radicales pasivos que no reaccionan adicionalmente con compuestos de ozono u orgánicos de terminación. El Método de ozonización es capaz de eliminar el 90% del contaminante de agua y que es ampliamente utilizado para tratamiento de agua potable debido a su potencial de oxidación y propiedades desinfectantes. (Sharma, Ahmad y Flora, 2018)

El efecto del pH es bastante importante durante la ozonización, la descomposición de ozono se reduce a pH ácido, lo que conduce a una mayor eficiencia en el proceso en el caso de que la vía principal es ozonólisis, mientras que si las sustancias no reaccionan con el ozono molecular y la ruta principal es la reacción con radicales hidroxilos (por ejemplo, el contraste de rayos X), aumentando el pH a 8-9 conduce a una mayor eficiencia (Michael, Frontistis y Fatta-Kassinis, 2013).

### **2.1.8 Peróxido de Hidrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)**

En las últimas décadas se ha visto el aumento de interés en los métodos no convencionales de la degradación de los contaminantes presentes en las aguas residuales, incluyendo compuestos de nitrógeno. Uno de los métodos que gozan de creciente popularidad es la oxidación química. Entre los oxidantes comúnmente aplicados en el proceso, que incluyen cloruro y sus compuestos, permanganato de potasio, el ozono y el peróxido de hidrógeno, sólo el último no forma en la oxidación subproductos tóxicos y se denomina por lo tanto oxidante ecológico. El peróxido de hidrógeno se aplica comúnmente en el tratamiento de aguas residuales, por lo general para mejorar los procesos de tratamiento biológico, ya que es capaz de degradar tanto contaminantes recalcitrantes, como tóxicos. Se aplica para la neutralización de aguas residuales cianoalcalinas y la oxidación de los sulfuros. También se ha utilizado para la decoloración de las aguas residuales industriales y para la oxidación de compuestos orgánicos recalcitrantes. Además, el peróxido de hidrógeno se puede utilizar para la eliminación de cromo, así como la oxidación de aldehídos, tolueno y anilinas. Un Aumento de la degradación de los contaminantes se consigue mediante una aplicación conjunta de peróxido de hidrógeno con ozono, radiación UV o iones de hierro; esto permite la rápida generación de radicales hidroxilos, que son altamente reactivos en el ambiente. La aplicación de este método junto con el tratamiento biológico permite la neutralización de aguas residuales que contienen metales pesados, orgánicos recalcitrantes, incluidos los hidrocarburos clorados, compuestos fenólicos, pesticidas, colorantes y productos farmacéuticos. Debido a sus propiedades, el peróxido de hidrógeno significativamente disminuye la carga de contaminantes recalcitrantes descargado en una unidad de tratamiento biológico, al mismo tiempo la protección contra procesos biológicos contaminantes tóxicos. El peróxido de hidrógeno se puede utilizar como una fuente de oxígeno alternativa en el proceso

de tratamiento biológico, a pesar de que  $\text{H}_2\text{O}_2$  es un oxidante fuerte (Józwiakowski et al., 2017).

### A. $\text{H}_2\text{O}_2$ en combinación con UV

La fotólisis del agua se explica por el mecanismo de Haber-Weiss, Lo que sugiere que los radicales hidroxilos formados por la escisión fotolítica de los resultados de bonos HO-OH en un ciclo de propagación que conduce a la formación de agua y oxígeno. La reacción de iniciación para formar el radical hidroxilo depende de la absorción de la energía UV por  $\text{H}_2\text{O}_2$  y la eficiencia de la reacción fotoquímica. La fotólisis UV directa de  $\text{H}_2\text{O}_2$  se describe mediante la siguiente reacción general (Linden y Mohseni, 2014):



#### 2.1.9 Peroxono ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ )

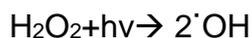
Oxidación avanzada utilizando ozono en presencia de  $\text{H}_2\text{O}_2$  que se conoce comercialmente como el proceso peroxono. En este proceso, la base conjugada del peróxido de hidrógeno, reacciona con el ozono para iniciar la descomposición del ozono, lo que resulta en la formación del radical hidroxilo. En este sistema, el peróxido de hidrógeno actúa como un promotor y eliminador de radicales OH.

### A. Peroxono en combinaciones con UV

La Luz UV es fuertemente absorbida por el ozono en el agua o aire con una absorción molar coeficiente de  $\text{O}_3$  de  $3.300 \text{ M}\cdot\text{cm}^{-1}$  a 254 nm. La fotólisis del ozono en el agua produce  $\text{H}_2\text{O}_2$  después de una reacción de radicales de oxígeno intermedio con agua. El  $\text{H}_2\text{O}_2$  producido reaccionará entonces con la luz UV para producir radicales hidroxilos. En general, el esquema de reacción es:



Con la formación de radicales OH a partir de la fotólisis del peróxido generado:



El proceso combinado ha demostrado ser más eficiente que un POA basada directamente en  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ . En los casos en que la eficiencia de la fotólisis es pobre, el uso del proceso POA  $\text{O}_3/\text{UV}$  no tiene sentido, ya que la generación de OH puede ser mejor y logrado más directamente por adición directa de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , en lugar de generarla en el lugar a través de fotólisis UV de  $\text{O}_3$  (Linden y Mohseni, 2014).

### **B. Observaciones generales del Peroxono**

La adición simultánea de peróxido de hidrógeno (el proceso de  $\text{O}_3 / \text{H}_2\text{O}_2$  que se conoce como peroxono) también conduce a un aumento en la eficiencia del proceso debido a la producción de radicales hidroxilo adicionales para una concentración óptima de peróxido después de lo cual el peróxido de hidrógeno actúa como un eliminador para los radicales hidroxilo. En general, la ozonización parece ser una tecnología prometedora para la eliminación de productos farmacéuticos. Sin embargo, la posibilidad de producir iones bromato indeseables en el caso en el que la matriz acuosa contiene iones bromuro no debe ser omitida (Michael, Frontistis y Fatta-Kassinis, 2013).

#### **2.1.10 Cinética química de aguas residuales**

El interés en los fenómenos cinéticos químicos se ha centrado generalmente en las condiciones en las que los sistemas químicos experimentan reacciones explosivas. Sin embargo, recientemente se ha desarrollado un gran interés en las velocidades y los mecanismos de las reacciones químicas constantes (no explosivas), ya que la mayoría de los contaminantes complejos conocidos se forman en zonas de reacciones constantes, generalmente de temperaturas más bajas (Glassman, Yetter y Glumac, 2014).

### A. Tasas de reacción

Las velocidades de reacción se rigen por el movimiento y la descomposición de los átomos o moléculas en la mezcla de gases: las reacciones ocurrirán si las "partículas" participantes chocan. El número de colisiones que se producen en una mezcla estará estrechamente relacionado con las densidades numéricas (número por unidad de volumen) de las "partículas". La densidad numérica se puede definir por la concentración molar,  $C$ , que es la cantidad de sustancia por unidad de volumen. Obviamente, esta es una medida del número de partículas por unidad de volumen, ya que cada cantidad de sustancia es proporcional al número de moléculas, esto se ilustra en la Fig. 1. La concentración molar se indicará encerrando el reactivo o el símbolo del producto.

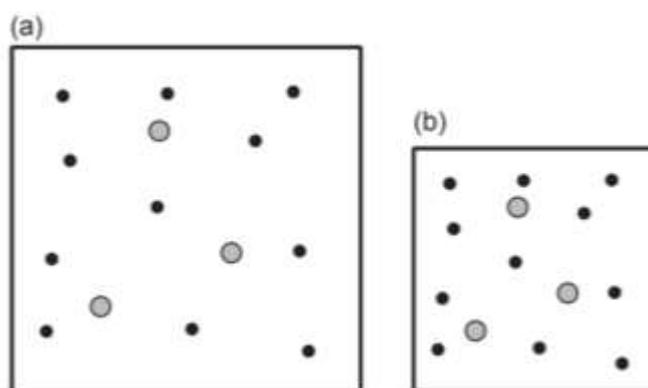
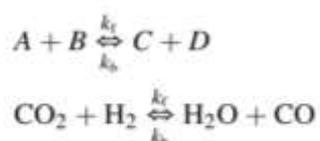


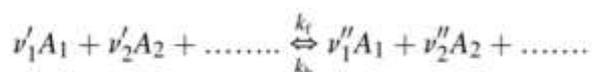
Figura 1: Representación esquemática de la concentración molar. La concentración molar en (a) es aproximadamente la mitad que en (b) (Winterbone y Turan, 2015)

Las reacciones ocurren cuando dos o más reactantes son capaces de reaccionar. Muchas reacciones químicas simples son de segundo orden, por ejemplo:

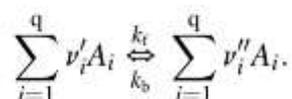


Donde la primera reacción es general y la segunda es un ejemplo basado en la reacción del gas de agua (elegido porque existe el mismo número de reactivos y productos en ambos lados).

Estas reacciones pueden ser escritas como:



Donde A1, A2, etc. son los elementos o compuestos involucrados en la reacción, y n1, n2, etc. Son los respectivos coeficientes estequiométricos. Esto se puede generalizar más a.



Donde q = número total de especies consideradas, v' representa los

### III. Método

El presente proyecto de investigación se centra en determinar las mejores condiciones de operación de los procesos oxidación avanzada (POA), para ello se hace necesario, determinar la población o universo del efluente, utilización de las técnicas analíticas de los métodos normalizados para análisis de agua residuales industriales, viabilizar el tratamiento según diseños experimentales y el uso de modelos cinéticos para evaluar la remoción de materia orgánica, caracterizar los efluentes tratados, utilización de técnicas estadísticas y pruebas de hipótesis.

#### 3.1 Tipo de Investigación

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2003) los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes). El tipo de investigación fue aplicada, experimental.

Según (Kerlinger, Lee, Pineda, & Mora Magaña, 2002), los experimentos desarrollados correctamente, proporcionan al investigador una proposición de causa y efecto respecto a la variable X y (Independiente) y la Variable Y (Dependiente).

### 3.2 Población y Muestra

La Población o Universo (N) del presente trabajo de tesis, son los efluentes textiles.

La muestra fue 1m<sup>3</sup> de aguas residual textil real usado para las experiencias.

La muestra son los 0.2 m<sup>3</sup> de aguas residual textil sintéticas usado para las experiencias la cinética de reducción del DBO<sub>5</sub>.

### 3.3 Operacionalización de Variables

#### Variables Independientes

X: Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos de oxidación avanzada (O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>):

- |   |                                       |                |
|---|---------------------------------------|----------------|
| ○ | Potencial de hidrógeno (pH)           | X <sub>1</sub> |
| ○ | Dosificación de ozono                 | X <sub>2</sub> |
| ○ | Dosificación de Peróxido de Hidrógeno | X <sub>3</sub> |
| ○ | Tiempo de exposición a UV             | X <sub>4</sub> |

#### Variables Dependiente

Y: Vertimiento en la red de alcantarillado

- |   |   |                |
|---|---|----------------|
| ○ | Variación del Potencial Hidrogeno (pH)                          | Y <sub>1</sub> |
| ○ | Variación del Conductividad eléctrica (uS/cm)                   | Y <sub>2</sub> |
| ○ | Variación del Demanda Química de Oxigeno (DQO)                  | Y <sub>3</sub> |
| ○ | Variación del Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO <sub>5</sub> ) | Y <sub>4</sub> |

Para demostrar y comprobar la hipótesis formulada, la operacionalizamos, determinado las variables y los indicadores que a continuación se mencionan:

Tabla 4. Operacionalización de variables

HIPOTESIS		VARIABLES		DEFINICION CONCEPTUAL
H	"El tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos de oxidación avanzada (O <sub>3</sub> /UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) tienen una alta influencia para el vertimiento en la red de alcantarillado".	I	Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos de oxidación avanzada (O <sub>3</sub> /UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos de oxidación avanzada (O <sub>3</sub> /UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ).
		D	Vertimiento en la red de alcantarillado	Concentración o grado de elemento, sustancia o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o emisión tratada que permite su disposición en el sistema de la red de alcantarillado cumpliendo la normativa vigente.

Fuente: Elaboración propia

Se caracterizaron los efluentes tratados mediante procesos de oxidación avanzada, y se recolectaron datos durante las pruebas experimentales. En la etapa experimental se requirió recolectar datos de los efluentes tanto de la salida de la pre-etapa del tratamiento, como de los efluentes tratados a través del POA, lo que permitió demostrar la hipótesis planteada, esta recolección de datos a partir de la evaluación de los valores de los indicadores de la variable dependiente. De modo que, al conocer los Valores Máximos Admisibles (VMA) se pudo conocer la calidad final del efluente, la eficiencia del sistema de tratamiento y la mejor condición de operación para el caso.

### 3.4 Instrumentos

Se determinó su caracterización, siguiendo los procedimientos protocolares diseñados para este tipo de muestreo, las técnicas que se utilizaron para evaluar los parámetros fisicoquímicos, fueron las guías de calidad de agua para riego que especifica la Ley General de Aguas y que se basan en las establecidas por la OMS/OPS. Se determinaron los parámetros de calidad, se utilizaron los métodos normalizados por el INDECOPI basados en los Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales

publicados por APHA, AWWA y WPCF (Standard Methods for the Examination of Water and Wastes 17 edition).

### 3.5 Procedimientos

#### 3.5.1 Caracterización del efluente Textil

Se caracterizó el agua residual proveniente de la industria textil. El monitoreo de calidad de agua se desarrolló los días 1 del mes de marzo del 2018. En la siguiente tabla se presentan los estándares de calidad de agua para cada parámetro evaluado, teniendo en consideración D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.

Tabla 5. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Agua

Parámetros de Medición	Unidades	Resultados frecuentes para agua textiles	VMA D.S. N° 021-2009-VIVIENDA
Anexo N°01			
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	120.17	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	270.3	1000
Anexo N°02			
Aluminio	mg/L	0.05709	10
Arsénico	mg/L	0.00308	0.5
Boro	mg/L	0.44463	4
Cadmio	mg/L	0.00006	0.2
Cobre	mg/L	0.00005	3
Cromo Hexavalente	mg/L		0.5
Cromo Total	mg/L	0.00083	10
Manganeso	mg/L	0.02542	4
Mercurio	mg/L	0.00052	0.02
Plomo	mg/L	0.00005	0.5
Zinc	mg/L	0.1074	10
pH	Unidades de pH	6.86	6 a 9
Sólidos Sedimentables	mL/L/h	<0.1	8.5
Temperatura	mg/L	25.5	<35

Fuente: Elaboración propia

#### 3.5.2 Pretratamiento del agua residual textil real

Un total de 300L de agua se adquirieron de una industria textil.

**Prefiltración:** Para la remoción de ciertas materias como son las telas que vienen acompañadas del efluente, entre otros.

