



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA FÁBRICA  
TEXTIL POR OXIDACIÓN AVANZADA (FENTON), LIMA-PERÚ”**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

Presentado por:

Alvaro Rodolfo Bernardo Ortiz (0000-0003-4773-4848)

Asesor:

Olga Vadimovna Kostenko De Caparo (0000-0001-8895-8982)

Lima – Perú

2021

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 27 de junio del 2022.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. Ing. Llerme Navarro Vásquez
Miembro: Mg. Ing. Keyla Esther Quispe Basualdo
Miembro: Mg. Blga. Catherine Mariela Coronado León

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

**"TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA FÁBRICA TEXTIL POR OXIDACIÓN AVANZADA (FENTON), LIMA-PERÚ"**

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Alvaro Rodolfo Bernardo Ortiz**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Mg. Olga Vadimovna Kostenko

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesisista: Alvaro Rodolfo Bernardo Ortiz		Nota (en letras): 16 (Dieciséis)	
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (X )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



**Dra. Ing. Llerme Navarro Vásquez**  
Presidente



Firmado digitalmente por:  
QUISPE BASUALDO Keyla  
Esther FIR 40715063 hard  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 28/06/2022 12:22:28-6500

**Mg. Ing. Keyla Esther Quispe Basualdo**  
Miembro 1



**Mg. Blga. Catherine Mariela Coronado León**  
Miembro 2



**Mg. Olga Vadimovna Kostenko**  
Asesor

T // (51) 610 6738  
informes@cientifica.edu.pe  
cientifica.edu.pe

**Dedicatoria:**

A mi abuelo Hugo, por enseñarme todos los valores necesarios para ser un gran ser humano y nunca dejar de luchar por mis sueños. Un abrazo hasta el cielo Kalafato.

**Agradecimientos:**

A mis padres, Florencio y Tatiana, por estar conmigo en buenas y malas, por sus consejos y por depositar su confianza en mi.

A mi asesora, Olga V. Kostenko, por su apoyo en todo momento para la realización de mi trabajo de investigación y compartirme sus conocimientos.

Al señor Milton, por aceptar llevar a cabo mi investigación en su empresa y brindarme su apoyo.

A Arleth, por apoyarme en todo momento y darnos la mano en buenas y malas.

A mis amigos, por su granito de arena en mi investigación y por su apoyo.

Al señor Olivares y al señor Franco, ambos por apoyarme en la recolección y transporte de mis muestras.

## Índice General

<b>I.</b>	Dedicatoria.....	3
<b>II.</b>	Agradecimientos.....	4
<b>III.</b>	Índice de Figuras.....	7
<b>IV.</b>	Índice de Tablas.....	8
<b>V.</b>	RESUMEN.....	9
<b>VI.</b>	ABSTRACT.....	10
<b>VII.</b>	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
<b>VIII.</b>	MARCO TEÓRICO.....	15
	8.1 La industria textil peruana.....	15
	8.2 Aguas Residuales.....	17
	8.2.1 Aguas Residuales Textiles.....	17
	8.3 Tratamientos de aguas residuales textiles.....	19
	8.4 Procesos de Oxidación Avanzada.....	20
	8.4.1 Proceso Foto-Fenton.....	21
	8.4.2 Proceso de fotocatalisis.....	22
	8.4.3 Proceso Fenton.....	23
	8.5 Casos de tratamiento de oxidación avanzada en Perú.....	24
<b>IX.</b>	OBJETIVOS Y/O HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
	9.1 Objetivo general.....	27
	9.2 Objetivos específicos.....	27

<b>X.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>27</b>
10.1	Área de estudio.....	27
10.2	Diseño de investigación.....	28
10.2.1	Recolección de las muestras en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).....	28
10.2.2	Preparación de las muestras recolectadas.....	31
10.2.3	Análisis exploratorio de datos para la dosificación de Fenton.....	32
10.3	Métodos para determinar los parámetros físico-químicos.....	35
10.4	Análisis estadístico.....	36
<b>XI.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
<b>XII.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>46</b>
<b>XIII.</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>49</b>
<b>XIV.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>XV.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>51</b>
<b>XVI.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>60</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 <i>Variación de las exportaciones textiles del 2010 al 2021</i> .....	17
Figura 2 <i>Principales destinos de exportación del periodo 2021</i> .....	17
Figura 3 <i>Proceso productivo textil</i> .....	19
Figura 4 <i>Planta de tratamiento de aguas residuales de origen textil</i> .....	20
Figura 5 <i>Esquema de un sistema foto-Fenton</i> .....	22
Figura 6 <i>Esquema de un sistema de fotocátalisis</i> .....	23
Figura 7 <i>Esquema de un sistema Fenton</i> .....	24
Figura 8 <i>Tanque de enfriamiento en la fábrica textil</i> .....	28
Figura 9 <i>Actividades realizadas en las 4 semanas</i> .....	29
Figura 10 <i>Recolección del agua residual</i> .....	30
Figura 11 <i>Llenado de botellas con agua residual</i> .....	30
Figura 12 <i>Recolección de botellas para su transporte al laboratorio</i> .....	31
Figura 13 <i>Diseño experimental de la prueba de jarras</i> .....	34
Figura 14 <i>Reducción de Sólidos Totales según las pruebas</i> .....	38
Figura 15 <i>Reducción de Turbidez según las pruebas</i> .....	39
Figura 16 <i>Reducción de DQO según las pruebas</i> .....	40
Figura 17 <i>Reducción de Sólidos Totales según repeticiones</i> .....	43
Figura 18 <i>Reducción de Turbidez según las repeticiones</i> .....	44
Figura 19 <i>Reducción de DQO según las repeticiones</i> .....	45

**Índice de Tablas**

Tabla 1 <i>Primer análisis exploratorio de Fenton</i> .....	32
Tabla 2 <i>Segundo análisis exploratorio de Fenton</i> .....	33
Tabla 3 <i>Tercer análisis exploratorio de Fenton</i> .....	34
Tabla 4 <i>Parámetros físico-químicos analizados</i> .....	37
Tabla 5 <i>Reducción de la Conductividad Eléctrica según las pruebas</i> .....	38
Tabla 6 <i>Comparación de parámetros de las pruebas con los VMA</i> .....	41
Tabla 7 <i>Parámetros físico-químicos analizados (3ra semana)</i> .....	42
Tabla 8 <i>Reducción de la Conductividad Eléctrica según las repeticiones</i> .....	43
Tabla 9 <i>Comparación de parámetros de las repeticiones con los VMA</i> .....	45



## RESUMEN

La industria textil genera diversos impactos a los ecosistemas marinos debido a sus efluentes sin tratamiento que superan los Límites Máximos Permisibles, en consecuencia, afectan negativamente a la fauna y flora acuática. En este contexto, la presente investigación busca solucionar esta problemática utilizando el reactivo Fenton, tratamiento el cual forma parte de los procesos de oxidación avanzada, con muestras de agua residuales provenientes de una fábrica textil la cual utiliza diversos tipos de colorantes. Se realizaron tres pruebas (P1, P2, P3) con diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) (los cuales forman el reactivo Fenton) para determinar cuál de las pruebas generaba una mayor reducción de los parámetros físico-químicos: sólidos totales (ST), conductividad eléctrica (CE), turbidez y demanda química de oxígeno (DQO) presentes en las aguas residuales. Luego de ello, se escogió la prueba 2 (P2) debido a que produjo una mayor reducción de los mencionados parámetros. Se realizó una repetición de la P2 para determinar la dosificación idónea para ser utilizada en la fábrica textil, lo que permitió obtener que la dosificación idónea era de 0.92 mL de  $H_2O_2$  y 400 mg de  $Fe^{2+}$ , debido a que se obtuvieron valores de reducción de los parámetros del 68.8%, 99.97%, 96.8% y 82.5% para los ST, CE, turbidez y DQO respectivamente. Se concluyó que el reactivo Fenton es beneficioso para la fábrica textil, puesto que genera una reducción de los parámetros y permite que no superen los Valores Máximos Admisibles (VMA), los cuales permiten que los efluentes vertidos al sistema de alcantarillado no generen ningún tipo de impacto en los ecosistemas acuáticos.

**Palabras clave:** parámetros físico-químicos, colorantes, efluentes, peróxido de Hidrógeno, sulfato ferroso.

## ABSTRACT

The textile industry generates various impacts on marine ecosystems due to its untreated effluents or those that exceed Environmental Quality Standards or Maximum Permissible Limits, consequently negatively affecting aquatic fauna and flora. In this context, the present investigation seeks to solve this problem using the Fenton reagent, a treatment which is part of the advanced oxidation processes, with wastewater samples from a textile factory which uses various types of dyes. Three tests (P1, P2, P3) were carried out with different concentrations of hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) and ferrous sulfate ( $FeSO_4$ ) (which form the Fenton reagent) to determine which of the tests generated a greater reduction in the physicochemical parameters: total solids (TS), electrical conductivity (EC), turbidity and chemical oxygen demand (COD) present in the wastewater. After that, test 2 (P2) was chosen because it produced a greater reduction of the mentioned parameters. A repetition of the P2 was carried out to determine the ideal dosage to be used in the textile factory, which allowed obtaining that the ideal dosage was 0.92 mL of  $H_2O_2$  and 400 mg of  $Fe^{2+}$ , due to the fact that reduction values of the parameters of 68.8%, 99.97%, 96.8% and 82.5% for TS, EC, turbidity and COD, respectively. It was concluded that the Fenton reagent is beneficial for the textile factory, since it generates a reduction in the parameters and allows them not to exceed the Maximum Admissible Values (MAV), which allow the effluents discharged into the sewage system not to generate any type of impact on aquatic ecosystems.