Acondicionamiento de pH: Se realizó a dos diferentes pH tanto ácido 5.5 y básico 8.5, para ello se utilizaron los siguientes reactivos:

Acondicionamiento a pH 8.5: En los 50L de efluente textil se agregó una solución de hidróxido de sodio al 1% en 100ml permitiendo obtener el pH deseado.

Acondicionamiento a pH 5.5: En los 50L de efluente textil se le agregó una solución de ácido sulfúrico al 1% en 100ml, permitiendo obtener el pH deseado.

### 3.5.3 Acondicionamiento del sistema de oxidación avanzada.

**Ozonizador:** Se hizo la respectiva revisión técnica del generador de ozono para que esté en condiciones óptimas de trabajo.

**Lámpara Ultravioleta de Cuarzo:** Semanalmente se procedía a abrir la lámpara para realizar la limpieza del vidrio de cuarzo debido a las posibles impurezas.

**Tanque de Rotoplas:** El tanque ocupa un volumen de 250 L después de cada corrida se procedió a realizar la limpieza con una solución de hipoclorito de sodio como desinfectante agregando agua como removedor de las restantes impurezas.



Foto 1: Equipo de Oxidación avanzada

### 3.5.4 Diseño experimental de condiciones de operación

El diseño experimental para determinar las mejores condiciones de operación fue un diseño Taguchi donde los factores manipulables fueron las dosificaciones de peróxido, el tiempo expuesto a luz UV, la dosificación de Ozono y pH en aguas residuales reales con variabilidad de niveles. Se consideraron 2 réplicas con 9 experiencias, que permitieron realizar curvas de las condiciones de operación del tratamiento. Las variables respuestas medidas fueron: Concentración de materia orgánica en ( $DBO_5$ ),  $DQO_T$ , pH, conductividad.

VARIABLES DEPENDIENTES Sólidos totales Conductividad Potencial de Hidrógeno DBO DQO		Tiempo de irradiación							
		120 min		180 min		240 min		300 min	
		Peróxido Hidrogeno		Peróxido Hidrogeno		Peróxido Hidrogeno		Peróxido Hidrogeno	
		50%	100%	50%	100%	50%	100%	50%	100%
Caudal del efluente l/min	pH 5.5								
	pH 8.5								

Figura 2 : Diseño experimental de Taguchi, citado por Arias, N., Ríos, L., Vásquez, L. & Pérez, G. (2013)

### 3.5.5 Diseño cinético de la variabilidad para materia orgánica ( $DBO_5$ )

Debido a la presencia de una matriz compleja y reacciones múltiples desconocidas sobre la materia orgánica, se usó el parámetro de  $DBO_5$  para describir la cinética global de la eliminación de materia orgánica y para derivar los parámetros cinéticos esenciales necesarios para el diseño y la optimización del reactor. La eliminación de  $DBO_5$  de las aguas residuales sintéticas textil por los diferentes POAs se ajustó mediante una ecuación aparente de primer orden para comparar la influencia de procesos en la variabilidad de la materia orgánica.

### 3.5.6 Preparación de agua residual sintética para pruebas cinéticas

Con el fin de reproducir las características de un efluente textil se simuló el efluente de la industria textil. Para reproducirlo fue necesario simular cada uno de los procesos y efluentes que éstos generan. En la tabla se observa la composición de cada uno de los efluentes de los procesos unitarios que se generaron al procesar 1Kg de materia prima (Salazar Gámez, Rosell y Salazar, 2009). El diseño de mezcla fue realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOPU) de la Universidad Nacional del Callao.

Tabla 6. Composición efluente textil para 1kg de materia procesada

Proceso	Producto	Unidad	Cantidad	Volumen	
Desencolado y descudado	Fécula	g	9	10	
	Tintura	Agua descalcificada	L	10	
		NaCl	g	500	
		NaOH	g	5	
		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	g	50	
		Colorante MX-2R	g	4.8	
		Dispersante FINDET 1618	g	4.5	10
Aclarado	Agua descalcificada	L	30	30	
Jabonado	Agua descalcificada	L	30		
	AMPLEX CA-ECO (1%)	g	10	30	
Suavizado	Agua desclasificada	L	10		
	TETRATNYL ATH	g	0.7		
	alcohol polivinilo	g	18	10	

Adaptado de (Salazar Gámez et al., 2009)

### 3.6 Análisis de Datos

Según (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010), los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (dependientes) en una situación de control.

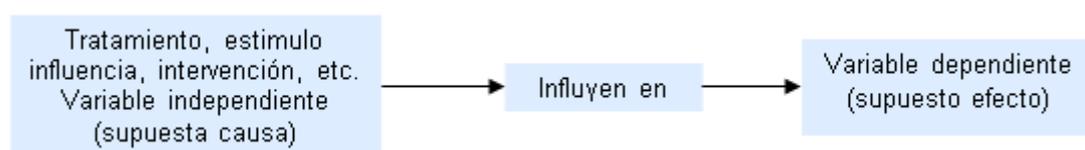


Fig. 3: diseño de manipulación experimental

Para el desarrollo del trabajo de Investigación se aplicaron procesos de oxidación avanzada (POA) en el cual se manipularon los Indicadores de la variable Independiente, y posteriormente, se evaluaron los valores de los indicadores de la variable dependiente, así como un estudio cinético de la remoción de materia orgánica y la caracterización de los efluentes tratados para su vertimiento en la red de alcantarillado, para lo cual hubo la necesidad de medir el valor de la variable dependiente a través de sus indicadores para ver el efecto que tiene la variable independiente sobre ella.

**Técnicas Estadísticas.** - Para muestreo al nivel de la experimentación laboratorio se requirió aplicar técnicas estadísticas inductivas que permitieron obtener conclusiones a partir del uso de los programas Excel, Software InfoStat 2020. Se elaboraron diseños experimentales (diseño TAGUCHI para las pruebas). Asimismo, las pruebas de Hipótesis (evaluadas por Pruebas ANOVA), Significancia o Regla de decisión permitió determinar si las muestras observadas difirieron significativamente de los resultados esperados.

### **3.7 Consideraciones éticas**

El presente trabajo de investigación tiene gran importancia social y ambiental porque más allá de tratar el agua residual para su vertimiento en el alcantarillado es defender la salud pública y el medio ambiente.

El agua residual de todas las industrias y, en especial de la industria textil, que es vertida directamente y sin tratar a los ríos, lagos o mares depositan contaminantes y es probable que acaben produciendo importantes daños ecológicos en el entorno y generando enfermedades de salud pública (causadas por virus y bacteria) en las personas y comunidades que entren en contacto con esas aguas contaminadas.

Basados en la filosofía ambiental ,que es una disciplina que se nutre ampliamente de la epistemología, la ética y la filosofía de la ciencia y analiza disciplinas como la biología de la conservación, la ecología de la restauración, los estudios de sostenibilidad y la ecología política (Sarkar, 2014), el presente trabajo de investigación, tuvo como propósito encontrar mejores condiciones de operación en un sistema de procesos de oxidación

avanzada (POA) que mejoren la eficiencia en la biodegradabilidad de los contaminantes en forma de DBO. En este sentido, es importante determinar en qué medida el tratamiento influye en el vertimiento en la red de alcantarillado, utilizando la ciencia para la conservación y sostenibilidad de la ecología y protección de los seres vivos.

### **El ecocentrismo**

Una corriente filosófica es El ECOCENTRISMO que fue expuesto ampliamente por Taylor (Taylor, 1987).

El argumento de Taylor comienza con cuatro creencias acerca de la relación de los humanos y otras especies que juntas forman el núcleo de su "visión biocéntrica de la vida".

El primero es que los humanos son miembros de la comunidad biótica básicamente en el mismo sentido que todos los demás seres vivos. El segundo núcleo cree que todas las especies humanas incluidos, son partes integrales de un sistema de interdependencia.

En tercer lugar, Taylor considera a todos los organismos como centros teleológicos de la vida, es decir, todos los seres vivos están orientados hacia su propio telos; persiguen su propio bien; ellos buscan florecer y hacerlo bien. Cuarto y más crucial es la creencia de que los humanos no somos inherentemente superiores a otros seres vivos: no tenemos buenas razones para creer que los humanos son mejores que otros seres. Según Taylor, tan pronto como aceptemos estas creencias centrales como nuestro punto de partida y decidamos rechazar la noción de superioridad humana, nos inclinaremos a aceptar la "Doctrina de la imparcialidad de las especies". y aunque admite que su visión biocéntrica de la vida no presenta un argumento lógicamente válido para adoptar el igualitarismo de las especies, sí cree que da una razón convincente para hacerlo (Drenthen, 2011).

### **Ética Ambiental**

Los fundamentos filosóficos de la ética ambiental según (Mantatov y Mantatova, 2015) como la ética de la responsabilidad humana por el ser de la vida, la vida del hombre y la vida de la naturaleza. Esta interpretación de

la ética ambiental se expresa en la teoría de la responsabilidad. Basándose en la axiologización total del ser, como una nueva forma de ser de un hombre como "la persona de confianza de la naturaleza". La presuposición de esta teoría es que la humanidad puede perecer, pero la muerte puede evitarse.

Autores como (Mitcham, 2004) consideran de la ética ambiental lo siguiente:

Las primeras éticas han tratado el tema de las relaciones entre los individuos; el Decálogo de Moisés es un ejemplo [...] La Regla de Oro ha sido, tratar de integrar lo individual en lo social [...] Es como si aún no hubiera una ética que trate de las relaciones del individuo con la tierra y con los animales y plantas que crecen sobre ella [...] Nuestra relación con la tierra es aun estrictamente económica, entrañando privilegios, pero no obligaciones. La extensión de la ética a este tercer elemento en el entorno humano es [...] una posible evolución y una necesidad ecológica. El reconocimiento de una distinción entre cuatro tipos de impactos ambientales resulta también de gran ayuda a la hora de reflexionar sobre esos elementos básicos. El primero es la simple sobreutilización de la naturaleza: exceder la tasa de caza de un bosque, la de pesca de un río. El segundo tipo de impacto es el de una excesiva concentración local de productos de desecho naturales tales como excrementos animales o humanos. "La solución a este tipo de contaminación es la disolución". En tercer lugar, se halla la introducción en el medio ambiente de materiales que no forman parte de ningún ecosistema establecido en cantidades que tienen como consecuencia un impacto ambiental estrictamente local. Por ejemplo, productos químicos sintéticos, desde el DDT a los plásticos, los cuales constituyen serias amenazas para los organismos vivos.

En cuarto lugar, la introducción de productos naturales o sintéticos en tal cantidad que causan no sólo cambios ambientales locales, sino globales. Por ejemplo, el incremento en la atmósfera de gases invernadero como el CO<sub>2</sub> y las emisiones de CFCs (compuesto sintético que destruye el ozono de la estratosfera). La respuesta a estos impactos ha sido un esfuerzo intensificado por controlar el cambio ambiental y la creación de

procedimientos internacionales que se ocupen, de los productos químicos tóxicos y los residuos nucleares.

## IV. Resultados

### 4.1 Contrastación estadística de Hipótesis

Tabla 7. Resultados de los tratamientos de DBO y DQO

Experiencias	VALORES			
	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	Conductividad (mS/cm)
Condiciones iniciales	108.00	1015.10	6.9	2.260
Tratamiento 1	102.15	12061.85	5	2.020
Tratamiento 2	92.85	16205.55	5.4	1.950
Tratamiento 3	90.70	34916.65	4.5	1.680
Tratamiento 4	87.30	35505.7	4.2	1.710
Tratamiento 5	96.55	17770.7	7.5	2.335
Tratamiento 6	93.60	29002.48	5.3	1.850
Tratamiento 7	81.40	20427.62	6.3	1.920
Tratamiento 8	70.40	24630.15	7.2	2.085

#### 4.1.1 Prueba de hipótesis con Límites Máximos permisibles (LMP)

D.S 003-2002-PRODUCE Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre, papel y otros (500mgDBO<sub>5</sub>/L; 1500mgDQO/L y pH de 6-9).

#### A. Hipótesis DBO<sub>5</sub>

- **Hipótesis Nula:** La concentración final de DBO<sub>5</sub> en los distintos tratamientos es igual a 500 mgDBO<sub>5</sub>/L.
- **Hipótesis Alternativa:** La concentración final de DBO<sub>5</sub> en los distintos tratamientos es diferente a 500 mgDBO<sub>5</sub>/L.

#### Regla de decisión:

- Sig.  $\leq 0,05$  Se rechaza la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa.

- Sig. > 0,05 Se acepta la hipótesis nula, se rechaza la hipótesis alternativa.

Tabla 8. Análisis descriptivo variable DBO. Software InfoStat 2020

Prueba t para una media							
Valor de la media bajo la hipótesis nula: 500							
Variable	n	Media	DE	LI(95)	LS(95)	T	p(Bilateral)
DBO (mg/L)	9	91.72	10.61	83.57	99.88	-115.44	<0.0001

### Criterio de Decisión

Se concluye que, se rechaza la hipótesis nula, pues la probabilidad del estadístico de prueba seleccionado, t-student para muestras relacionadas, es menor que el nivel de significancia de  $\alpha = 5\%$ . Por lo tanto, se confirma que el promedio las concentraciones de DBO<sub>5</sub> de los tratamientos evaluados, son significativamente distintos a lo establecido por el LMP (500 mg/L D.S 003-2002-PRODUCE) vigente. Además, la media hallada (91.72 mg/L) se encuentra por debajo de lo estipulado en la normativa mencionada.

### B. Hipótesis DQO

- **Hipótesis Nula:** La concentración final de DQO en los distintos tratamientos es igual a 1 500 mg DQO/L.
- **Hipótesis Alternativa:** La concentración final de DQO en los distintos tratamientos es diferente a 1 500 mg DQO/L.

### Regla de decisión:

- Sig.  $\leq$  0,05 Se rechaza la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa.
- Sig. > 0,05 Se acepta la hipótesis nula, se rechaza la hipótesis alternativa.

Tabla 9. Análisis descriptivo variable DQO

Prueba t para una media						
Valor de la media bajo la hipótesis nula: 1500						
Variable	n	Media	DE	LI(95)	LS(95)	T p(Bilateral)
DQO (mg/L)	9	21042.30	10877.04	12681.47	29403.13	5.39 0.0007

Software InfoStat 2020

### Criterio de Decisión

Se concluye que, se rechaza la hipótesis nula, pues la probabilidad del estadístico de prueba seleccionado, t-student para muestras relacionadas, es menor que el nivel de significancia de  $\alpha = 5\%$ . Por lo tanto, se confirma que el promedio las concentraciones de DQO de los tratamientos evaluados, son significativamente distintos a lo establecido por el LMP (1500 mg/L D.S 003-2002-PRODUCE) vigente. Además, la media hallada (21042.30 mg/L) se encuentra por encima se lo estipulado en la normativa mencionada.