**Keywords: physical-chemical parameters, colorants, effluents, hydrogen peroxide, ferrous sulfate.**

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria textil genera diversos impactos al medio ambiente debido a sus efluentes, alterando las propiedades del agua, debido a que estos efluentes en su gran mayoría contienen colorantes los cuales presentan una alta resistencia a la degradación por microbios, además de contener los siguientes metales: mercurio, cobre, cromo, azufre, cianuro, cadmio, níquel, arsénico, plata, titanio, estaño, plomo y zinc; en el proceso de teñido se observa la presencia de estos metales (Cortazar *et al.*, 2010). Estos efluentes textiles pueden ocasionar problemas a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), en específico a su sistema de recolección, esto debido a la presencia de compuestos como el cianuro y azufre en los efluentes (Gardiner & Borne, 1978). Otro problema es la dificultad para el tratamiento biológico porque los surfactantes de los efluentes alteran la absorción del oxígeno del aire y ocasionan desperfectos en los digestores, teniendo como consecuencia un impacto económico negativo al tratamiento (CEPIS, 1994), por otro lado, si los efluentes sin previo tratamiento son descargados, generan la formación de espumas en la superficie del cuerpo de agua y la coloración de esta misma, todo esto originado por los surfactantes y tintes (CEPIS, 1994).

La presencia de contaminación se puede detectar mediante la tinción de estas aguas, por el efecto de los colorantes porque brindan una coloración al agua dependiendo del tipo de este insumo, este proceso puede observarse en la mayoría de fábricas textiles debido a que en su mayoría utilizan estos colorantes para llevar a cabo sus procesos (López *et al.*, 2007), justamente en estos mismos procesos se evidencia una elevada carga orgánica media y una elevada carga contaminante (López & Crespi, 2015), las cuales son características típicas de

las aguas residuales textiles. La resistencia de los colorantes a diversos factores como los jabones, la luz o lejía es otro factor que lo hace contaminante al medio acuático (López *et al.*, 2007). Por último, estos colorantes generan impactos en la salud humana, dependiendo del tiempo de exposición y modo, generando enfermedades como sensibilización respiratoria, cáncer y dermatitis (López *et al.*, 2007).

Estas aguas residuales textiles ocasionan impactos negativos al medio acuático, esto debido a su alta demanda química de oxígeno (DQO), metales, presentar altos niveles de temperatura, contenido de colorantes, sólidos en suspensión y pH muy variado (Salas, 2010). La descarga de grandes cantidades de compuestos biodegradables ocasiona la reducción del oxígeno disuelto (OD) presente en el medio, afectando de manera directa la flora y fauna acuática generando mayor susceptibilidad a los efectos de otros contaminantes presentes (CEPIS, 1994). El origen de todo esto es porque los efluentes de los diferentes procesos son mezclados y tratados en conjunto, obteniendo una combinación múltiple, debido al tratamiento de todo tipo de fibras, así como a las distintas técnicas utilizadas en los procesos y la diversidad de productos auxiliares y químicos utilizados (AITEEX, 2005).

Para el tratamiento de estos efluentes se utilizan generalmente métodos convencionales (cloración, biológicos, floculación-precipitación), los cuales no logran eliminar por completo a los contaminantes debido a la tecnología utilizada en el tratamiento o a la toxicidad del contaminante (Sanz *et al.*, 2012). Son por estos motivos que se utilizan los procesos de oxidación avanzada (POA), estos forman radicales hidroxilos ( $\text{OH}\cdot$ ) debido a su capacidad de oxidar compuestos orgánicos con potencial de oxidación mayor en comparación a los oxidantes

tradicionales (AINIA, 2011), debido a esto se logra la reducción de la toxicidad en las aguas residuales tratadas, DQO y carbono orgánico total (COT) (IQDInvesquia, 2015). Entre las principales ventajas que poseen estos procesos está la reducción completa de contaminantes refractarios, gracias al tratamiento de los contaminantes con poca concentración de los POA y en general no generan lodos los cuales deban ser tratados para su reutilización (AINIA, 2011).

La reducción de la concentración de algunos contaminantes orgánicos mediante los POA, los cuales tienen como objetivo reducir la concentración de los contaminantes tóxicos hasta que sean degradables o sean reducidos por completo (Terán, 2016), se logró la eliminación de contaminantes como pesticidas, detergentes o tintes con oxidación avanzada (Sanz *et al.*, 2012). Los POA también pueden reducir los colorantes agregando en su metodología rayos de luz ultravioleta (Arroyave *et al.*, 2009), porque estos procesos remueven de manera muy rápida el intenso color de los efluentes textiles (Mansilla *et al.*, 2001; Hernández *et al.*, 2011). También se puede realizar tratamientos electroquímicos para la decoloración de tintes (Gutiérrez *et al.*, 2009), este proceso no genera lodos o la necesidad de eliminarlos (Barrera-Díaz *et al.*, 2014). Pero varios autores señalan que el mejor proceso de oxidación avanzada es el que utiliza el reactivo Fenton (Garcés y Hernández, 2012; Gárces *et al.*, 2004).

Esta investigación llevará a cabo el proceso Fenton, el cual genera radicales hidroxilos debido a la combinación de una sal de hierro (II) y peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), también realiza la reducción de la concentración de DQO cuando se tratan las aguas residuales de fábricas textiles (Blanco, 2009). Como ventajas se tiene la capacidad de reducir altas cargas contaminadas y el

potencial de reaccionar en una variedad de contaminantes debido a su habilidad no-selectiva de los radicales hidroxilos (Sanz, 2011).

La eficiencia del proceso Fenton ha sido demostrada en la destrucción de compuestos recalcitrantes (Gárces *et al.*, 2004) y la mineralización de los colorantes (Garcés *et al.*, 2005) cuando se utiliza rayos ultravioletas, reduciendo el 77% de la decoloración del tinte presente en los efluentes de origen textil y de 65.5% en la DQO (Castro & Durán, 2013). La eficiencia de este proceso es también determinada por la cantidad de  $H_2O_2$  a utilizar, porque a menor concentración de  $H_2O_2$  mayor la decoloración del colorante (Tinoco *et al.*, 2011), así como el control del pH y la temperatura del medio en que se realice este proceso (Delgado & Santander, 2017). En otros estudios se realizó la decoloración completa del colorante (Gamarra, 2012), así como una mayor eliminación del colorante naranja ácido 24 (Bandala *et al.*, 2002), brindando el reusó de estas aguas tratadas por este proceso (Pey, 2008).

La investigación tiene como objetivo determinar la eficiencia de la oxidación avanzada en su particularidad el proceso Fenton, para el tratamiento de aguas residuales de origen textil, debido a que el tratamiento de estas aguas residuales para su descarga es un desafío para las empresas. La implementación de este método permitirá que los efluentes tratados cumplan con los límites máximos permisibles (LMP); los valores máximos admisibles (VMA) y su descarga no afectará la calidad del medio ambiente ni la salud de las poblaciones.

## II. MARCO TEÓRICO:

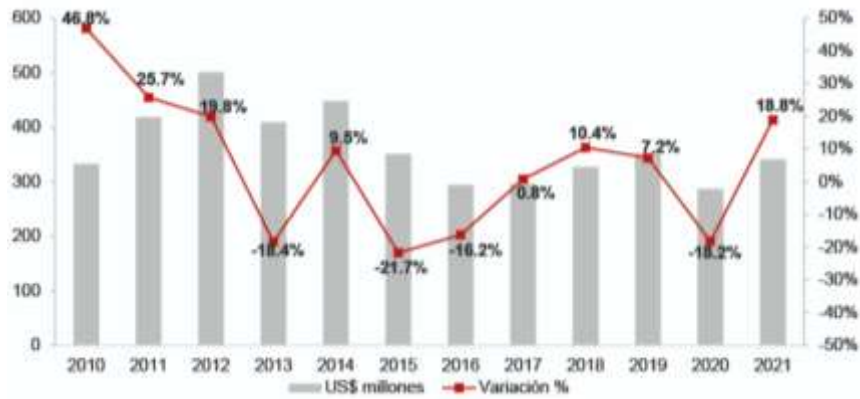
### 1. La industria textil peruana

La industria textil peruana ha evidenciado un crecimiento óptimo en los últimos años debido a que han tenido un proceso de modernización, a su vez, se encuentra representada como una de las actividades no extractivas principales de todo el Perú, logrando un alcance del 1.3% del PBI nacional (PRODUCE, 2015), permitiendo aumentar el nivel de producción (Pérez et al., 2010) el cual conlleva al incremento en los efluentes que vierten. Esta industria utiliza grandes cantidades de agua, aproximadamente 600 L por cada kg de textiles (Xicota, E., 2018), debido a que la mayor parte del proceso productivo requiere un ambiente húmedo (Salas, 2003), energía y productos químicos, generando con esto grandes cantidades de agua residuales, las cuales poseen elevadas concentraciones de colorantes (Gamarra, 2012). Existen dos tipos de efluentes en una fábrica textil, los domésticos e industriales, siendo estos últimos el 99% del volumen total del efluente vertido (Salas, 2003), lo que requiere tratamiento en la fábrica textil.

En la Figura 1 y 2 podemos observar la variación de las exportaciones textiles desde el año 2010 hasta el año 2021 en el periodo de enero a marzo, así como también los principales destinos de exportación textil del año 2021 respectivamente:

**Figura 1**

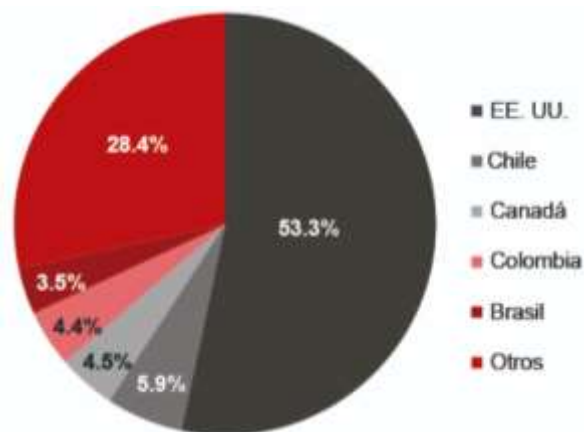
*Variación de las exportaciones textiles del 2010 al 2021*



*Nota.* Adaptada de Evolución de las exportaciones textiles en el periodo enero-marzo, de ComexPerú, 2021 (<https://www.comexperu.org.pe/articulo/exportaciones-textiles-crecen-un-188-en-el-primer-trimestre-de-2021>).

**Figura 2**

*Principales destinos de exportación del periodo 2021*





*Nota.* Adaptada de Principales destinos de exportación textil enero-marzo 2021, de ComexPerú, 2021 (<https://www.comexperu.org.pe/articulo/exportaciones-textiles-crecen-un-188-en-el-primer-trimestre-de-2021>).

## **2. Aguas residuales**

Estas aguas son definidas como la composición de una o más combinaciones entre las aguas grises (aguas residuales de baño y de cocina) y los efluentes domésticos consistentes en aguas negras (lodos fecales, excretas y orina); aguas residuales de instituciones y establecimientos comerciales; efluentes industriales y efluentes agrícolas (UN-Water, 2015). Aproximadamente contienen un 99.9% de agua contaminada y el 0.1% es de materia sólida (Rojas, 2002), lo que genera toxicidad, malos olores y la presencia de microorganismos patógenos que convierten al agua como un recurso no adecuado para consumo humano (Rojas, 2002). Otra definición para aguas residuales es la alteración de las características originales de estas aguas, a causa de la actividad humana directa e indirecta y deben tener un tratamiento previo para poder ser trasvasadas a cualquier cuerpo de agua o reusadas en la misma empresa (OEFA, 2014), este tratamiento abarca una cadena de procesos físicos, biológicos y químicos cuya finalidad es remover los contaminantes del agua efluente. Las aguas residuales pueden ser clasificadas como: aguas residuales industriales (donde se encuentra la industria textil), aguas residuales domésticas y aguas residuales municipales (OEFA, 2014).

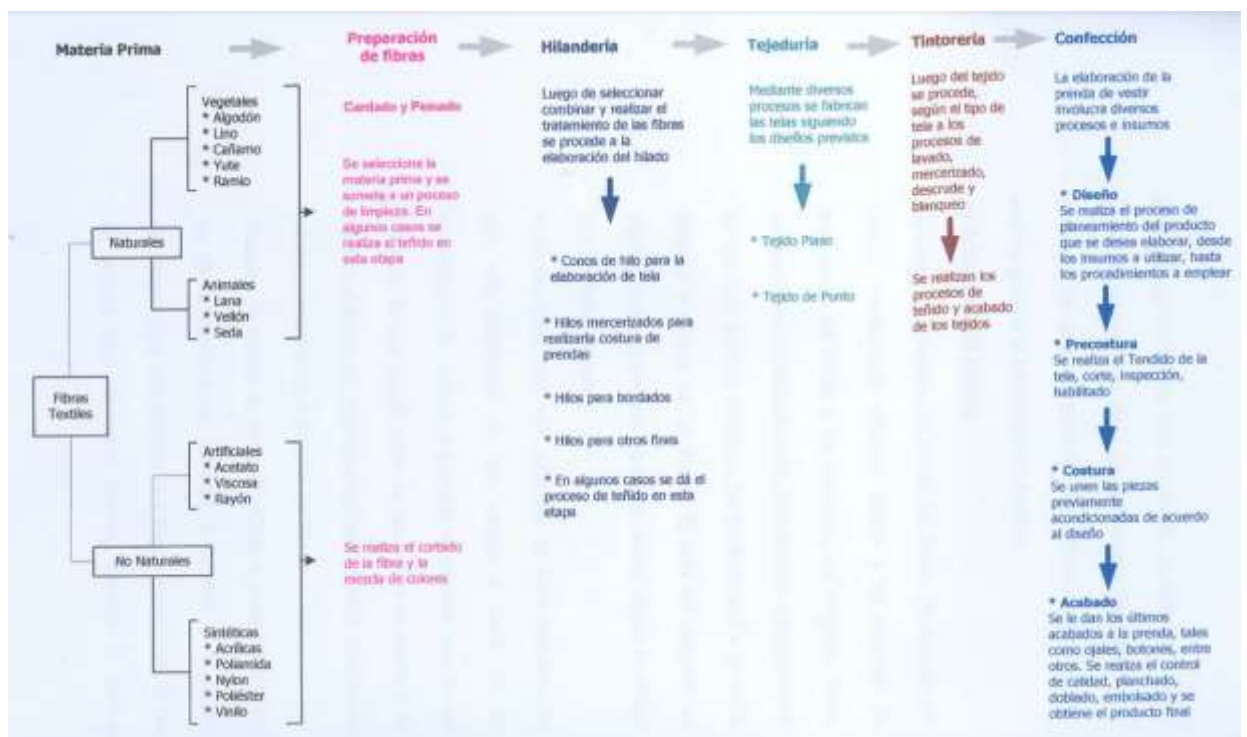
### **2.1. Aguas residuales textiles**

La industria textil utiliza una gran cantidad de agua para la elaboración de sus productos, 600 L por cada kg de textiles (Xicota, E., 2018), el agua residual generada de estos procesos está contaminada debido a la presencia de

distintos compuestos químicos empleados como colorantes (Gilpavas et al., 2018), algunos ejemplos son los colorantes ácidos y básicos, los colorantes reactivos (para fibras sintéticas) y los colorantes directos (para fibras celulósicas). En estas aguas se descargan grandes cantidades de compuestos biodegradables que ocasionan la reducción del oxígeno disuelto (OD) presente en el medio, afectando de manera directa la flora y fauna acuática generando mayor susceptibilidad a los efectos de otros contaminantes presentes (CEPIS, 1994). Los efluentes generados la industria textil son tratados en conjunto, obteniendo una compleja combinación por la mezcla del tratamiento de todo tipo de fibras (vegetales, animales, artificiales y sintéticas), distintas técnicas utilizadas para la elaboración de sus productos y todo tipo de sustancias químicas y auxiliares añadidas (AITEK, 2005), las cuales se pueden apreciar en la Figura 3.

**Figura 3**

*Proceso productivo textil*



*Nota.* El proceso nos menciona desde la recepción de la materia prima hasta la confección de la tela. Adaptada de Cuadro 1.2 PROCESO PRODUCTIVO DE TEXTIL Y CONFECCIONES, de Sánchez, Y., 2003, UNMSM.

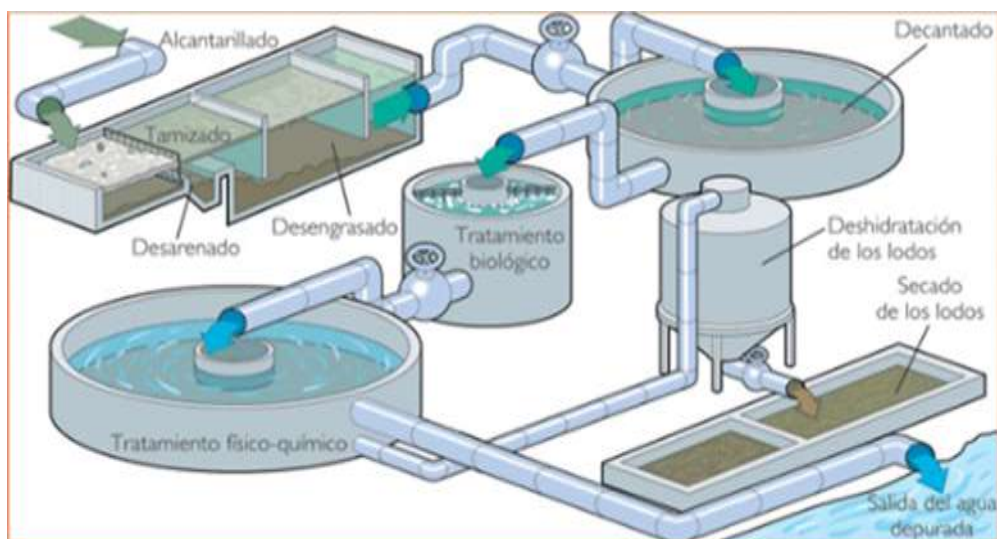
### **3. Tratamiento de aguas residuales textiles**

Este tratamiento tiene como principio convertir este recurso en un efluente que no genere impactos al medio ambiente y tener una buena distribución de los sólidos generados en todo el proceso de purificación (Rojas, 2002). Existen diversos procesos de tratamientos para tratar estas aguas residuales, que dependen de los límites de vertido para el efluente (Ramalho, 1977), entre los cuales tenemos el pretratamiento, cuya finalidad es la de eliminar del efluente todos los sólidos de tamaño grande y mediano (ITAR, 2009); seguido por el tratamiento primario, que tiene como objetivo la separación de los materiales flotantes y de los sólidos en suspensión (Ramalho, 1977). El efluente es llevado a una rejilla donde los sólidos más grandes son atrapados y, luego de esto, el efluente pasa a un sedimentador, en el cual es separado por efecto de la gravedad (ITAR, 2009). El tratamiento secundario implica la operación de procesos biológicos convencionales (Ramalho, 1977), en el que la materia orgánica es oxidada para su sedimentación (ITAR, 2009); y, por último, el tratamiento terciario, que tiene como finalidad eliminar aquellos contaminantes del tratamiento secundario que no han sido neutralizados por completo (Ramalho, 1977), además de reducir la carga microbiana del agua tratada (Belzona, 2010).

En la Figura 4 podemos observar una imagen representativa de como se realiza el tratamiento de las aguas residuales textiles.

**Figura 4**

*Planta de tratamiento de aguas residuales de origen textil*



*Nota.* Esta figura nos muestra una planta representativa para el tratamiento de aguas residuales textiles. Adaptada de Plantas tratadoras de aguas residuales, de Tito, B., 2020 (<https://ingenieriaambiental.net/plantas-tratadoras-de-aguas-residuales/>).