### C. Hipótesis pH

- Hipótesis Nula: La concentración final de pH en los distintos tratamientos es igual a 6 unidades de pH.
- Hipótesis Alternativa: La concentración final de pH en los distintos tratamientos es diferente a 6 unidades de pH.

### Regla de decisión:

- Sig.  $\leq 0,05$  Se rechaza la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa.
- Sig.  $> 0,05$  Se acepta la hipótesis nula, se rechaza la hipótesis alternativa.

Tabla 10. Análisis descriptivo Variable pH. Software InfoStat 2020

Prueba t para una media

Valor de la media bajo la hipótesis nula: 6

Variable	n	Media	DE	LI(95)	LS(95)	T	p(Bilateral)
pH	9	5.81	1.20	4.89	6.74	-0.47	0.6506

### Criterio de Decisión

Se concluye que, se acepta la hipótesis nula, pues la probabilidad del estadístico de prueba seleccionado, t-student para muestras relacionadas, es mayor que el nivel de significancia de  $\alpha = 5\%$ . Se confirma que el promedio los valores de pH de los tratamientos evaluados, no es significativamente distinto a las 6 unidades de pH consideradas para el procesamiento estadístico. Por otro lado, tras

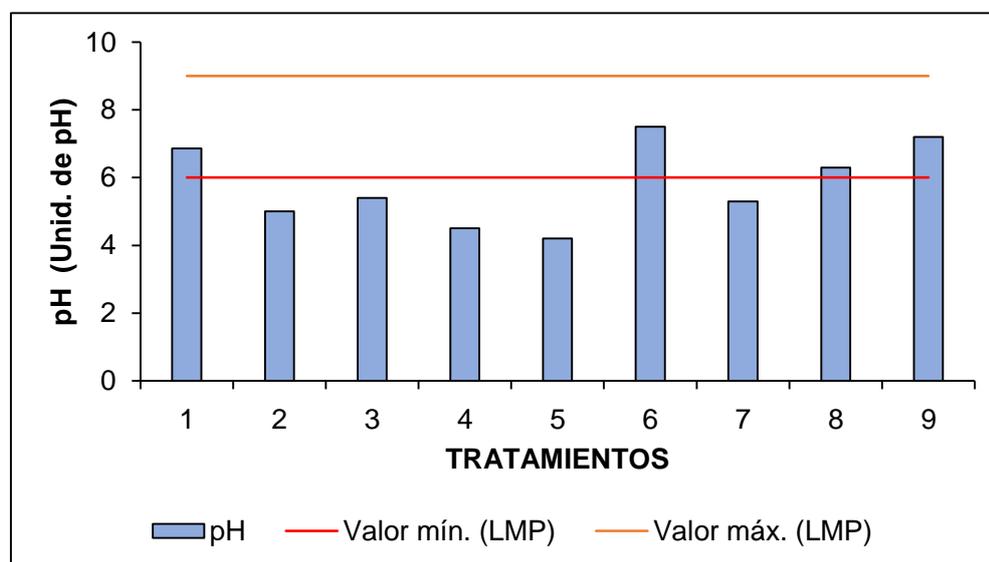


Gráfico 1: Variación de los valores de pH en los tratamientos aplicados.

evaluar los valores de pH gráficamente (Gráfico 1), se pudo observar que los tratamientos 1, 6, 8 y 9, se encuentran dentro del rango establecido para este parámetro en el LMP (6-9 unidades de pH, D.S

003-2002-PRODUCE) vigente, mientras que los demás tratamientos se encuentran ligeramente por debajo el rango establecido.

#### 4.1.2 Prueba de hipótesis con los Valores Máximos Admisibles (VMA)

D.S. N° 021-2009-VIVIENDA Valores Máximos Admisibles (VMA) para descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (500mgDBO<sub>5</sub>/L; 1000mgDQO/L y pH de 6 -9).

##### A. Hipótesis DBO<sub>5</sub>

- **Hipótesis Nula:** La concentración final de DBO<sub>5</sub> en los distintos tratamientos es igual a 500 mgDBO<sub>5</sub>/L
- **Hipótesis Alternativa:** La concentración final de DBO<sub>5</sub> en los distintos tratamientos es diferente a 500 mgDBO<sub>5</sub>/L.

##### Regla de decisión:

- Sig.  $\leq 0,05$  Se rechaza la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa.
- Sig.  $> 0,05$  Se acepta la hipótesis nula, se rechaza la hipótesis alternativa.

Tabla 11. Análisis descriptivo Variable DBO. Software InfoStat 2020

Prueba t para una media							
Valor de la media bajo la hipótesis nula: 500							
Variable	n	Media	DE	LI(95)	LS(95)	T	p(Bilateral)
DBO (mg/L)	9	91.72	10.61	83.57	99.88	-115.44	<0.0001

### Criterio de Decisión

Se concluye que, se rechaza la hipótesis nula, pues la probabilidad del estadístico de prueba seleccionado, t-student para muestras relacionadas, es menor que el nivel de significancia de  $\alpha = 5\%$ .

Por lo tanto, se confirma que el promedio las concentraciones de  $\text{DBO}_5$  de los tratamientos evaluados, son significativamente distintos a lo establecido por el VMA (500 mg/L D.S 021-2009-VIVIENDA) vigente. Además, la media hallada (91.72 mg/L) se encuentra por debajo de lo estipulado en la normativa mencionada.

### B. Hipótesis DQO

- **Hipótesis Nula:** La concentración final de DQO en los distintos tratamientos es igual a 1 000 mg DQO/L.
- **Hipótesis Alternativa:** La concentración final de DQO en los distintos tratamientos diferente a 1 000 mg DQO/L.

### Regla de decisión:

- $\text{Sig.} \leq 0,05$  Se rechaza la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa.
- $\text{Sig.} > 0,05$  Se acepta la hipótesis nula, se rechaza la hipótesis alternativa.

Tabla 12. Análisis descriptivo variable DQO

Prueba t para una media						
Valor de la media bajo la hipótesis nula: 1000						
Variable	n	Media	DE	LI(95)	LS(95)	T p(Bilateral)
DQO (mg/L)	9	21042.30	10877.04	12681.47	29403.13	5.53 0.0006

### Criterio de Decisión

Se concluye que, se rechaza la hipótesis nula, pues la probabilidad del estadístico de prueba seleccionado, t-student para muestras relacionadas, es menor que el nivel de significancia de  $\alpha = 5\%$ .

Por lo tanto, se confirma que el promedio las concentraciones de DQO de los tratamientos evaluados, son significativamente distintos a lo establecido por el VMA (1000 mg/L D.S 021-2009-VIVIENDA) vigente. Además, la media hallada (21042.30 mg/L) se encuentra por encima se lo estipulado en la normativa mencionada.

### C. Hipótesis pH

- **Hipótesis Nula:** La concentración final de pH en los distintos tratamientos es igual a 6 unidades de pH.
- **Hipótesis Alternativa:** La concentración final de pH en los distintos tratamientos es diferente a 6 unidades de pH.

### Regla de decisión:

- Sig.  $\leq 0,05$  Se rechaza la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa.
- Sig.  $> 0,05$  Se acepta la hipótesis nula, se rechaza la hipótesis alternativa.

Tabla 13. Análisis descriptivo variable pH

Prueba t para una media							
Valor de la media bajo la hipótesis nula: 6							
Variable	n	Media	DE	LI(95)	LS(95)	T	p(Bilateral)
pH	9	5.81	1.20	4.89	6.74	-0.47	0.6506

Software InfoStat 2020

### Criterio de Decisión

Se concluye que, se acepta la hipótesis nula, pues la probabilidad del estadístico de prueba seleccionado, t-student para muestras relacionadas, es mayor que el nivel de significancia de  $\alpha = 5\%$ . Por lo tanto, se confirma que el promedio los valores de pH de los tratamientos evaluados, no es significativamente distinto a las 6 unidades de pH consideradas para el procesamiento estadístico.

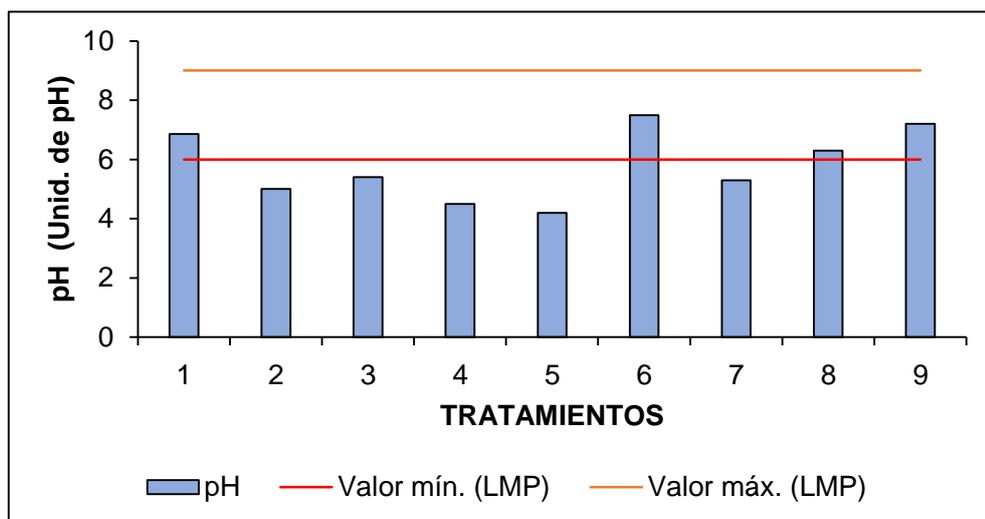


Gráfico 2: Variación de los valores de pH en los tratamientos aplicados.

Por otro lado, tras evaluar los valores de pH gráficamente (Gráfico 2), se pudo observar que los tratamientos 1, 6, 8 y 9, se encuentran dentro del rango establecido para este parámetro en el VMA (6-9 unidades de pH, D.S 021-2009-VIVIENDA) vigente, mientras que los demás tratamientos se encuentran ligeramente por debajo del rango establecido.

## 4.2 Análisis e Interpretación

### 4.2.1 Efectos de las condiciones de operación del tratamiento

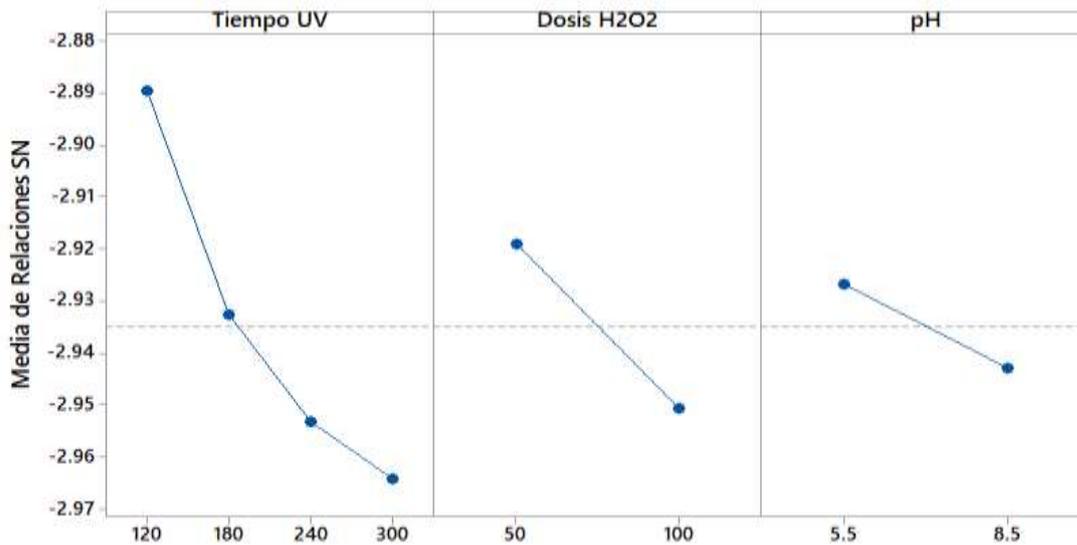


Gráfico 3: Gráfica de efectos para la variable señal/ruido (S/R) para el DBO<sub>5</sub>

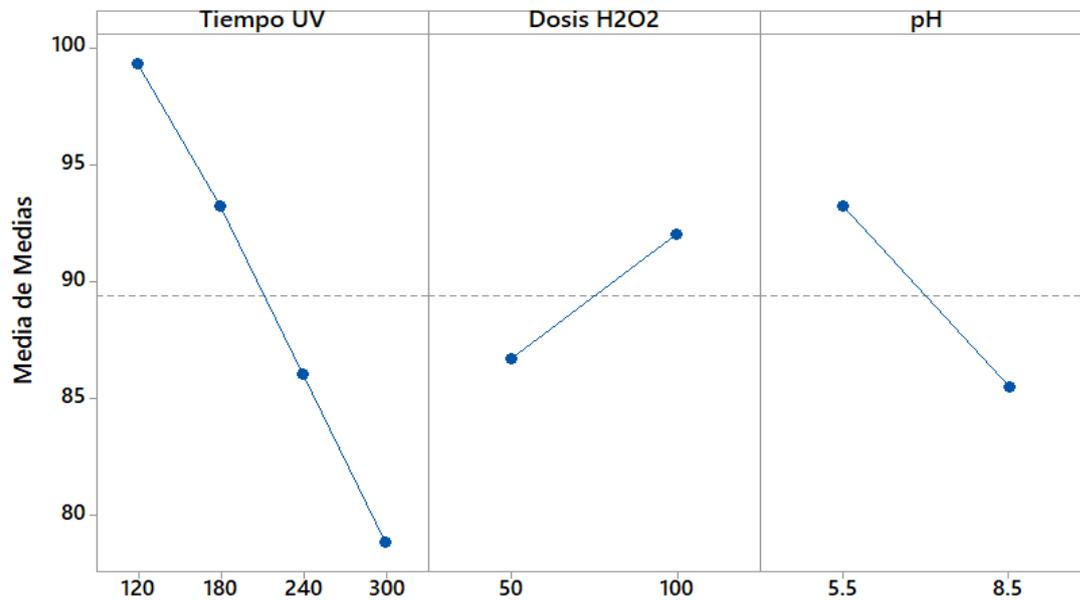


Gráfico 4: Gráfica de efectos para la media del DBO<sub>5</sub>

**Interpretación:** Se analiza la variable S/R y se obtienen los efectos y sus gráficas. Las gráficas de efectos principales se muestran en la Gráfica 3 que los efectos del UV afectan de manera significativa a la

S/R, es decir que el factor UV influye bastante sobre las concentraciones de  $\text{DBO}_5$ .

Se procede al análisis de la media y la Gráfica 4, se observa que también el efecto sobre la media es el tiempo de UV y el pH, sin embargo, el pH no tiene efecto sobre el estadístico S/R, que puede utilizarse como factor de ajuste para llevar la media a su valor nominal.