#### **4. Procesos de oxidación avanzada**

Los POA generan  $\text{OH}\cdot$  los cuales poseen un potencial de oxidación mayor en comparación a los oxidantes tradicionales (AINIA, 2011), logrando la disminución de la toxicidad en las aguas residuales tratadas, DQO y COT (IQDInvesquia, 2015). Estos procesos son adecuados realizar el tratamiento de efluentes con presencia de contaminantes recalcitrantes, tóxicos o materiales no-biodegradables (Lenntech, 2015). Las ventajas que más destacan son no

generar lodos que necesiten tratamiento, la eliminación de contaminantes refractarios (surfactantes, cromo y colorantes) y el tratamiento de contaminantes utilizando poca concentración de  $\text{OH}\cdot$  (AINIA, 2011; Lenntech, 2015). También realiza la reducción de la concentración de algunos contaminantes orgánicos mediante los POA, los cuales tienen como objetivo reducir la concentración de los contaminantes tóxicos hasta que sean degradables o sean reducidos por completo (Terán, 2016), mediante esta técnica se logró la eliminación de contaminantes como pesticidas, detergentes o tintes (Sanz *et al.*, 2012). Entre los más destacados se encuentran los procesos Foto-Fenton, de fotocátalisis y Fenton.

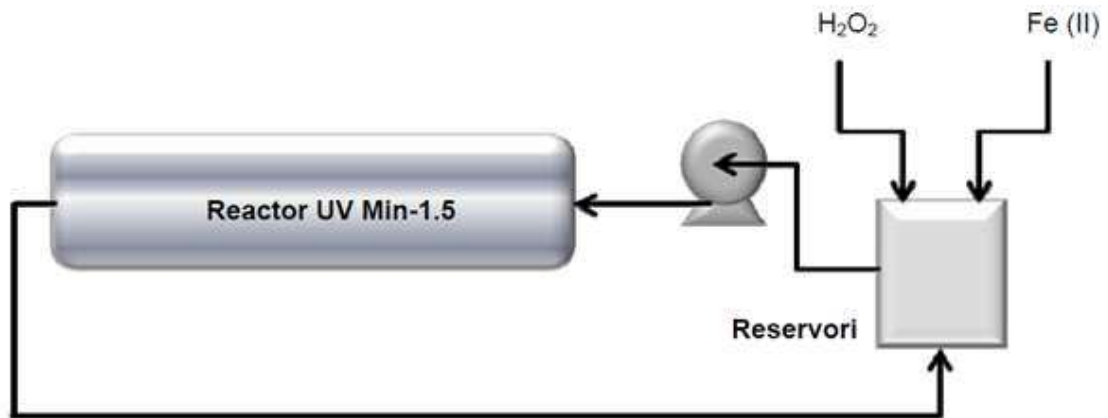
#### **4.1. Proceso Foto-Fenton**

El proceso foto-Fenton ( $\text{H}_2\text{O}_2$  en presencia de  $\text{Fe}^{2+}$ ), es una buena alternativa para el tratamiento de una mayor cantidad de contaminantes de una forma más eficiente, mejorando así la biodegradabilidad de las aguas (Vedrenne *et al.*, 2012); particularmente en las aguas residuales textiles debido a que poseen elevadas cantidades de compuestos recalcitrantes, sólidos en suspensión y tintes (Yu *et al.*, 2013). Este proceso genera la decoloración y solidificación por completo de los colorantes utilizados en la industria textil, con un tiempo de reacción corto (Lucas & Peres, 2006). Este proceso se lleva a cabo debido a que el reactivo de  $\text{Fe}^{2+}$  se oxida a ion férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) descomponiendo el  $\text{H}_2\text{O}_2$  para formar  $\text{OH}\cdot$ , al utilizar la radiación UV incrementa el poder de oxidación especialmente por la foto-reducción de  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$  lo cual genera más  $\text{OH}\cdot$  y de esta manera se obtiene un ciclo en el reactivo de Fenton el cual gracias a los  $\text{OH}\cdot$  formados realizan la oxidación de compuestos orgánicos (Hincapié-Mejía, G. *et al.*, 2011).

En la Figura 5 observamos un sistema foto-Fenton.

**Figura 5**

*Esquema de un sistema foto-Fenton*



*Nota.* Reproducida de Esquema del sistema Fotocatalítico Foto-Fenton, de Hincapié-Mejía, G. *et al.*, 2011. Información tecnológica.

**4.2. Proceso de fotocatalisis**

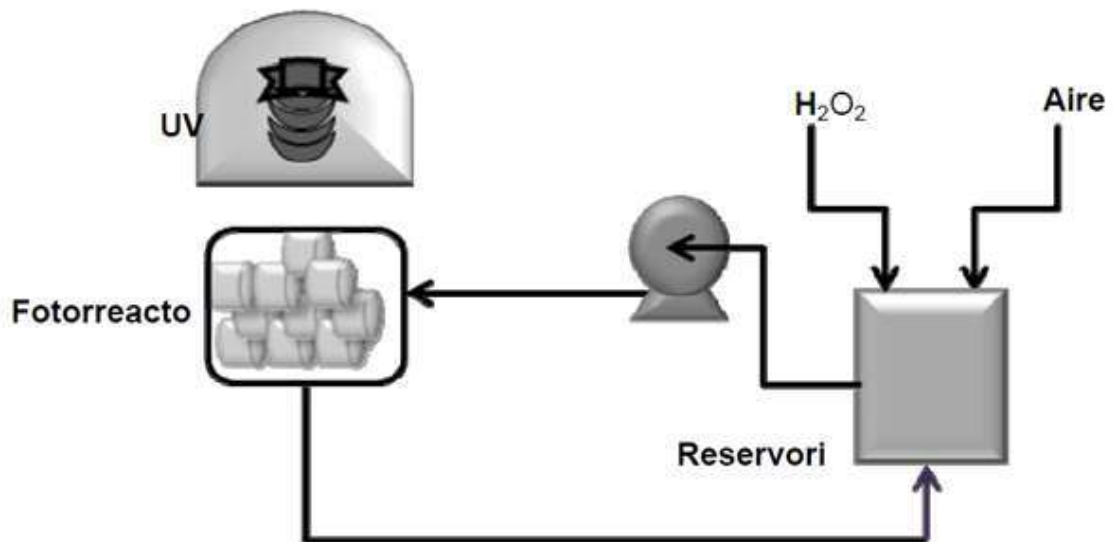
El proceso de fotocatalisis heterogénea utiliza dióxido de titanio ( $TiO_2$ ),  $H_2O_2$  y/o radiación ultravioleta (UV). Es un proceso prometedor y que su uso está en crecimiento, debido a que puede reducir y decolorar fácilmente de manera considerable la carga orgánica de las aguas residuales (Velegraki *et al.*, 2006). La utilización de  $TiO_2$  tiene una alta importancia puesto que presenta una elevada actividad fotocatalítica, estabilidad biológica y química en medios acuosos, la naturaleza químicamente inerte que tiene y la baja o ninguna toxicidad que presenta (Pekakis *et al.*, 2006). Estos procesos son ventajosos debido a su manejo en condiciones ambientales y poder utilizar la exposición solar (Pekakis *et al.*, 2006). Por otro lado, es rentable ya que el catalizador se obtiene fácilmente (Velegraki *et al.*, 2006). El principio del

proceso de fotocatalisis es la obtención de  $\text{OH}\cdot$  mediante reacciones de oxido-reducción la cual sucede en la superficie de un fotocatalizador debido a la interacción de los rayos UV con un compuesto oxidante ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Debido a esto se genera las reacciones de destrucción de los contaminantes (Hincapié-Mejía, G. *et al.*, 2011).

En la Figura 6 observamos un sistema de fotocatalisis.

**Figura 6**

*Esquema de un sistema de fotocatalisis*



*Nota.* Reproducida de Esquema del sistema de fotocatalisis heterogénea, de Hincapié-Mejía, G. *et al.*, 2011. Información tecnológica.

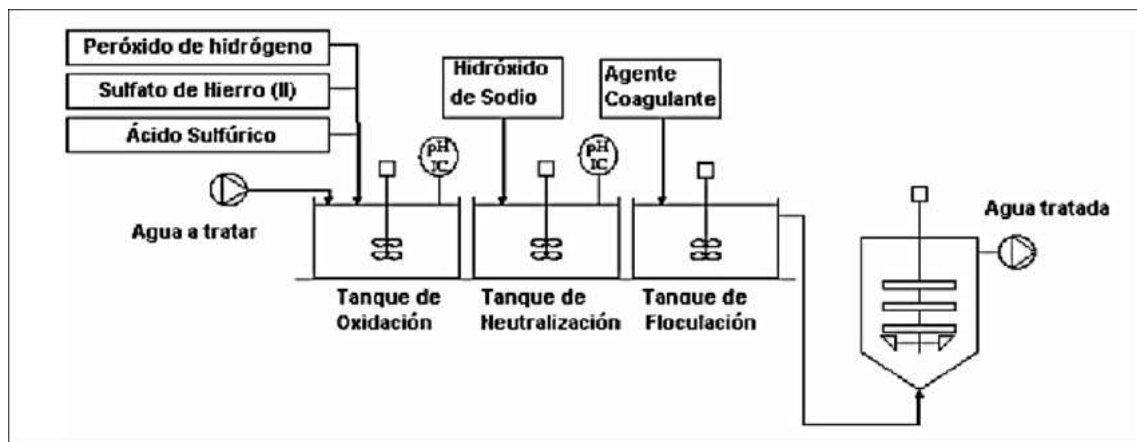
**4.3. Proceso Fenton**

Es un proceso que genera  $\text{OH}\cdot$  debido a la combinación de una sal de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$ , lo que genera una decoloración y una reducción de la DQO de las aguas residuales textiles al utilizar este proceso (Blanco, 2009). Podemos encontrar ventajas como el potencial de reaccionar sobre una variedad de contaminantes gracias a su habilidad no-selectiva de los  $\text{OH}\cdot$  y la capacidad de reducir altas cargas orgánicas (Sanz, 2011). El proceso Fenton se lleva a

cabo cuando se agrega un catalizador ( $\text{Fe}^{2+}$ ) soluble en agua y  $\text{H}_2\text{O}_2$  en un medio ácido, el responsable de llevar a cabo la oxidación es el radical  $\text{OH}\cdot$ , el cual reacciona rápidamente con muchos compuestos orgánicos de manera no selectiva gracias a su elevado potencial de oxidación (2.8 V) (Medina, C., Montero, E. y Cruz, L., 2016). En la Figura 7 observamos un sistema Fenton.