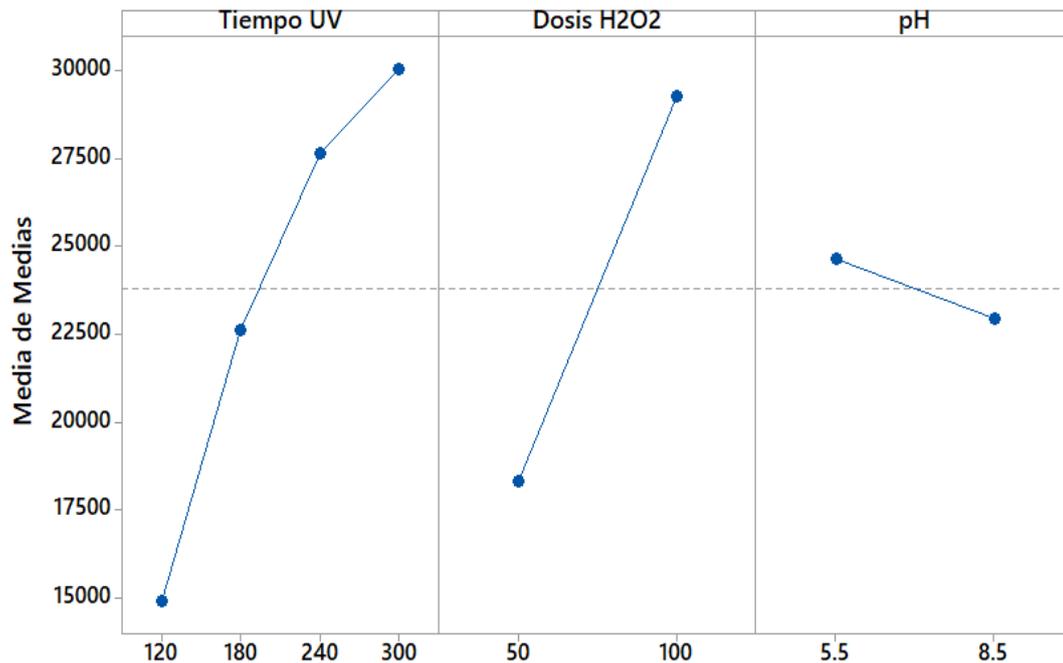


Gráfico 5: Gráfica de efectos para la media del DQO

**Interpretación:** Se procede al análisis de la media y la gráfica para la media del DQO, se observó el fuerte efecto que tiene sobre la media el tiempo de UV y la dosis de  $\text{H}_2\text{O}_2$  mientras que el pH tiene un efecto medio pero positivo sobre el tratamiento.

#### 4.2.2 Resultados de parámetros de operación

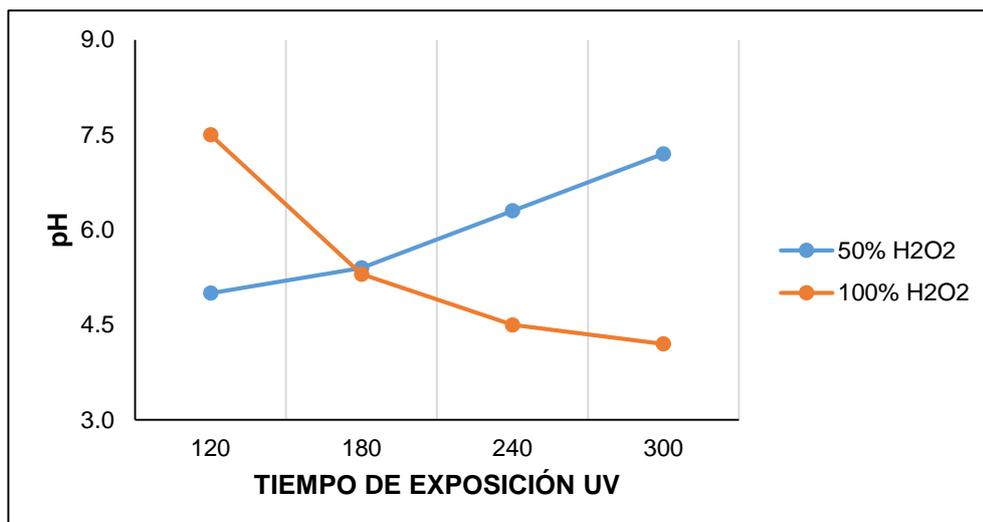


Gráfico 6: Influencia de la dosificación del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50% y 100% en el cambio del pH respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (En condiciones iniciales de T=25°C , pH= 5.5 y 8.5, Concentración O<sub>3</sub>= 200 mg/L , Caudal de 8.0 L/min)

**Interpretación:** En la Gráfica 6 se observa que al duplicar la dosificación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> del 50% al 100%, los valores de pH tienden a disminuir con relación al tiempo expuesto a la lámpara UV, mientras que, a una dosificación del 50% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, los valores de pH tienden a aumentar conforme al tiempo de exposición a la lámpara UV.

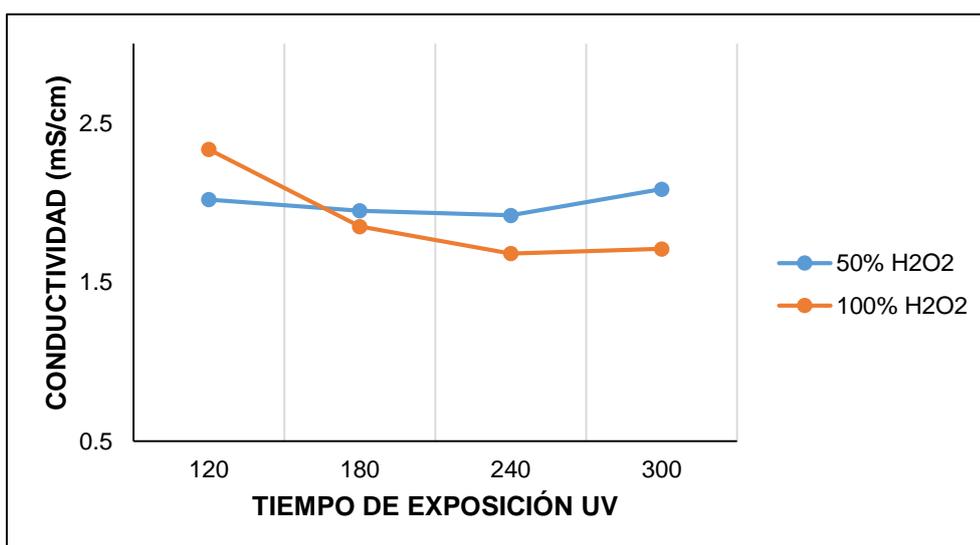


Gráfico 7: Influencia de la dosificación del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50% y 100% en el cambio de la conductividad respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de T=25°C , pH= 5.5 y 8.5 , Concentración O<sub>3</sub>= 200 mg/L , Caudal de 8.0 L/min)

**Interpretación:** En Gráfico 7 se observa que al dosificar 50% de  $H_2O_2$  bajo las condiciones de pH y demás parámetros controlados, previamente indicados, la conductividad tiende a mantenerse entre valores muy cercanos (1.92 – 2.08 mS/cm), mientras que al dosificar 100% de  $H_2O_2$ , se puede observar que a medida que haya mayor tiempo de exposición UV, estos resultados de conductividad tienden a disminuir ligeramente por la oxidación que se está realizando a los componentes orgánicos.

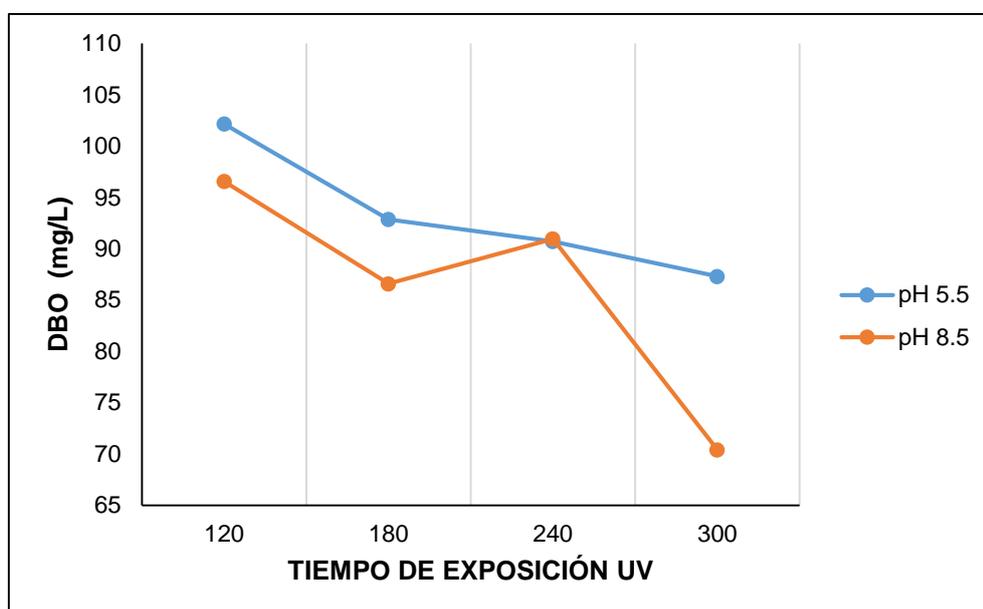


Gráfico 8: Influencia del pH acondicionado inicialmente de 5.5 y 8.5 en el  $DBO_5$  respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de  $T=25^{\circ}C$ , Concentración  $O_3=200$  mg/L, Caudal de 8.0 L/min)

**Interpretación:** En el Gráfico 8 se puede observar la variación que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) tiende a disminuir considerablemente a mayor tiempo de exposición UV. Por otro lado, se pudo observar que a un pH de 5.5 se observa un descenso constante, mientras que a un pH de 8.5, la disminución del DBO es más abrupta conforme aumenta el tiempo de exposición UV, esto nos indica que a un pH alcalino la oxidación tiende a aumentar.

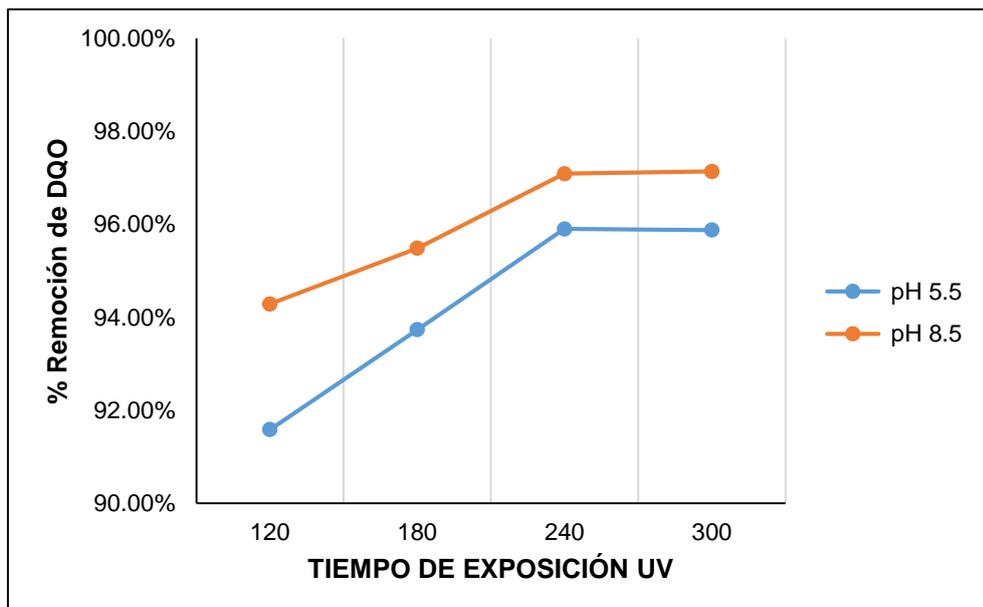


Gráfico 9: Influencia del pH acondicionado inicialmente de 5.5 y 8.5 en el porcentaje de remoción de DQO respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de T=25°C, Concentración O<sub>3</sub>=200 mg/L, Caudal de 8.0 L/min)

**Interpretación:** En el Gráfico 9 los resultados del porcentaje de remoción de DQO a condiciones de pH tanto ácido como alcalino, tienden al mismo comportamiento, es decir, en ambos casos se observa un aumento en el porcentaje de remoción de este parámetro, siendo el de pH alcalino el de mayor significancia, esto indica que la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos como inorgánicos presentes en el efluente disminuyen a mayor tiempo de exposición de UV en ambas dosis de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como de pH.