**Figura 7**

*Esquema de un sistema Fenton*



*Nota.* Reproducida de ESQUEMA DEL PROCESO FENTON A NIVEL INDUSTRIAL, de Huilcarema, K., 2016 ([https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-12-ESQUEMA-DEL-PROCESO-FENTON-A-NIVEL-INDUSTRIAL\\_fig12\\_319234260](https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-12-ESQUEMA-DEL-PROCESO-FENTON-A-NIVEL-INDUSTRIAL_fig12_319234260)).

## 5. Casos de tratamientos de oxidación avanzada

Castro y Durán (2014) determinaron en los POA  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  y Foto-Fenton ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{UV}$ ) su efectividad mediante la decoloración y degradación de agua residual con colorante COLRON RED SD3B. Para llevar a cabo esto investigaron el efecto del pH de la solución, la concentración de  $\text{Fe}^{2+}$ , la concentración de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y la concentración inicial del colorante a través de un modelo estadístico de experimentos de Taguchi. Las conclusiones fueron que el proceso  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{UV}$  generó mayor decoloración y degradación del colorante, trabajando con las



siguientes condiciones para lograr óptimos resultados: pH=2, concentración del colorante de 100 ppm, de  $\text{Fe}^{2+}$  de 80 ppm y de  $\text{H}_2\text{O}_2$  de 102 ppm. Con estas condiciones mencionadas se obtuvieron porcentajes de reducción promedio de 65,5% en la DQO y de 77,0% en la decoloración del tinte luego de realizar el tratamiento por una hora.

Vedrenne *et al.* (2012) caracterizaron y trataron un lixiviado de vertedero maduro mediante un proceso de coagulación/floculación seguido de un tratamiento de Foto-Fenton. El lixiviado se obtuvo de un relleno sanitario en Tetlama, Morelos (México) durante la época de sequía y se caracterizó en cuanto a sus principales contaminantes. Se identificaron niveles considerables de DQO, COT y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), así como concentraciones de mercurio (Hg), plomo (Pb) y arsénico (As). El tratamiento del efluente consistió en el proceso de coagulación-floculación utilizando una dosis óptima de cloruro férrico hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) de 300 mg/L. El sobrenadante se trató mediante el proceso Foto-Fenton mediado con  $\text{FeCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$  en un fotorreactor concentrador parabólico compuesto (CPC) que opera en modo discontinuo utilizando un radio R ( $R = [\text{H}_2\text{O}_2] / [\text{Fe}^{2+}]$ ) de 114. La eficiencia de remoción después del tratamiento fue de 56% para la DQO, 95% para el COT y 64% para  $\text{NH}_4^+$ . Las eficiencias de remoción de As, Hg, y Pb fueron del 46%, 9% y 85%, respectivamente.

Salas (2010) realizó experimentos de oxidación Fenton para aguas residuales textiles en discontinuo (en diferentes días) y utilizó a la DQO como indicador, consiguiendo muestras compuestas en diferentes días para analizar la eficacia y viabilidad del reactivo Fenton. Las muestras tomadas corresponden al efluente de una empresa textil en donde se realizó un tratamiento físico-químico de coagulación-floculación y flotación por aire disuelto. El valor de la DQO del agua

residual caracterizada era de 1700 y las condiciones ensayadas para realizar el proceso Fenton eran de pH=3,  $[Fe^{2+}] = 200 \text{ mg/L}$ ,  $[H_2O_2] = 3612 \text{ mg/L}$ , se determinó la concentración inicial de  $H_2O_2$  mediante la relación estequiométrica la cual se calcula mediante la ecuación  $[H_2O_2]_{est} = (DQO/8) * 17$ , obteniendo un valor de 3612 mg/L. Se concluyó que la oxidación Fenton, al cabo de los 40 min disminuyó el 97% de la DQO, por lo cual este procedimiento puede ser utilizado como una solución complementaria luego de llevar a cabo los procesos convencionales para el manejo de los efluentes textiles y que el reactivo Fenton cuando se encuentra en pH 3 presenta su máxima actividad catalítica.

Delgado & Santander (2017) comentan sobre la capacidad de reducción de materia orgánica recalcitrante determinada por la reducción de la concentración de la DQO y decolorar los tintes en porcentaje utilizando seis procesos (fotocatálisis heterogénea ( $TiO_2/H_2O_2$ ), fotocatalisis con irradiación ultravioleta ( $TiO_2/H_2O_2/UV$ ), fotocatalisis con irradiación ultravioleta y ozono ( $TiO_2/H_2O_2/UV/O_3$ ), fotocatalisis con dióxido de titanio ( $TiO_2/Fe^{2+}/H_2O_2$ ), fotocatalisis con dióxido de titanio e irradiación ultravioleta ( $TiO_2/Fe^{2+}/H_2O_2/UV$ ), fotocatalisis con dióxido de titanio e irradiación ultravioleta y ozono ( $TiO_2/Fe^{2+}/H_2O_2/UV/O_3$ )), con control de pH y temperatura. Se preparo una solución estándar la cual era una homogenización de 0.6 g de tinte Azul Blue (R-19) en 20 litros de agua destilada. Como resultado se obtuvo que la fotocatalisis con  $TiO_2/Fe^{2+}/H_2O_2/UV$  logró mayor degradación de DQO (75.68%) y la fotocatalisis con  $TiO_2/Fe^{2+}/H_2O_2/UV/O_3$  logró mayor remoción de la decoloración de tintes (89.06%), todo fue llevado a cabo en soluciones estándar adicionando el tinte Azul Blue (R-19) y la muestra proveniente de la industria textil.

### III. OBJETIVOS Y/O HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de la oxidación avanzada en el tratamiento de aguas residuales provenientes de una industria textil mediante el proceso Fenton.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Medir los parámetros físico-químicos (pH, sólidos totales (ST), demanda química de oxígeno (DQO), conductividad eléctrica (CE) y turbidez) en aguas residuales provenientes de una industria textil antes de ser tratadas y después de ser tratadas por el proceso de oxidación avanzada mediante el proceso Fenton.
- Comparar la eficiencia de la oxidación avanzada en los parámetros tratados a diferentes concentraciones del reactivo Fenton mediante la tasa de reducción de los parámetros antes mencionados.
- Recomendar una aplicación práctica del reactivo Fenton con la concentración ideal encontrada en la fábrica textil.

### IV. METODOLOGÍA

#### 4.1. Área de estudio

El área de estudio está ubicado en la provincia de Campoy, distrito de San Juan de Lurigancho (Lima). La fábrica pertenece al rubro de la tintorería; sin embargo, también realiza el proceso de confección de telas. Las telas que confeccionan son de suplex, gamuza listada y frenchterry, que pasan por

distintos procesos para la tinturación en caliente. Algunos de los colorantes que utilizan son: escarlata directo 4Bs, negro directo BA, pardo amarillo RLS, ruby disperso al 200%, azul disperso 79 al 200%, Jakasol rojo 3BS, Jakofix bte blue JRF, amarillo R+ 145, Amarillo 2 RL, rojo dto. F3 (80), entre otros.

La investigación se realizó en ausencia de precipitaciones (garúa) y cuando se vertieron las aguas residuales provenientes de los procesos de tinte de la fábrica.

### **Figura 8**

*Tanque de enfriamiento en la fábrica textil*



## **4.2. Diseño de investigación**

### **4.2.1. Recolección de las muestras en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)**

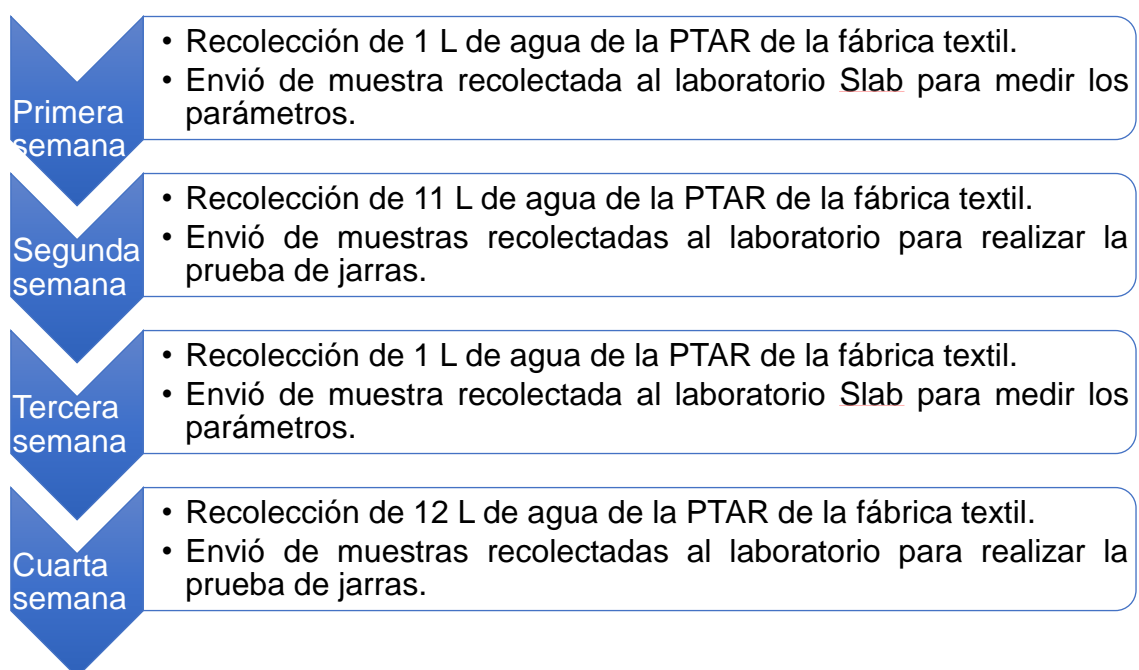
Las muestras fueron recolectadas en la PTAR de la fábrica textil en la salida de las aguas residuales sin previo tratamiento y realizó en cuatro semanas,

acudiendo un día por semana para la recolección de las muestras (siendo la primera y tercera semana una sola muestra para analizar los parámetros físico-químicos). Además, la técnica del muestreo fue compuesta esto quiere decir que todas las muestras tomadas fueron vertidas en un solo balde. Para la captación de las muestras se utilizaron botellas de plástico duro de 1000 mL cada uno y fueron necesarias 11 y 12 botellas para la segunda y cuarta semana, respectivamente, las mismas que fueron transportadas en una bolsa ecológica grande para preservar la muestra. Esta técnica de muestreo fue utilizada para realizar la prueba de jarras de manera homogénea y medir los parámetros físico-químicos deseados del cuerpo de agua (SENASBA, 2015) como pH, ST, DQO, conductividad eléctrica y turbidez.

A continuación, se muestra la Figura 9, la cual explica los pasos llevados a cabo durante las 4 semanas:

**Figura 9**

*Actividades realizadas en las 4 semanas*



**Figura 10**

*Recolección del agua residual*



**Figura 11**

*Llenado de botellas con agua residual*



**Figura 12**

*Recolección de botellas para su transporte al laboratorio*



#### **4.2.2. Preparación de las muestras recolectadas**

Las muestras fueron mezcladas por el laboratorio SLab, el cual se encuentra ubicado en la Calle 22 Urb. Vipol Naranjal Mz. E Lt. 07, San Martín de Porres (Lima), con la finalidad de homogenizar la muestra y obtener resultados consistentes. Las muestras se transportaron al laboratorio Slab, donde se efectuaron los procedimientos para medir los parámetros anteriormente mencionados.

Para realizar la prueba de jarras, se emplearon 4 jarras de 2 L cada una y cada jarra fue llenada con un litro de agua residual, a excepción de una jarra que no será llenada en una prueba, y se midieron los parámetros físico-químicos después de la prueba de jarras llevada a cabo. El tratamiento utilizado en las muestras de agua residual fue el proceso Fenton, este proceso se realizó con una velocidad de 300 revoluciones por minuto (rpm)

(Terán *et al.*, 2015) por 30 min. Adicionalmente, se mantuvieron las jarras a un pH ácido (3.0 - 3.6) y se repitió la dosificación idónea del reactivo Fenton en la cuarta semana para el análisis estadístico.

#### 4.2.3. Análisis exploratorio de datos para la dosificación de Fenton

Se realizó un análisis exploratorio para la dosificación de Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (reactivo Fenton) a ser utilizada en las pruebas. Para la primera prueba, se utilizó la dosis de 3.04 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% v/v por cada 250 mL de muestra (siendo en total 12.5 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a usar), para el consumo de FeSO<sub>4</sub> fue de una relación molar de 1:5 (414 mg de FeSO<sub>4</sub> por cada 3.04 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; siendo 1702.5 mg de FeSO<sub>4</sub> en total) (Terán *et al.*, 2015). Además, se varió la cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (10, 20 y 25 mL) y en la cantidad de sulfato ferroso (en la Jarra 3 y 4 se realizó un aumento de 97.5 mg de FeSO<sub>4</sub>).

**Tabla 1**

*Primer análisis exploratorio de Fenton*

Tratamientos	Peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30% v/v) (mL)	Sulfato ferroso (FeSO <sub>4</sub> ) (mg)
Jarra 1	12.5	1702.5
Jarra 2	10.0	1702.5
Jarra 3	20.0	1800.0
Jarra 4	25.0	1800.0

Para la segunda prueba se aplicaron 200 mg de FeSO<sub>4</sub>, la cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% v/v se determinó por la relación estequiométrica referente a la DQO en la siguiente ecuación: [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]= (DQO/8) \*17= 2.125 \* DQO (Salas, 2010).



En esta prueba, se realizó la variación de la cantidad de  $\text{FeSO}_4$  (250, 300 y 400 mg).

**Tabla 2**

*Segundo análisis exploratorio de Fenton*

Tratamientos	Peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ 30% v/v) (mL)	Sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) (mg)
Jarra 1	2.125*DQO de la muestra	200
Jarra 2	2.125*DQO de la muestra	250
Jarra 3	2.125*DQO de la muestra	300
Jarra 4	2.125*DQO de la muestra	400

En la tercera prueba, se utilizó el valor del  $\text{H}_2\text{O}_2$  de la primera prueba y el valor del  $\text{FeSO}_4$  de la segunda prueba con las variaciones incluidas a excepción de una. Luego de determinar la dosis que presente mayor reducción en los valores deseados, se utilizó como dosificación para la siguiente prueba de jarra a realizar con el fin de determinar su efectividad.

**Tabla 3**

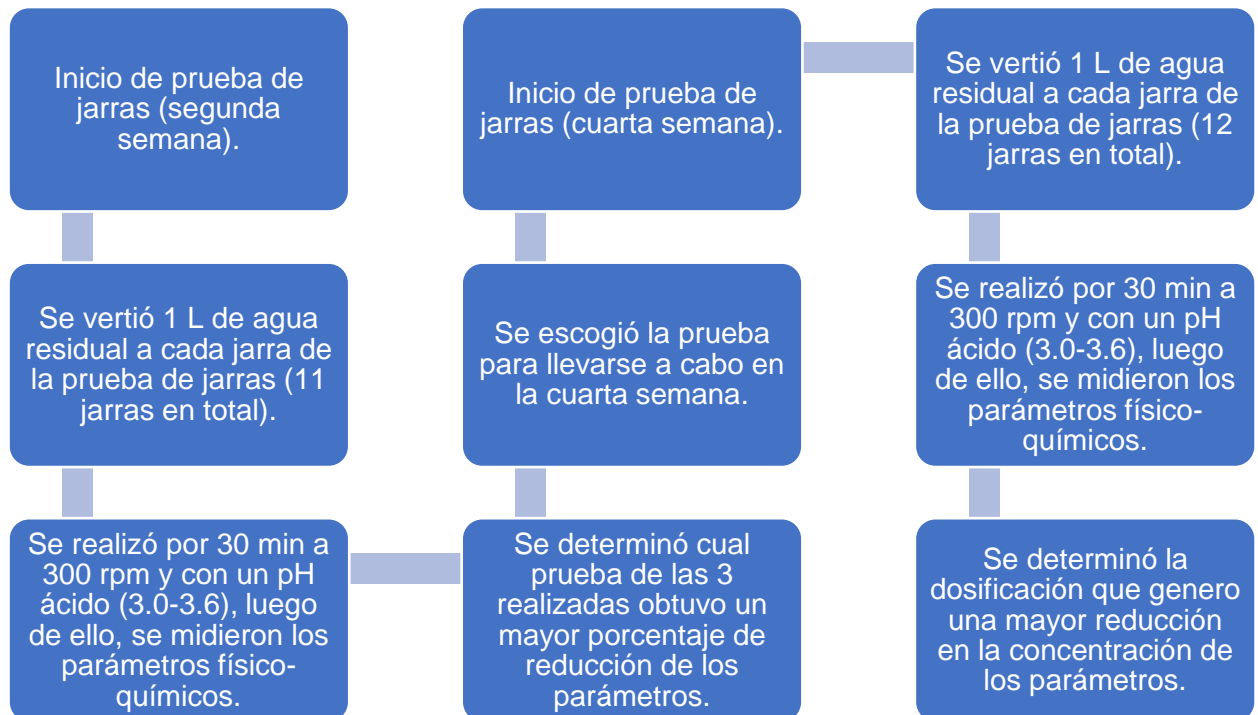
*Tercer análisis exploratorio de Fenton*

Tratamientos	Peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30% v/v) (mL)	Sulfato ferroso (FeSO <sub>4</sub> ) (mg)
Jarra 1	12.5	200
Jarra 2	10	250
Jarra 3	20	300

En la figura 13, podemos ver a detalle el diseño experimental realizado.

**Figura 13:**

*Diseño experimental de la prueba de jarras*



#### 4.3. Métodos para determinar los parámetros físico-químicos:

- Demanda química de oxígeno (DQO): Se determinó por oxidabilidad con permanganato potásico ( $\text{KMnO}_4$ ), primero se midieron 100 mL de la muestra de agua y se colocaron en un matraz. Se añadieron 5 mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) diluido 1:3, adicionalmente se agregaron 20 mL de  $\text{KMnO}_4$  0.01M. Se dejó calentar durante 10 min a baño maría, luego se añadieron 20 mL de ácido oxálico 0.01M, momento en el que se produjo la decoloración de la muestra. Para culminar, se tituló (en caliente) con  $\text{KMnO}_4$  0.01M hasta lograr un color rosado débil (Método Kubel-Tiemann) (Kubel & Tiemann, 1874).

$$\text{O}_2 \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = A \times 0.8$$

En donde:

A = Volumen de  $\text{KMnO}_4$  usado para titular.

- Sólidos totales (ST): Se realizó con un crisol, el cual será llevado a peso constante para luego ser guardado en un desecador, se agregaron 10 mL de muestra en el crisol. El crisol es calentado en la estufa con una temperatura entre los 103 a 105 °C y, después de evaporarse la muestra, se retiró el crisol para ser colocado en el desecador, se dejó enfriar y se volvió a pesar (APHA-AWWA-WEF, 1999).

La fórmula para determinar los sólidos totales es:

$$ST = \frac{G1 - G}{V} \times 1000$$

Donde:

ST= sólidos totales en mg/L.

G= masa del crisol.

G1= masa del crisol con residuo.

V= volumen de muestra.

- pH y conductividad eléctrica (CE): Se utilizó un multiparámetro de marca HANNA Instruments para la medición directa.
- Turbidez: Se empleó un turbidímetro de marca HANNA Instruments para la medición directa.