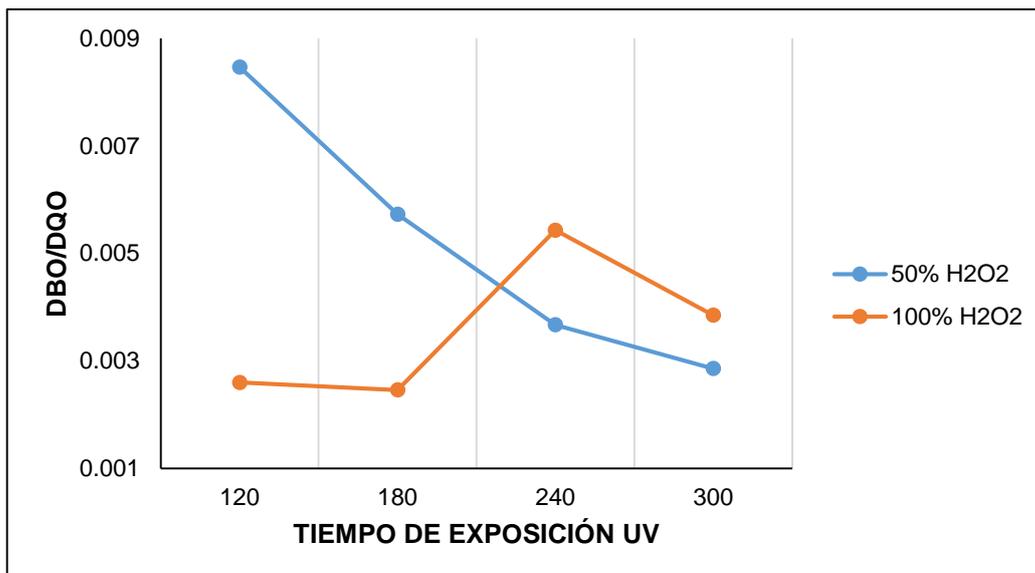


Gráfico 10: Influencia de la dosificación del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50% y 100% sobre la relación DBO<sub>5</sub>/DQO respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de T=25°C, pH= 5.5 y 8.5, Concentración O<sub>3</sub>= 200 mg/L, Caudal de 8.0 L/min)

**Interpretación:** En el Gráfico 10 los resultados de la relación DBO<sub>5</sub>/DQO varían en forma decreciente para una dosificación del 50% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, en comparación con las corridas realizadas a una dosificación del 100% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> que asciende hasta los 240 min, esto indica un aumento en la biodegradabilidad de los componentes orgánicos presentes en el efluente a mayor dosificación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

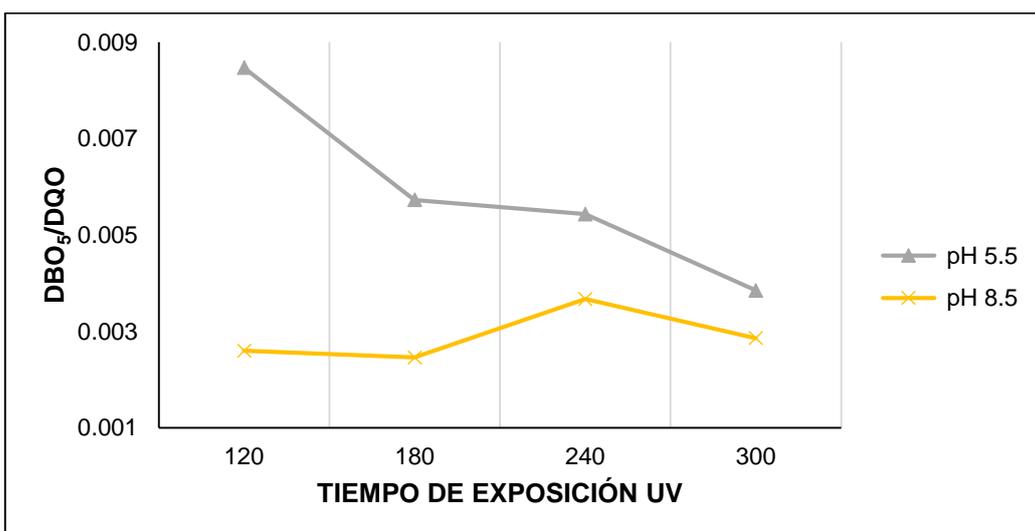


Gráfico 11: Influencia del pH acondicionado inicialmente de 5.5 y 8.5 sobre la relación DBO<sub>5</sub>/DQO respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de T=25°C, pH= 5.5 y 8.5, Concentración O<sub>3</sub>= 200 mg/L, Caudal de 8.0 L/min)

**Interpretación:** En la Gráfico 11 con un tiempo de exposición UV y un pH de 5.5 se observa la relación de  $DBO_5/DQO$  descender de manera constante indicando así una menor biodegradabilidad de materia orgánica respecto al aumento del tiempo de exposición, en cambio con un pH de 8.5 se observa el ligero aumento de la biodegradabilidad, no obstante, los valores de  $DBO_5/DQO$  son inferiores a 0.2 en ambas pH tanto alcalino como ácido mostrando así que la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos es baja.

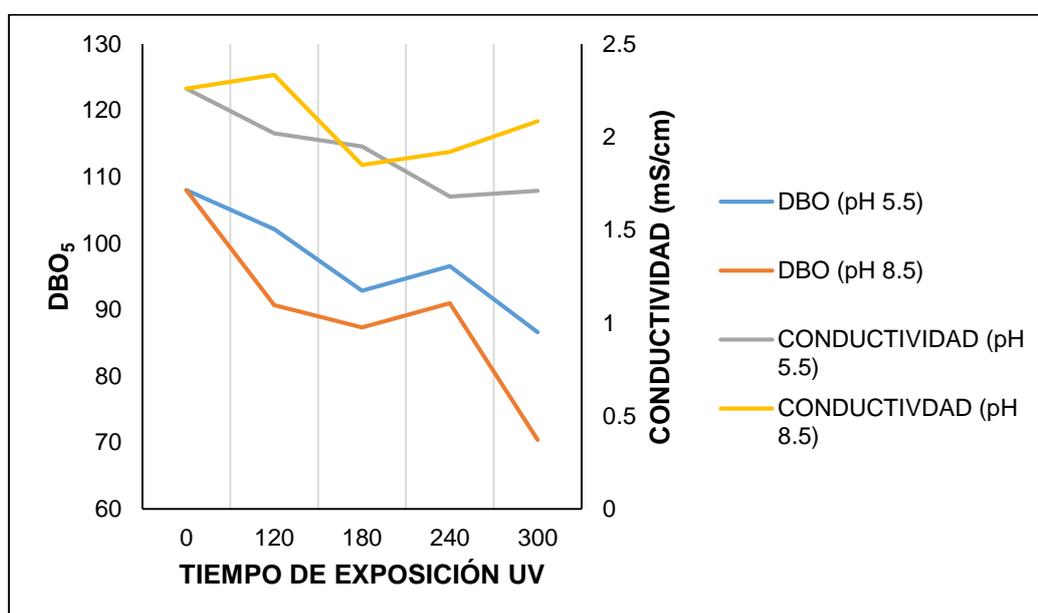


Gráfico 12: Relación  $DBO_5$  y conductividad respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de  $T=25^{\circ}C$ ,  $pH=5.5$  y  $8.5$ , Concentración  $O_3=200$  mg/L, Caudal de  $8.0$  L/min)

**Interpretación:** En el Gráfico 12 la influencia de trabajar a un pH alcalino de 8.5 con un mayor tiempo de exposición de UV permite observar el descenso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) a un valor de  $87.3$  mg/l como también de la conductividad a un valor de  $1.85$  mS/cm, siendo de mayor significancia respecto a trabajar con un pH de 5.5.

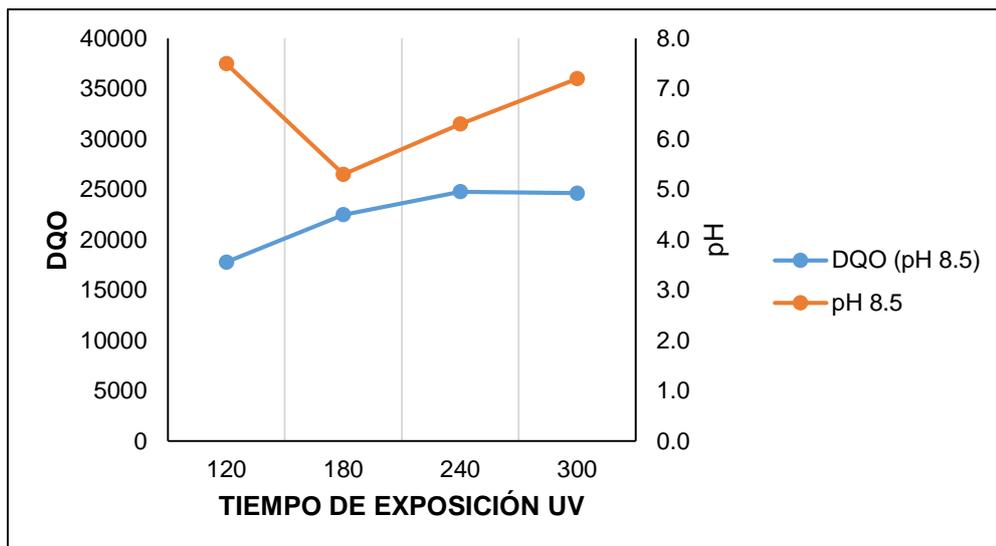


Gráfico 13: Comportamiento del DQO y pH respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (a condiciones iniciales de  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=8.5$ , Concentración  $\text{O}_3=200\text{ mg/L}$ , Caudal de  $8.0\text{ L/min}$ )

**Interpretación:** En el gráfico 13 la Demanda Química de Oxígeno (DQO) aumenta significativamente, esto nos indica que existe una mayor biodegradabilidad al aumentar el tiempo de exposición; el pH del efluente tratado logra ascender después de los 180 min a 7.2 siendo muy favorable puesto que se encuentra por debajo del pH acondicionado inicialmente.

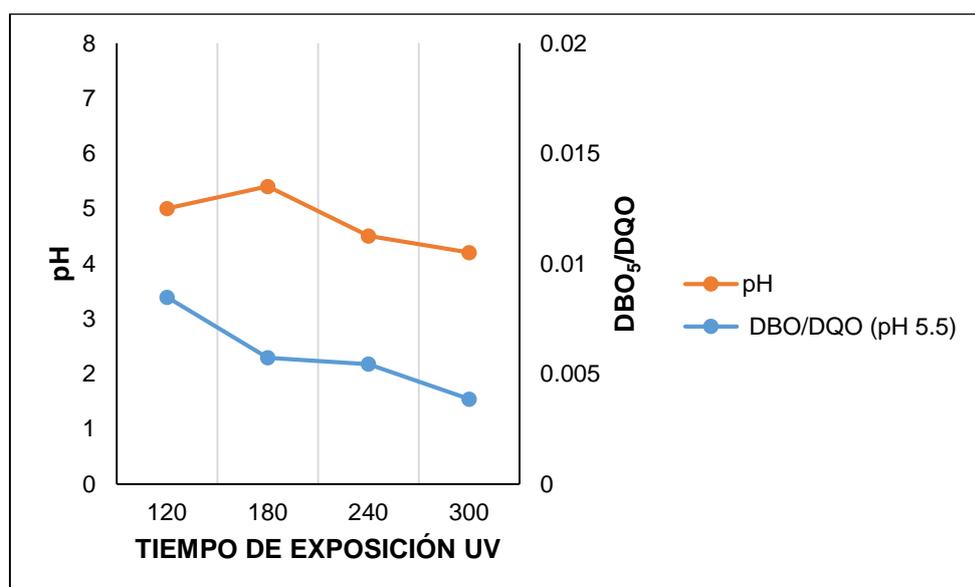


Gráfico 14: Comportamiento del pH y la relación  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}$  de  $5.5$ , Concentración  $\text{O}_3=200\text{ mg/L}$ , Caudal de  $8.0\text{ L/min}$ )

**Interpretación:** En Gráfico 14 los resultados de la relación  $DBO_5/DQO$  tiene la misma tendencia que la curva de pH, ambas curvas decrecen a mayor tiempo de exposición UV, esto indica que la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos disminuye con el pasar del tiempo resultando ser poca y que nuestro efluente tratado se torna ácido con un valor de 4.2.

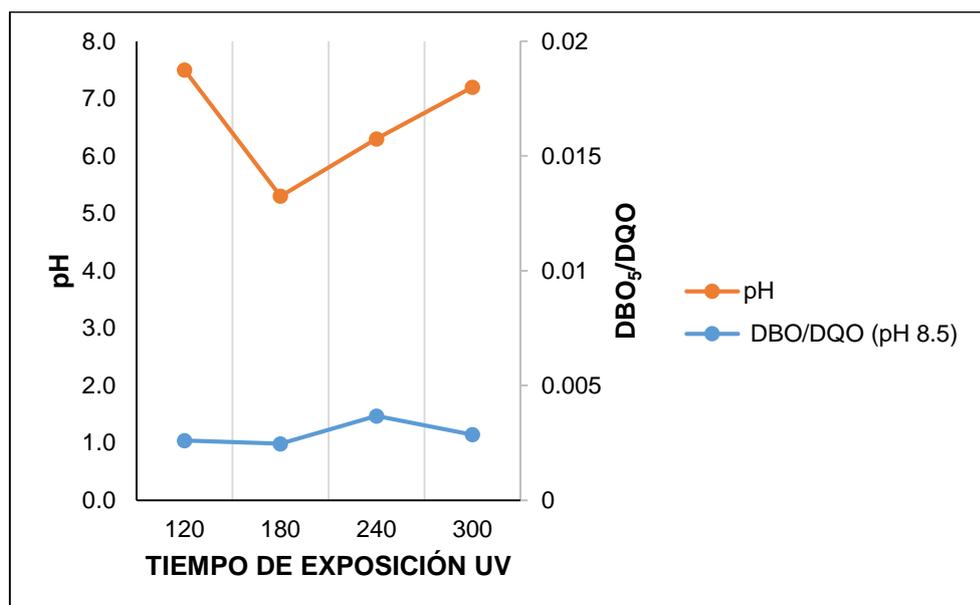


Gráfico 15: Comportamiento del pH y la relación  $DBO_5/DQO$  respecto al tiempo de exposición UV durante el proceso de oxidación avanzada (con condiciones iniciales de  $T=25^{\circ}C$ , pH de 8.5, Concentración  $O_3=200$  mg/L, Caudal de 8.0 L/min)

**Interpretación:** En el gráfico 15 los resultados de la relación  $DBO_5/DQO$  tiene la misma tendencia que la curva de pH, ambas curvas crecen a mayor tiempo de exposición UV, siendo la de pH la de mayor significancia, esto indica que la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos aumenta con el pasar del tiempo y que nuestro efluente tratado se torna ligeramente neutro con un valor de 7.2.

### 4.2.3 Cinética química las mejores condiciones de operación del DBO

Los resultados de las mejores condiciones de operación se dieron para el efecto más importante de Tiempo de exposición UV de 250 min y 300 min manteniendo constante la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 100% de dosis y el pH a 8.5.

Tabla 14. Resultados de las concentraciones de DBO<sub>5</sub> a mejores condiciones de operación

Tiempo Segundos	Demanda Bioquímica de Oxígeno LC. (250 min)	Demanda Bioquímica de Oxígeno L.D (300min)
0	56,6	63
30	55,7	69
60	56,6	73,8
90	52	66,2
120	54,3	65,2
150	56,2	61,3
180	54,2	58,9

Fuente: Elaboración propia

Para evaluar la velocidad de degradación del DBO para las 2 condiciones L.C y L.D se considera la siguiente ecuación (Rivera-Gutiérrez, 2015):

Ecuación de cinética de degradación para DBO:

$$\frac{dL_t}{dt} = -K * L_t \dots\dots\dots(1)$$

$K$ : Tasa de oxidación ( *minutos*<sup>-1</sup> )

$L_t$  : DBO remanente en el agua en un tiempo t.