#### **4.4. Análisis estadístico:**

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos se utilizó la prueba de t-Student, antes de llevarla a cabo se realizaron una serie de pasos para verificar la distribución normal de los datos y la homogeneidad de varianzas. Luego de esto, se realizó la prueba de t-Student pareado. Para comparar los distintos tratamientos de la fase experimental, se aplicó ANOVA y luego se realizó la prueba Tukey para determinar cuál tratamiento es significativamente distinto al resto de tratamientos.

Se empleó el programa SPSS versión 22, con un nivel de significancia al 5%.

## V. RESULTADOS:

En la primera semana, se analizó 1 L de muestra del agua residual proveniente de la fábrica textil, con la finalidad de conocer los valores de los parámetros físico-químicos, los cuales fueron:

**Tabla 4**

*Parámetros físico-químicos analizados*

Parámetro	Unidad	Resultado
Sólidos totales	mg/L	12,270.00
Conductividad eléctrica	μS/cm	13,330.00
Turbidez	NTU	629.00
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	1,017.10
pH	Unidades	11.91

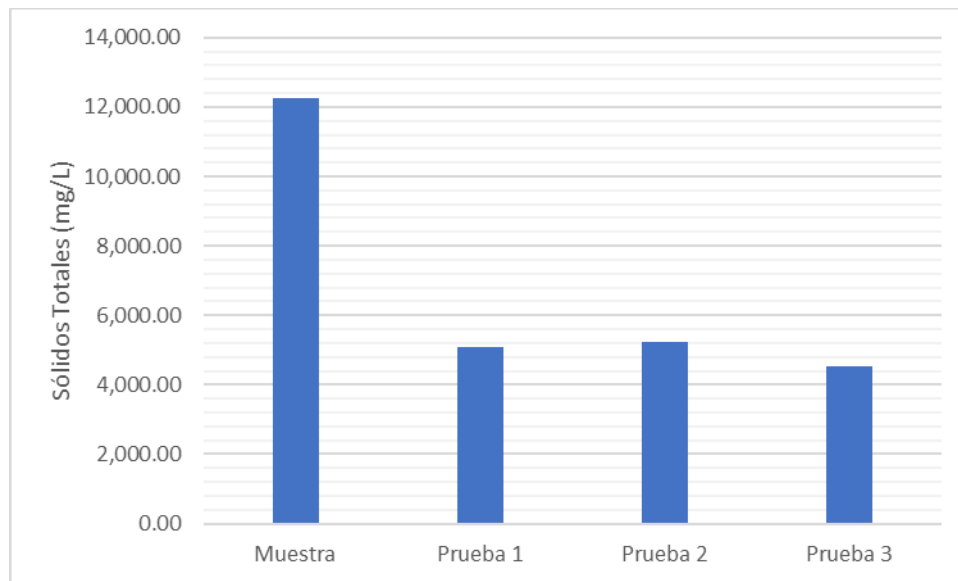
Luego de conocer los valores de los parámetros físico-químicos, se realizó la prueba de jarras y en la segunda semana se realizó el análisis exploratorio con las tres pruebas mencionadas, esto con la finalidad de determinar la cantidad de dosificación del reactivo Fenton que disminuya los parámetros.

Para el caso de la prueba 2, en la cual la dosificación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> depende de la cantidad de DQO (2.125\*DQO de la muestra), se realizó la ecuación y se obtuvo que la dosis a utilizar fue de 2.40 mL por jarra.

En la Figura 14, se observa la reducción de la concentración de los sólidos totales según las pruebas, se observó que hubo una reducción de 58.5%, 57.3% y 63.1% (5095.00, 5237.50 y 4523.33 mg/L, respectivamente) en las pruebas 1, 2 y 3, respectivamente.

**Figura 14**

*Reducción de Sólidos Totales según las pruebas*



En la Tabla 5, se muestra la reducción de la concentración de la conductividad eléctrica según las pruebas, en este parámetro se obtuvo una reducción del 99.94% para las tres pruebas.

**Tabla 5**

*Reducción de la Conductividad Eléctrica según las pruebas*

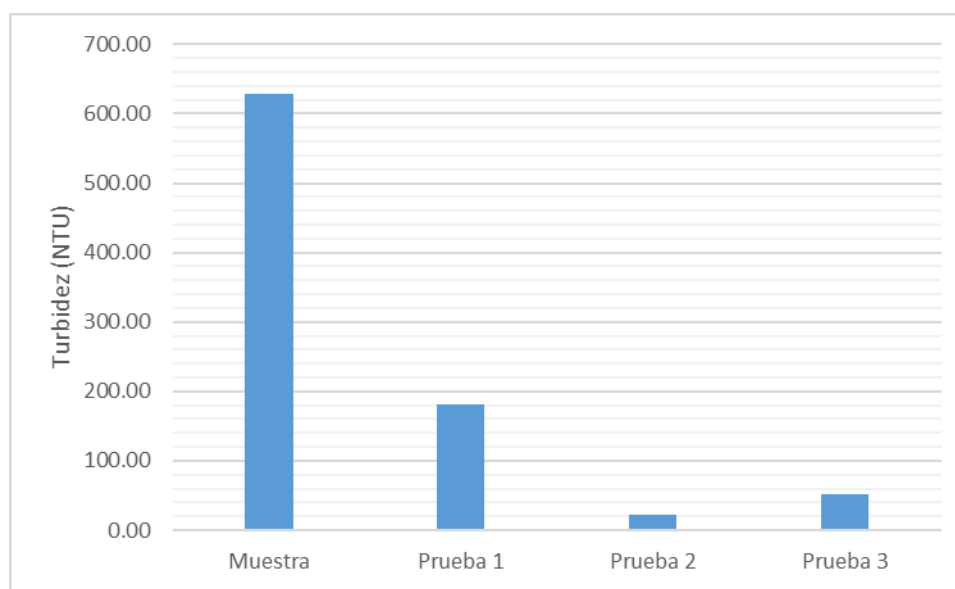
<b>Parámetro</b>	<b>Muestra</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	13,330.00	8.57	8.31	8.29
Error Estándar	-	0.07	0.05	0.05

En la Figura 15, se observa la reducción de la concentración de turbidez según las pruebas, se observó que hubo una reducción de 71.3%, 96.6% y 91.7%

(180.50, 21.66 y 52.13 NTU, respectivamente) en las pruebas 1, 2 y 3, respectivamente.

**Figura 15**

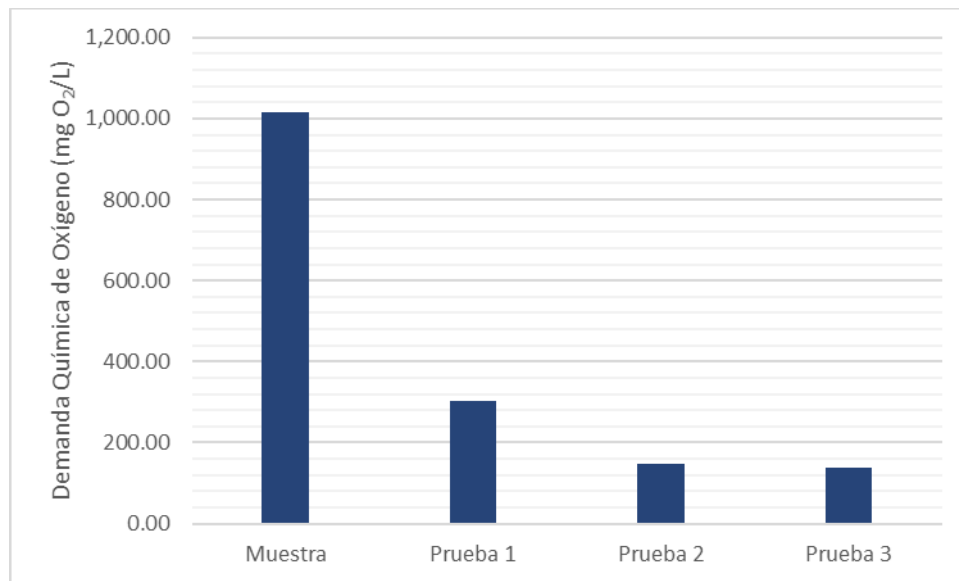
*Reducción de Turbidez según las pruebas*



En la Figura 16, se observa la reducción de la concentración de la DQO según las pruebas, se observó que hubo una reducción de 70.4%, 85.4% y 86.5% (301.55, 148.75 y 136.87 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente) en las pruebas 1, 2 y 3, respectivamente.

**Figura 16**

*Reducción de DQO según las pruebas*



Comparando estos resultados con los Valores Máximos Admisibles (D.S. 010-2019-Vivienda) se logró evidenciar que para los parámetros de DQO y turbidez, se encuentran dentro del margen establecido de la norma; para el caso de la turbidez se medirá a través de los sólidos suspendidos totales (SST) debido a que ambos son medidas indirecta (turbidez) y directa (SST) relacionadas a la claridad de las aguas superficiales, la unidad de medida para los SST en los VMA es de mg/L, se realizará una conversión a NTU multiplicando por 3 el valor fijado en los VMA.



**Tabla 6**

*Comparación de parámetros de las pruebas con los VMA*

<b>Parámetro</b>	<b>Valores Máximos Admisibles (VMA)</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>
Sólidos Suspendidos Totales (Turbidez) (NTU)	1500	180.50	21.66	52.13
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	1000	301.55	148.75	136.87

Según los resultados obtenidos en la segunda semana, se escogió la prueba 2 para realizar las repeticiones en la cuarta semana, debido a que presentó mayor reducción de la concentración de los parámetros analizados y, a su vez, se utilizó una dosis menor de los reactivos (200, 250, 300 y 400 mg de FeSO<sub>4</sub> y 2.40 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a comparación de las otras pruebas.