Evaluando el consumo de oxígeno, con la siguiente ecuación:

$$Y=L (1-e^{-kt})\dots\dots\dots (2)$$

Y: Cambio de la concentración de la DBO

L: DBO remanente en el agua

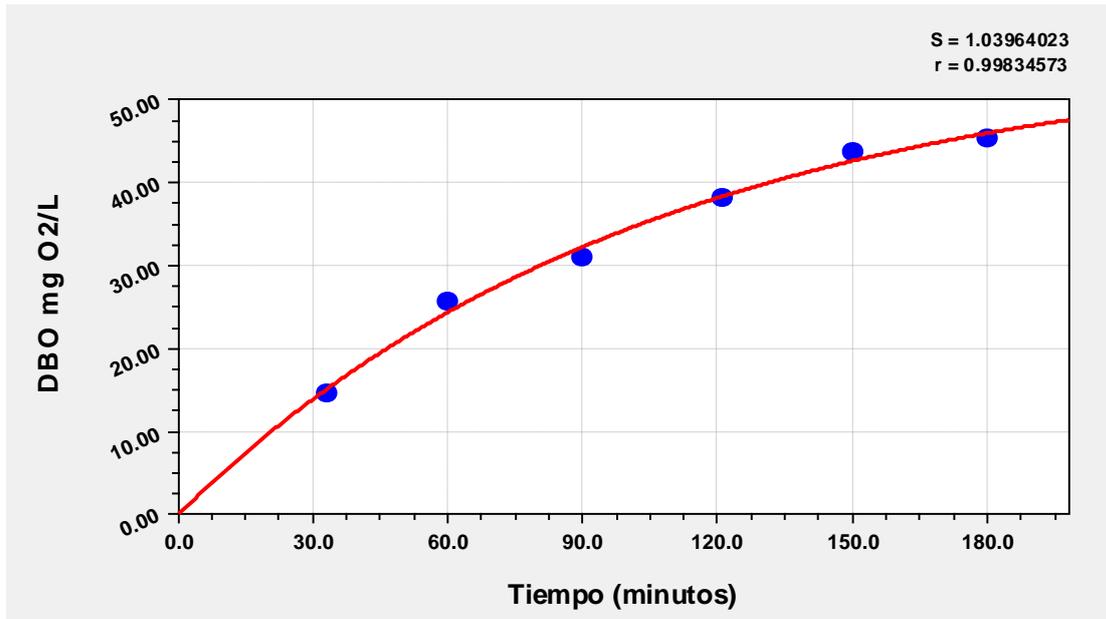


Gráfico 16: Resultado de la variación del DBO<sub>5</sub> para el L.C

USO DEL MODELO:  $Y=L(1-e^{-kt})$  .....(2)

Datos de los coeficientes:

$L = 56.0927171956$

$K = 0.00951915005986$

Siendo K la velocidad de degradación del DBO<sub>5</sub> para L.C.

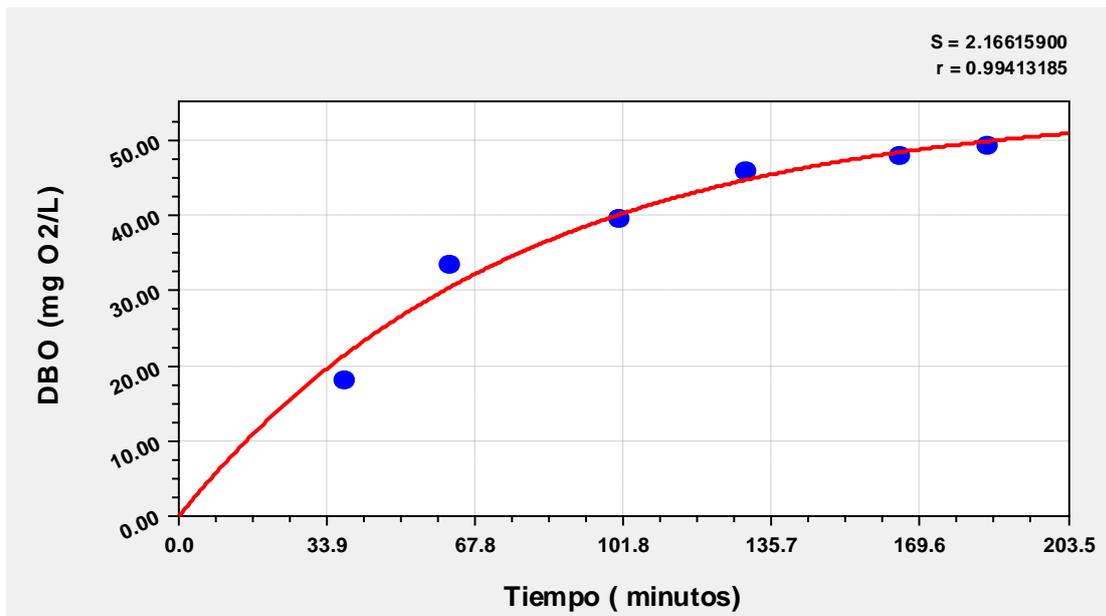


Gráfico 17: Resultado de la variación del DBO<sub>5</sub> para el L.D

USO DEL MODELO:  $Y=L(1-e^{-kt})$  .....(2)

Datos de los coeficientes:

$L = 54.5840501406$

$K = 0.013142423274$

Siendo K la constante de velocidad de degradación del  $DBO_5$  para L.D

**Interpretación:** Para determinar la constante de velocidad de oxidación se utilizó el software Curve expert 1.4. La velocidad de oxidación de la materia orgánica en ambos casos va disminuyendo a través del tiempo, la ecuación de reacción es de primer orden. Para la muestra expuesta al UV 250 min. la constante de velocidad (K) fue  $(9.5 \times 10^{-3}m^{-1})$  y la constante de velocidad (K) para la muestra expuesta al UV 300 min. fue  $(13.1 \times 10^{-3}m^{-1})$ . Durante la 1 hora ambos se mantienen el mismo comportamiento de degradación, (representación de una ecuación casi lineal) luego el comportamiento varía desarrollando un distinto proceso de óxido- reducción que va a permanecer relativamente variante.

## V. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación efectuados en un sistema de oxidación avanzada con el proceso  $O_3/UV/H_2O_2$  a escala piloto nos indican que al trabajar a una dosis del 50% inicial de  $H_2O_2$  y a un pH inicial de 8.5 resulta ser más óptimo para el incremento del pH en el efluente tratado obteniéndose un valor de 7.2 en el tiempo máximo de 300 min en comparación con (Lucas et al., 2010) que hace mención a su eficiencia obtenida, siendo esta ligeramente más alta a pH 10 que a pH 4 y pH 7 después de 300 min. La influencia del  $\%H_2O_2$  en solución es muy importante ya que dependerá de la cantidad suficiente para generar la formación del radical OH o la formación del mismo  $H_2O_2$ , también el pH al cual fue acondicionado, permite una disminución en la conductividad a un mayor tiempo UV de exposición mostrando un valor de 1.71 ms/cm a pH ácido inicial así como 1.85 ms/cm a pH alcalino trabajando a una dosis del 100%  $H_2O_2$  ya que a mayor dosificación mayor formación de radicales OH al entrar a la lámpara UV para la degradabilidad de la materia orgánica presente en el efluente. Esta materia orgánica fue cuantificada por los parámetros de relación DBO/DQO por el cual se obtuvo baja degradabilidad (0.003 aproximadamente) en las condiciones de UV a 300 min y un pH de 8.5 inicial, con resultados de  $DBO_5$  a de 70.4mg/l. Para el caso del  $\%DQO$ , el efecto de la variación de la dosis de  $H_2O_2$  proporciona un excesivo incremento tanto a un tiempo máximo de 300 minutos de irradiación UV y en condiciones iniciales tanto ácidas como alcalinas respectivamente, contrastando nuestros resultados con (Bilinska, Gmurek, & Ledakowicz, 2015) el grado de mineralización que logro a un pH alcalino inicial, fue satisfactoria para soluciones sintéticas, obteniendo el 80 y 90% de reducción de DQO después de 60 minutos de tratamiento pero en el caso de aguas residuales industriales diluidas y no diluidas, la reducción de compuestos orgánicos fue mucho menor, aproximadamente un 50% y 10 % de DQO respectivamente pero en su nueva investigación (Bilińska et al., 2017) después de 60 minutos la degradabilidad obtenido resulta ser 20 y 30% para los colorantes individuales y el 40% para la mezcla de colorantes. (Azbar et al., 2004) en condiciones distintas respecto al pH del efluente

inicial, siendo este ácido, alcanzó su máxima degradación del 90% en un tiempo de reacción de 90 minutos. Para los valores expresados por la relación  $DBO_5 / DQO$  obtenidos resultan tener la misma tendencia al trabajar a un pH ácido como alcalino ya que varía en forma decreciente en comparación con (Bilinska et al., 2015) que trabaja a un pH ácido inicial, observó un aumento visible desde el valor cercano a cero hasta 0,8 en tan solo 60 min, pero para las aguas residuales diluidas, el  $DBO_5/DQO$  no aumento significativamente.

Azbar et al.,(2004) compara varios procesos de oxidación avanzada respecto a métodos de tratamiento químico, realizando el tratamiento a un efluente del teñido de poliéster y acetato de fibra poliéster, evaluó la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) y color, tiempo de experiencia de 100 min ,a diferentes pH (3,5,7 y 9), mostraron que el tratamiento POAs que tienen mejor rendimiento fue la combinación  $O_3/H_2O_2/UV$  con un resultado en eliminación de color y de DQO del 50% y 60%, respectivamente. Al respecto podemos decir que no son nuestras condiciones de operación pero si coincidimos que esa combinación de POAS es la más eficiente sin embargo se difiere respecto a la recuperación del DQO dado a que a nuestras condiciones el DQO presenta valores muy altos.

Lucas, et.al (2010), investigaron un reactor de columna de burbujas a escala piloto en la aplicación de diferentes procesos de oxidación avanzada basados en ozono ( $O_3/UV/H_2O_2$ ), para el tratamiento de aguas residuales de una vinícola de pH inicial igual a 4. La desaparición de la carga orgánica de las aguas residuales se describió mediante una cinética de reacción aparente de pseudo primer orden. La constante de velocidad (K) más rápida fue ( $6.5 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ).En nuestro caso la cinética de reacción se reportó de primer orden con constantes de velocidad de ( $9.5 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ) y ( $13.1 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ).

## VI. Conclusiones

- Se determinaron las condiciones de operación óptima de los (POA) procesos de oxidación avanzada ( $O_3/UV/H_2O_2$ ), de las aguas residuales de la industria textil en estudio, obteniéndose una reducción de 34.81% de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) considerándose una DBO inicial de 108.00 mg/L. Las mejores condiciones de operación para el tratamiento de las aguas residuales textiles fueron a 200 mg/L de Ozono, 8.5 de pH, 100% de dosis de  $H_2O_2$ , y la exposición a 250 y 300 min de UV concluyendo que el tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos de oxidación avanzada ( $O_3/UV/H_2O_2$ ) tienen una alta influencia para el vertimiento en la red de alcantarillado.
- Se determinó la cinética química de degradación de materia orgánica  $DBO_5$  simulando aguas sintéticas a las mejores condiciones de operación solo variando el tiempo de exposición de UV (250 y 300 minutos) , resultando valores de constantes de velocidades de degradación (K) de ( $9.5 \times 10^{-3} \text{min}^{-1}$ ) y ( $13.1 \times 10^{-3} \text{min}^{-1}$ ), respectivamente, con  $R^2=0.99$ , siendo K muy pequeño lo que significa que la velocidad de cambio de concentración del DBO es muy lento, concluyendo que el modelo que se ajusta es de primer orden y la velocidad de oxidación de la materia orgánica en ambos casos va disminuyendo a través del tiempo .Durante la 1 hora ambos mantienen el mismo comportamiento de reducción, (representación de una ecuación casi lineal) luego el comportamiento varía.
- Se determinaron las concentraciones finales de los parámetros del efluente tratado  $DBO_5$ , DQO y pH y se comparó con la normativa de Límites Máximos Permisibles (D.S 003-2002-PRODUCE) y la normativa Valores Máximos Admisibles (VMA) (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA). Se concluyó que estas muestras no cumplen ambas normativas en lo que respecta al parámetro de DQO por lo que no se puede recomendar la descarga en la red de alcantarillado.

**VII. Recomendaciones**

- Controlar el parámetro de dosificación de Ozono para próximas investigaciones, este parámetro influye de manera directa en el DQO.
- Evaluar la cinética química usando nuevos parámetros de operación u otras ecuaciones de distintos grados.
- Comparar los resultados con otras normas internacionales, que contemplen Límites Máximos Permisibles enfocado a industria textil.

## VIII. Referencias

- Aguirre Chavarria, Gonzales Guidos, G. G. (2015). *Elaboración y aplicación de metodologías analíticas e instrumentales para la cuantificación de parámetros fisicoquímicos en agua y su aplicación en el laboratorio de Ingeniería Química, FIA / UES.*
- ANA. *Evaluación de muestras de agua del río Rímac y principales afluentes con datos de DIGESA y SEDAPAL.*, (2011).
- Arias, N., Ríos, L., Vásquez, L. & Pérez, G. (2013). Estudio comparativo entre los enfoques de diseño experimental robusto de Taguchi y tradicional en presencia de interacciones de control por control. *Ingeniería Investigación y tecnología*, 16 (1) 131-142.
- Asghar, A., Abdul Raman, A. A., & Wan Daud, W.M.A. (2015) Advanced oxidation processes for in-situ production of hydrogen peroxide/hydroxyl radical for textile wastewater treatment: a review. *Journal of Cleaner Production*, 87, 826-838.
- Azbar, N., Yonar, T., & Kestioglu, K. (2004). Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from a polyester and acetate fiber dyeing effluent. *Chemosphere*, 55(1), 35–43.
- Babuponnusami, A., & Muthukumar, K. (2014). A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 557–572.
- Barredo-Damas, S., Iborra-Clar, M. I., Bes-Pia, A., Alcaina-Miranda, M. I., Mendoza-Roca, J. A., & Iborra-Clar, A. (2005). *Study of preozonation influence on the physical-chemical treatment of textile wastewater.* 182(May), 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.017>
- Belgiorno, V., Vincenzo, N., & Rizzo, R. (2010). *Water, wastewater and soil treatment by advance oxidation processes (AOPs)* (Primera; ASTERonlus, Ed.). Italy.
- Bhandari, V. M., & Ranade, V. V. (2014). Advanced Physico-chemical Methods of Treatment for Industrial Wastewaters. In *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099968-5.00002-7>
- Bilinska, L., Gmurek, M., & Ledakowicz, S. (2015). Application of Advanced Oxidation Technologies for Decolorization and Mineralization of Textile Wastewaters. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, 18(2). <https://doi.org/10.1515/jaots-2015-0202>
- Bilińska, L., Gmurek, M., & Ledakowicz, S. (2017). Textile wastewater treatment by AOPs for brine reuse. *Process Safety and Environmental Protection*, 109, 420–428. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.04.019>
- Bulc, T. G., & Ojstršek, A. (2008). The use of constructed wetland for dye-rich textile wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 155(1–2), 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.068>

- Chakraborty, J. N. (2014). 36 – Wastewater problem in textile industry. *Fundamentals and Practices in Colouration of Textiles*, 514–545. <https://doi.org/10.1016/B978-93-80308-46-3.50036-4>
- Correia, V. M., Stephenson, T., & Judd, S. J. (1994). Characterisation of textile wastewaters - a review. *Environmental Technology*, 15(10), 917–929. <https://doi.org/10.1080/09593339409385500>
- Crespi, M., & Huertas, J. (1987). Industria Textil: ¿Depuración Biológica o Físicoquímica? *Boletín INTEXTAR*, 92, 16.
- Cuásquer, G. J. P. (2015). Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos electroquímicos. *Tesis*, 110.
- Cunha, R. T., Pereira Jr., N., Andrade, C. (2000) Aplicación de enzimas en Procesos industriales textiles. XIXCNTT 6a Fenatêtil, p 40 - 50.
- Decreto supremo N°021-2009-VIVIENDA. Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Disponible: [http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS\\_2009\\_021.pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS_2009_021.pdf)
- Decreto supremo N°03-2002-PRODUCE. Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Disponible: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ds\\_ndeg003-2002-produce.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ds_ndeg003-2002-produce.pdf)
- De Freitas, K. R. (2002). *Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil*. 151.
- Dewil, R., Mantzavinos, D., Poulios, I., & Rodrigo, M. A. (2017). New perspectives for Advanced Oxidation Processes. *Journal of Environmental Management*, 195, 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.010>
- Drenthen, M. (2011). Ecocentrism as anthropocentrism. *Ethics, Policy and Environment*, 14(2), 151–154. <https://doi.org/10.1080/21550085.2011.578365>
- El Peruano. *Aguas Residuales Contaminación Cotidiana*. , (2015). Disponible: <http://www.elperuano.pe/noticia-aguas-residuales-contaminacion-cotidiana-35220.aspx>.
- Torres C. (1994). *Proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para reuso del agua en la agricultura*. Disponible: <http://eprints.uanl.mx/4660/1/1080063779.PDF>
- Forero, J. E., Ortiz, O. P., & Rios, F. (2005). Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería. *CT y F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 3(1), 97–110.
- Galán, J., Rodríguez, A., Gómez, J. M., Allen, S. J., & Walker, G. M. (2013). Reactive dye adsorption onto a novel mesoporous carbon. *Chemical Engineering Journal*, 219, 62–68.
- Georgiou, D., Melidis, P., Aivasidis, A., & Gimouhopoulos, K. (2002). Degradation of azo-reactive dyes by ultraviolet radiation in the presence of hydrogen

- peroxide. *Dyes and Pigments*, 52(2), 69–78.
- Giannakis, S., Jovic, M., Gasilova, N., Gelabert, M. P., Schindelholz, S., Furbringer, J.-M., ... Pulgarin, C. (2017). Iohexol degradation in wastewater and urine by UV-based Advanced Oxidation Processes (AOPs): Process modeling and by-products identification. *Journal of Environmental Management*, 195, 174–185.
- Girardi, D. (2011). O processo de liderança e a gestão do conhecimento organizacional: As práticas das maiores indústrias catarinenses. *Revista de Ciências de Administración*, 1, 60. <https://doi.org/10.5007/2175-8077.2012v1n32p65>
- Glassman, I., Yetter, R. A., & Glumac, N. G. (2014). *Combustion*. Academic press.
- Gómez Polanco, E. P., & Martínez Valeriano, V. H. (2013). *Estudio de optimización de variables de funcionamiento de un sistema de electrocoagulación para tratar aguas de la industria textil*.
- Gosavi, V. D., & Sharma, S. (2014). A general review on various treatment methods for textile wastewater. *J Environ Sci Comput Sci Eng Technol*, 3, 29–39.
- Güyer, G. T., Nadeem, K., & Dizge, N. (2016). Recycling of pad-batch washing textile wastewater through advanced oxidation processes and its reusability assessment for Turkish textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 139, 488–494.
- Guzman Soria, E., Garcia Salazar, J. A., Rebollar Rebollar, J. A., & Hernández Martínez, J. (2011). Determinantes del consumo de agua por los sectores urbano e industrial en G...: EBSCOhost. *Analisis Economico*, XXVII(63), 16.
- Hassemer, M. E. N. (2006). *Oxidação fotoquímica - UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil*. 162.
- Héctor D. Mansilla, Cristian Lizama, A. G. y J. R. (2008). Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil. *Evaluation*, (January 2001), 2005–2008.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). Metodología de la investigación. In *Metodología de la investigación*. <https://doi.org/>- ISBN 978-92-75-32913-9
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2003). *Metodología de la investigación* (Vol. 707). México: McGraw-Hill.
- Holkar, C. R., Jadhav, A. J., Pinjari, D. V, Mahamuni, N. M., & Pandit, A. B. (2016). A critical review on textile wastewater treatments: possible approaches. *Journal of Environmental Management*, 182, 351–366.
- Institutos de estudios económicos y sociales. Reporte Sectorial N°10-noviembre 2016. Disponible: <https://www.elanbiz.org/documents/20182/83157/SNI+Reporte+sectorial+-+Industria+Textil/b9819dce-968f-42dd-bb75-d2bd97023729?version=1.1>
- Jadhav, J. P., Kalyani, D. C., Telke, A. A., Phugare, S. S., & Govindwar, S. P.

- (2010). Evaluation of the efficacy of a bacterial consortium for the removal of color, reduction of heavy metals, and toxicity from textile dye effluent. *Bioresource Technology*, 101(1), 165–173.
- Józwiakowski, K., Bugajski, P., Mucha, Z., Wójcik, W., Jucherski, A., Nastawny, M., ... Gajewska, M. (2017). Reliability and efficiency of pollution removal during long-term operation of a one-stage constructed wetland system with horizontal flow. *Separation and Purification Technology*, 187, 60–66.
- Kerlinger, F. N., Lee, H. B., Pineda, L. E., & Mora Magaña, I. (2002). *Investigación del comportamiento*.
- Lafi, R., Gzara, L., Lajimi, R. H., & Hafiane, A. (2018). Treatment of textile wastewater by a hybrid ultrafiltration/electrodialysis process. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 132, 105–113.
- Liang, C.-Z., Sun, S.-P., Li, F.-Y., Ong, Y.-K., & Chung, T.-S. (2014). Treatment of highly concentrated wastewater containing multiple synthetic dyes by a combined process of coagulation/flocculation and nanofiltration. *Journal of Membrane Science*, 469, 306–315.
- Linden, K. G., & Mohseni, M. (2014). Advanced Oxidation Processes: Applications in Drinking Water Treatment. In *Comprehensive Water Quality and Purification* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382182-9.00031-1>
- Lucas, M. S., Peres, J. A., & Puma, G. L. (2010). Treatment of winery wastewater by ozone-based advanced oxidation processes (O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>/UV and O<sub>3</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) in a pilot-scale bubble column reactor and process economics. *Separation and Purification Technology*, 72(3), 235–241.
- Mantatov, V., & Mantatova, L. (2015). Philosophical Underpinnings of Environmental Ethics: Theory of Responsibility by Hans Jonas. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 214(June), 1055–1061. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.704>
- Michael, I., Frontistis, Z., & Fatta-Kassinos, D. (2013). Removal of pharmaceuticals from environmentally relevant matrices by advanced oxidation processes (AOPs). In *Comprehensive Analytical Chemistry* (2nd ed., Vol. 62). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62657-8.00011-2>
- Miralles-Cuevas, S., Oller, I., Agüera, A., Llorca, M., Pérez, J. A. S., & Malato, S. (2017). Combination of nanofiltration and ozonation for the remediation of real municipal wastewater effluents: acute and chronic toxicity assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 323, 442–451.
- Mitcham, C. (2004). Cuestiones éticas en ciencia y tecnología: Análisis introductorio y bibliografía. *El Escorial*. <https://doi.org/10.1038/nbt.2740>
- Mohamed, A., Nemr, E., & Fedekar, F. (2017). Advanced oxidation processes of Mordant Violet 40 dye in freshwater and seawater. *Egyptian Journal of Aquatic Research (Online)*.
- Mora, B. P. (2012). *Proyecto Fin de Carrera Estudio de tratabilidad de agua residual de industria textil a escala laboratorio ( Treatability study of textile*

- wastewater in laboratory scale ).
- Nagel Hassemer, M. E., & Luiz Sens, M. (2002). Tratamiento do efluente de uma indústria textil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 7(1/2), 30–36.
- Neamtu, M., Siminiceanu, I., Yediler, A., & Kettrup, A. (2002). Kinetics of decolorization and mineralization of reactive azo dyes in aqueous solution by the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation. *Dyes and Pigments*, 53(2), 93–99.
- OEFA, Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014). Informe de Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.
- Pacheco Secades, V. (2010). *Control De Calidad* (pp. 1–18). pp. 1–18. Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA)
- Pérez, B. P. I. G. (2006). *Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente Trabajo de Diploma*.
- Quicaño Tafur, A. (2014). *Reducción de compuestos fenólicos en aguas residuales de baños portátiles con proceso de oxidación química avanzada ozono-peróxido de hidrógeno*.
- Ranade, V. V., & Bhandari, V. M. (2014). Industrial Wastewater Treatment, Recycling, and Reuse: An Overview. In *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099968-5.00001-5>
- Rivera-Gutiérrez, J. V. (2015). Evaluación de la cinética de oxidación y remoción de materia orgánica en la autopurificación de un río de montaña. *Dyna*, 82(191), 183–193.
- Rojas, R. (2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales. *CURSO INTERNACIONAL “GESTION INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”(2002: Brasil)*. *Curso Internacional. Brasil: Cepis*, 19, 19.
- Rosa Marcos Jorge. (2010). *Produção de tingimentos com reuso de efluente tratado por fotocátalise via UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*.
- Ruppert, G., Bauer, R., & Heisler, G. (1994). UV-O<sub>3</sub>, UV-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV-TiO<sub>2</sub> and the photo-Fenton reaction-comparison of advanced oxidation processes for wastewater treatment. *Chemosphere*, 28(8), 1447–1454.
- Saharan, V. K., Rizwani, M. A., Malani, A. A., & Pandit, A. B. (2013). Effect of geometry of hydrodynamically cavitating device on degradation of orange-G. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), 345–353.
- Salas Colotta, G. (2003). Tratamiento Físico-Químico De Aguas Residuales De La Industria Textil. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím.*, 52(2), 73–80.
- Salas, G. (2010). Tratamiento Por Oxidación Avanzada (Reacción Fenton) De Aguas Residuales De La Industria Textil. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím*, 13(1), 30–38.
- Salazar Gámez, L., Rosell, M. C., & Salazar, R. (2009). Tratamiento de aguas residuales textiles mediante un biorreactor de membrana. *Ingeniería y Desarrollo*, (26).
- Salinas Juárez, M. (2011). *Evaluación de un Sistema de Biofiltración y Humeal para el tratamiento de Aguas Residuales de la Industria Textil*. Universidad

- Nacional Autónoma de México.
- Sarathy, S., & Mohseni, M. (2008). The fate of natural organic matter during UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> advanced oxidation of drinking water. In *Canadian Journal of Civil Engineering* (Vol. 36). NRC Research Press.
- Sarkar, S. (2014). Environmental philosophy: From theory to practice. *Studies in History and Philosophy of Science Part C :Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 45(1), 890–891. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2013.10.010>
- Şen, S., & Demirel, G. N. (2003). Anaerobic treatment of real textile wastewater with a fluidized bed reactor. *Water Research*, 37(8), 1868–1878. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00577-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00577-8)
- Sharma, A., Ahmad, J., & Flora, S. J. S. (2018). Application of advanced oxidation processes and toxicity assessment of transformation products. *Environmental Research*. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2018.07.010>
- Shu, H.-Y., & Chang, M.-C. (2005). Decolorization effects of six azo dyes by O<sub>3</sub>, UV/O<sub>3</sub> and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. *Dyes and Pigments*, 65(1), 25–31.
- Sievers, M. (2011). 4.13 – Advanced Oxidation Processes. *Treatise on Water Science*, 377–408. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53199-5.00093-2>
- Sillanpää, M. (2015). General Introduction. In *Natural Organic Matter in Water*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801503-2.00001-X>
- Sillanpää, M., & Matilainen, A. (2014). NOM Removal by Advanced Oxidation Processes. In *Natural Organic Matter in Water: Characterization and Treatment Methods*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801503-2.00006-9>
- Sillanpää, M., Matilainen, A., & Lahtinen, T. (2014). Characterization of NOM. In *Natural Organic Matter in Water: Characterization and Treatment Methods*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801503-2.00002-1>
- Sivagami, K., Sakthivel, K. P., & Nambi, I. M. (2018). Advanced oxidation processes for the treatment of tannery wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(3), 3656–3663.
- Standard methods for the examination of water and wastewater. Publication Office American Public Health Association. (1995) Washington, 17th edition, APHA, AWWA, WEF.
- SUNASS. La EPS y su Desarrollo. , (2013). Disponible: [http://demi.produce.gob.pe/images/publicaciones/publie178337159547c39d\\_11.pdf](http://demi.produce.gob.pe/images/publicaciones/publie178337159547c39d_11.pdf)
- Tehrani-Bagha, A. R., Mahmoodi, N. M., & Menger, F. M. (2010). Degradation of a persistent organic dye from colored textile wastewater by ozonation. *Desalination*, 260(1–3), 34–38.
- Taylor, P. W. (1987) *Respeto por la naturaleza: una teoría de la ética ambiental*. Nueva Jersey, Princeton: Princeton University Press.
- Respect for Nature: A Theory of Environmental Ethics*. 2. impress with corrections. New Jersey, Princeton: Princeton University Press, 1987.

- Vasquez, Juan Camilo Bedoya. (2005). Propuesta de un sistema para la reutilización del agua proveniente de las últimas etapas del lavado industrial de textiles hoteleros y hospitalarios.
- Winterbone, D., & Turan, A. (2015). *Advanced thermodynamics for engineers*. Butterworth-Heinemann.
- Yee-Batista, C. (2013). Rios de Latinoamérica Contaminado. Disponible: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>
- Yen, H. Y. (2016). Energy consumption of treating textile wastewater for in-factory reuse by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV process. *Desalination and Water Treatment*, 57(23), 10537–10545.
- Yu, L., Mehrabani-Zeinabad, M., Achari, G., & Langford, C. H. (2016). Application of UV based advanced oxidation to treat sulfolane in an aqueous medium. *Chemosphere*, 160, 155–161.
- Zhang, X., Dong, W., Sun, F., Yang, W., & Dong, J. (2014). Degradation efficiency and mechanism of azo dye RR2 by a novel ozone aerated internal micro-electrolysis filter. *Journal of Hazardous Materials*, 276, 77–87.
- Zuorro, A., & Lavecchia, R. (2014). Evaluation of UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> advanced oxidation process (AOP) for the degradation of diazo dye Reactive Green 19 in aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*, 52(7–9), 1571–1577.

**IX. Anexos**

FOTO N°1 Tablero de control del Sistema de tratamiento POA

FOTO N° 2 Tanque de almacenamiento del Sistema de tratamiento POA

FOTO N°3 Tanque de Peróxido de Hidrogeno del Sistema de tratamiento POA

FOTO N°4 Análisis de las aguas residuales textiles

FOTO N°5 Sistema Ozonificador

FOTO N°6 Equipo de inyección de Peróxido de hidrogeno

FOTO N°7 Equipo lámpara UV.

FOTO N°8 Almacén de agua residual de industria textil real

FOTO N°9 Control del flujo del agua residual

FOTO N°10 Elaboración de agua residual sintética

INFORMES DE ENSAYO DE LABORATORIO

FICHA TÉCNICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO POA



Foto 1. Tablero de control del Sistema de tratamiento POA



Foto 2. Tanque de almacenamiento del Sistema de tratamiento POA



Foto 3 Tanque de Peróxido de Hidrogeno del Sistema de tratamiento POA



Foto 4. Análisis de las aguas residuales textiles



Foto 5 sistema Ozonificador



Foto 6 Equipo de inyección de Peróxido de hidrogeno



Foto 7 Equipo lámpara UV



Foto 8. Almacén de agua residual de industria textil real



Foto 9. Control del flujo del agua residual



Foto 10. Elaboración Agua residual textil Sintética

## INFORMES DE ENSAYO DE LABORATORIO



**INSPECTORATE**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 1 / 3

### INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 80649L/18-MA

CLIENTE	: DIAZ CORDOVA ZOILA MARGARITA
DIRECCIÓN	CALLE LAS CUCARDAS MZ B1 LOTE 14- SMP Lima
PRODUCTO	: Agua residual
MATRIZ	: Agua residual industrial
NÚMERO DE MUESTRAS	: 2
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS	: Frascos de plástico
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS	: Muestras enviadas por el cliente
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: No Aplica
FECHA DE MUESTREO	: 2018-08-10
LUGAR DE MUESTREO	: Bellavista - Callao - Lima
REFERENCIA DEL CLIENTE	: Tratamiento Oxidación Avanzada O3 / UV / H2O2
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS	: 2018-08-11
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO	: 2018-08-11
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO	: 2018-08-18
ORDEN DE SERVICIO	: OS/L-18-08065

**Callao, 22 de Agosto de 2018**

Inspectorate Services Perú S.A.C.  
A Bureau Veritas Group Company

\_\_\_\_\_  
ING. ALEXA G. LOPE SALAZAR  
C.L.P. 190287  
SUPERVISOR DE LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada  
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.  
<"valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.  
>"valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.  
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.  
Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax : (511) 628-9016  
www.inspectorate.com.pe



INSPECTORATE

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N°LE - 031

Pág. 2 / 3

## INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 80649L/18-MA

### RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	POAS-S2			
Fecha de Muestreo	2018-08-10			
Hora de Muestreo	14:41			
Código de Laboratorio	08846			
	00001			
Matriz	ARI			
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0	90.2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0	18 245.3

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

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.

<"valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.

>"valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.

A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.

Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax : (511) 628-9016  
www.inspectorate.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N°LE - 031

INSPECTORATE

Pág. 3 / 3

## INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 80649L/18-MA

### MÉTODOS DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand. Closed Reflux, Titrimetric Method.

### MATRICES

MATRIZ	DESCRIPCIÓN
ARI	Agua residual industrial

### NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en cooler, con refrigerante y preservadas.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada  
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.  
<"valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.  
>"valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.  
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.  
Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax : (511) 628-9016  
www.inspectorate.com.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

INSPECTORATE

Pág. 2 / 3

## INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 80649L/18-MA

### RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	POAS-S2			
Fecha de Muestreo	2018-08-10			
Hora de Muestreo	14:41			
Código de Laboratorio	08846			
Matriz	00001			
	ARI			
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	90.2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O2	2.0	1.0	18 245.3

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada

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.

<"valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.

>"valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.

A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.

Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

## FICHA TÉCNICA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO POA

# Ficha Técnica



**QUÍMICOS GOICOCHEA S.A.C.**  
PRODUCTOS QUÍMICOS

## PEROXIDO DE HIDROGENO AL 50%

**Sinónimos:** Agua oxigenada, Dioxidano, Dióxido de hidrogeno.

**Fórmula Molecular:** H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

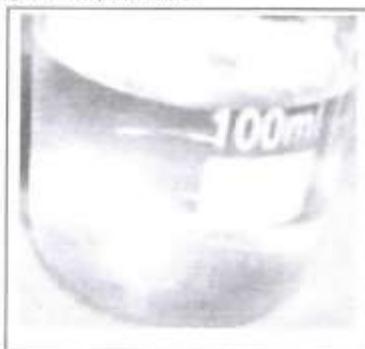
**Masa Molecular:** 34 gr/mol

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

**Procedencia:** Corea del Sur.

**Vida Útil:** 1 año a partir de la fecha de producción.

**Apariencia:** Líquido incoloro.



**Presentación:** Bidón x 30kg.



### INFORMACIÓN TÉCNICA

#### Composición:

Parámetros	Especificación
Pureza	50.0 % min.
Acido Libre(% como H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	< 0.03 %
Residuo (%)	< 0.05 %
pH aparente	1.0 – 2.0
Estabilidad(% 24 hr a 100 °C)	97 % min.

#### USOS

Utilizado para la oxidación de minerales sulfurados, para posteriormente ser lixiviados.

Se usa en el blanqueo de la pulpa de papel, de algodón, de telas como un sustituto del hipoclorito, en la potabilización del agua para oxidación de la materia orgánica y en el proceso de elaboración de aceites vegetales y fármacos. Ayuda a eliminar productos como los cloruros, sulfuros, fenoles, encontrados en aguas residuales. Útil en el procesamiento de alimentos para desinfección de los empaques como de las maquinarias utilizadas.

#### ALMACENAMIENTO Y CONSERVACIÓN

Almacene en un lugar fresco, bien ventilado, seco, y alejado de ácidos, bases, metales, sales de metales, agentes reductores, materiales orgánicos y sustancias inflamables. Mantenga el peróxido de hidrogeno en su contenedor original tanto como sea posible, este nunca debe ser retornado a su envase o tanque original una vez que ha sido removido.

#### INFORMACIÓN ADICIONAL

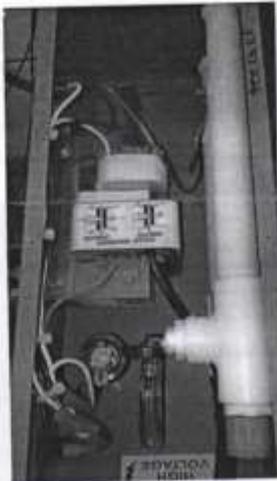
Estable bajo condiciones normales de uso con liberación lenta de oxígeno gaseoso. Favorece la combustión con otras sustancias, ya que causa reacciones violentas o explosivas. Altamente corrosivo y oxidante. Se descompone rápidamente con liberación de oxígeno si se contamina con traza metálicas, sustancias orgánicas y reductoras.

**Medidas contra incendios:** Utilizar solamente agua, no utilizar espuma, producto químico seco, dióxido de carbono o polvo.

Más información: [www.quimicosgoicochea.com](http://www.quimicosgoicochea.com). E-mail: [agventas@quimicosgoicochea.com](mailto:agventas@quimicosgoicochea.com)

Oficina Principal: Av. Néstor Gambetta 150 - CALLAO Telf.:  
818-4400 Fax: 818-4401  
RPM: 9525791 RPC: 986691242 NEXTEL: 101\*4338

Suzurnal: Piña, Morelos Mz. C LL 6-7 Urb. María Isabel  
AREQUIPA - PERU Telf.: (054) 213-573 Fax: (054) 202-703 RPM:  
9518422 RPC: 972730333 NEXTEL: 144\*1603



### 3. CONCLUSION:

- El corto ha producido un fallo general dañando irreversiblemente el equipo, principalmente el Reactor (Corona), el regulador y el transformador de voltaje.
- Sugerimos un cambio general, ya que para la reparación se deberán cambiar los componentes antes mencionados y el tiempo de importación puede ser de 2 meses en promedio.
- De todas formas, se está adjuntado la lista de partes del equipo.

**MIGUEL A. UBILLUS BORJA**  
Ingeniero Químico CIP: 131908  
Gerente General  
Telf. 991 145 596  
Jr. Chimbote 141 San Felipe - Comas  
E-mail: [mubillus@bluegold-ind.com](mailto:mubillus@bluegold-ind.com)  
[www.bluegold-ind.com](http://www.bluegold-ind.com)

INFORME TECNICO 209 INSPECCION EQUIPO DE OZONO

ATENCIÓN : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
TRABAJO : INSPECCION EQUIPO DE OZONO  
FECHA : 16/02/2018  
TECNICO : CRISTIAN CUNGUARACHI

**1. ANTECEDENTES**

Se nos informó que el equipo de Ozono provisto por la empresa Aquasur en el 2013 no esta operativo y que no ha generado ozono desde hace años y desean rehabilitarlo. El modelo del Equipo es el OZ2PCS- Ozotech

**2. TRABAJOS REALIZADOS**

Se realizó la visita de la inspección del equipo de oxidación avanzada del área de laboratorio de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, en compañía de la Ing. Zoila Diaz.

Al poner en funcionamiento dicho sistema se pudo observar que el equipo de Ozono no generaba gas, efectuándose la revisión de todos los componentes de este.

Se procedió a retirar la tapa posterior del equipo y revisar sus componentes internos, observándose que 2 de los cables que conectan a los Reactores (Tubos de acero) se hallaban sueltos y que al unirse habia generado un corto circuito quemando los terminales.

De igual manera el cable que conecta con el regulador se encuentra quemado debido a la descarga eléctrica.



<b>PCS Generator Series</b>	
<b>OZ1PCS</b>	<b>OZ2PCS</b>

**Features:**

- Patented "Cold Spark" corona discharge
- Safety interlock switch
- Field serviceable corona cells
- **Lifetime C/D cell warranty**
- CSA/US certified for consumer safety
- Wall mountable
- Lightweight aluminum chassis

**Benefits:**

- Compact size
- High reliability
- Lightweight and corrosion resistant
- Simple and reliable operation
- Easy to service

Part #	Model #
30010	OZ1PCS
30010-01	OZ1PCS-F
30010-02	OZ1PCS-A
30010-09	OZ1PCS-V
30010-12	OZ1PCS-SW
30010-10	OZ1PCS-V/SW
30010-21	OZ1PCS-F/V/SW
30001	OZ2PCS
30001-01	OZ2PCS-F
30001-03	OZ2PCS-A
30001-10	OZ2PCS-V
30001-11	OZ2PCS-SW
30001-12	OZ2PCS-V/SW
30001-17	OZ2PCS-F/V/SW

**Shipping & Lead Time**

**Dimensions:** D 4.5" x H 17" x W 6.25"  
**Shipping Weight:** 11 lbs  
**Max. Lead Time:** 7 Days  
 (This is a normally stocked item)

The OZ1PCS and OZ2PCS are economical ozone generators able to incorporate patented "cold spark" corona discharge technology with low price and high quality. Applications include residential water treatment, sanitation loops, gray water treatment and ozone pilot studies.

Replacement parts are listed in the operation and maintenance manuals supplied with equipment. Ozotech, Inc. generators should be accompanied by air preparation.

Model	Conc. %	Air Flow (SCFH)	O <sup>2</sup> Flow (SCFH)	PP Phoenix (SCFH)	G/Hr.
OZ1PCS	.11	—	—	4	.17
OZ1PCS	.04	10	—	—	.15
OZ2PCS	.20	—	—	6	.45
OZ2PCS	.07	10	—	—	.26

CONCENTRATIONS UP TO 2.5% BY WEIGHT — DEDUCT 18% OUTPUT FOR 50 HZ MODELS

## Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES E INDICADORES		
¿En qué medida el tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos de oxidación avanzada (O <sub>3</sub> /UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) influye para su vertimiento en la red de alcantarillado?	Determinar en qué medida el tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos de oxidación avanzada (O <sub>3</sub> /UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) influyen para su vertimiento en la red de alcantarillado	El tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos de oxidación avanzada (O <sub>3</sub> /UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) tienen una alta influencia para su vertimiento en la red de alcantarillado	V1: (Independiente) Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos de oxidación avanzada (O <sub>3</sub> /UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )		
			<u>Definición Conceptual</u>		
			Procesos que implican la formación de radical hidroxilo capaz de oxidar compuestos orgánicos.		
			DIMENSIONES	INDICADORES	Und.
			D.1 Condiciones de operación	Potencial de hidrógeno pH	Unid.
				Tiempo de exposición a UV	min
				Concentración de ozono	%
				Concentración de Peróxido de Hidrógeno	%
			V2: (Dependiente) Vertimiento en la red de alcantarillado		
			<u>Definición Conceptual</u>		
			Concentración o grado de elemento, sustancia o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o emisión tratada que permita su disposición en el sistema de la red de alcantarillado cumpliendo la normativa vigente.		
			D.1 Características fisicoquímicas del agua residual real	pH	Und. pH
				Variación de la conductividad eléctrica	uS/cm
				Variación de la demanda Química de Oxígeno	mg/L
			D.2 Cinética de reducción del agua residual sintética	Variación de la demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L
				Velocidad de oxidación del DBO <sub>5</sub>	m <sup>-1</sup>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICO			
P.1 ¿Cuáles son las condiciones de operación del sistema de tratamiento mediante la combinación de un proceso integrado formado por una etapa de ozonización seguida de otra etapa de Oxidación Ultravioleta y Peroxidación?	O.1 Determinar, las condiciones de operación del sistema de tratamiento mediante la combinación de un proceso integrado formado por una etapa de ozonización seguida de otra etapa de Oxidación Ultravioleta y Peroxidación	H.1 Las condiciones de operación del sistema de tratamiento mediante la combinación de un proceso integrado formado por una etapa de ozonización seguida de otra etapa de Oxidación Ultravioleta y Peroxidación tiene una alta influencia para el vertimiento en la red de alcantarillado.			
P.2 ¿Cómo es la cinética de oxidación de materia orgánica (DBO <sub>5</sub> ) en las mejores condiciones de operación del sistema?	O.2 Cuantificar, la cinética de oxidación de materia orgánica (DBO <sub>5</sub> ) en las mejores condiciones de operación del sistema.	H.2.La cinética de oxidación de materia orgánica (DBO <sub>5</sub> ) es alta cuando se da las mejores condiciones de operación del sistema.			
P.3 ¿Cuáles serán las características de las aguas residuales textiles tratadas por proceso de oxidación avanzada (O <sub>3</sub> /UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) para el vertimiento en la red de alcantarillado?	O.3 Caracterizar, las aguas residuales textiles tratadas por proceso de oxidación avanzada (O <sub>3</sub> /UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) para el vertimiento en la red de alcantarillado.	H.3 Las aguas residuales textiles tratadas por proceso de oxidación avanzada (O <sub>3</sub> /UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) cumplen la normativa ambiental vigente para su vertimiento en la red de alcantarillado.			