En la tercera semana, se realizó una nueva caracterización de los parámetros físico-químicos, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 7**

*Parámetros físico-químicos analizados (tercera semana)*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
Sólidos totales	mg/L	8,135.00
Conductividad eléctrica	μS/cm	15,660.00
Turbidez	NTU	69.30
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	389.50
pH	Unidades	9.51

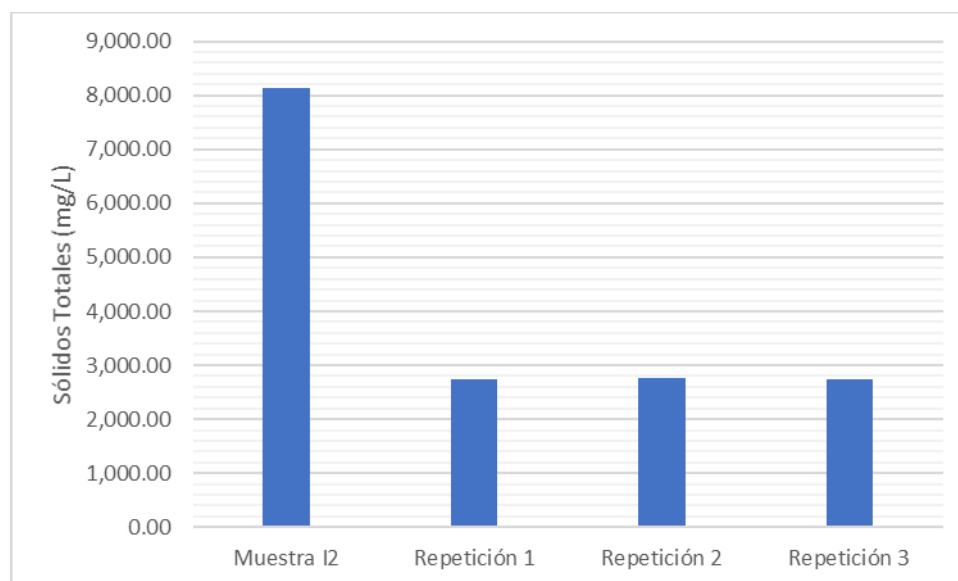
Luego de conocer los valores de los parámetros físico-químicos, se efectuó la prueba de jarras, en la cuarta semana se realizó las repeticiones de la prueba 2, esto con la finalidad de determinar su eficiencia en cuanto a la reducción de la concentración de los parámetros físico-químicos.

Para la dosificación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en esta prueba, depende de la cantidad de DQO (2.125\*DQO de la muestra), se realizó la ecuación y se obtuvo que la dosis a utilizar fue de 0.92 mL por jarra.

En la Figura 17, se observa la reducción de la concentración de los sólidos totales según las repeticiones, se observó que hubo una reducción de 66.2%, 66.1% y 66.3% en las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente.

**Figura 17**

*Reducción de Sólidos Totales según repeticiones*



En la Tabla 8, se muestra la reducción de la concentración de la conductividad eléctrica según las repeticiones, en este parámetro se obtuvo una reducción del 99.97% para las tres repeticiones.

**Tabla 8**

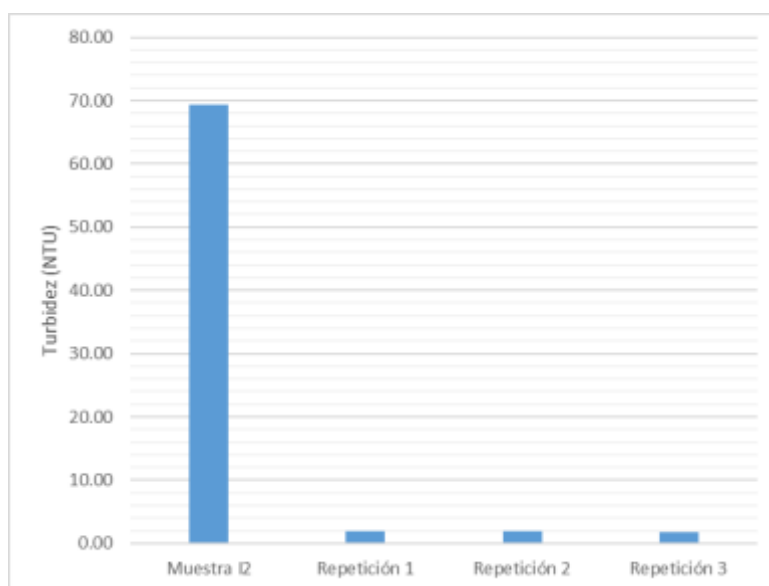
*Reducción de la Conductividad Eléctrica según las repeticiones*

Parámetro	Muestra I2	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	15,660.00	4.85	4.76	4.81
Error estándar	-	0.03	0.04	0.02

En la Figura 18, se observa la reducción de la concentración de la turbidez según las repeticiones, se observó que hubo una reducción de 97.3%, 97.3% y 97.5% (1.89, 1.87 y 1.72 NTU, respectivamente) en las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente.

**Figura 18**

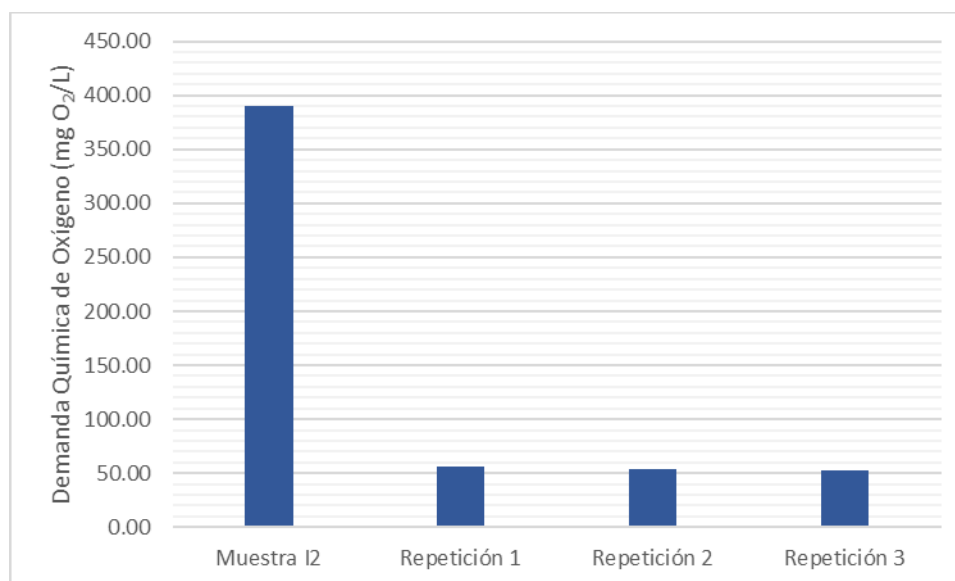
*Reducción de Turbidez según las repeticiones*



En la Figura 19, se observa la reducción de la concentración de la DQO según las pruebas, se observó que hubo una reducción de 85.7%, 86.3% y 86.6% (55.70, 53.50 y 52.13 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente) en las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente.

**Figura 19**

*Reducción de DQO según las repeticiones*



Comparando estos resultados con los Valores Máximos Admisibles (D.S. 010-2019-Vivienda) se logró evidenciar que para los parámetros de DQO y turbidez, se encuentran dentro del margen establecido de la norma.

**Tabla 9**

*Comparación de parámetros de las repeticiones con los VMA*

Parámetro	Valores Máximos Admisibles (VMA)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Sólidos Suspendidos Totales (Turbidez) (NTU)	1500	1.89	1.87	1.72
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	1000	55.7	53.5	52.125

Según los resultados obtenidos en la cuarta semana, se evidencio que la dosificación idónea para obtener mejores resultados respecto a la reducción de los parámetros es de 0.92 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 400 mg de FeSO<sub>4</sub>.

## VI. DISCUSIÓN:

En la segunda semana se obtuvo un mayor porcentaje de reducción de los parámetros físico-químicos en la prueba 2, para el caso de los ST, se obtuvo una reducción de la concentración del 57.3% en la prueba 2 a comparación de la prueba 3 que obtuvo una reducción del 63.1%, a pesar de ser la prueba 3 quien presento una mayor reducción en este parámetro, en las siguientes líneas se contrasta con el resto de parámetros medidos para determinar la elección de la prueba 2 como la que mayor porcentaje de reducción obtuvo.

Para el caso de los parámetros CE y turbidez se obtuvieron porcentajes de reducción mayores al 95% en la prueba 2, para el caso de la CE todas las pruebas tienen una reducción de la concentración del 99.94%; en el caso de la turbidez en la prueba 1, 2 y 3 se obtuvieron porcentajes de reducción de 71.3%, 96.6% y 91.7%, coincidiendo el segundo porcentaje de reducción con Rosales (2017) quien realizando su estudio con los mismos valores que los de la prueba 2 obtuvo un porcentaje de reducción superior de 96%, dando como resultado una casi completa remoción de estos parámetros y la elección de la prueba 2 para ser repetida en la semana 4.

Para el parámetro de DQO se coincidió con Salas (2010), debido a que en su trabajo de investigación al utilizar la dosificación recomendada se obtuvo una reducción del 67.9% a los 30 minutos en el parámetro DQO, en la presente

investigación se obtuvo una reducción del 85.4% a los 30 minutos, esto podría darse por la cantidad de oxidante ( $H_2O_2$ ) y catalizador ( $FeSO_4$ ). Dado que Salas utiliza una mayor cantidad de oxidante (3612 mL) frente a su catalizador (200 mg), en la investigación sucede al revés, la cantidad del oxidante es menor (2.40 mL) frente a la cantidad del catalizador (200, 250, 300 y 400 mg). Blanco (2009) nos menciona que la reducción de la DQO en su trabajo de investigación fue de 70% con una cantidad de  $Fe^{2+}$  de 216 mg/L y de  $H_2O_2$  de 1650 mg/L en un tiempo mayor de 360 min, el cual comparado con este trabajo de investigación se obtienen mejores resultados debido a que el tiempo del proceso es de 30 min y la cantidad de  $H_2O_2$  es menor a la utilizada por Blanco (2.40 mL).

En la semana 4, al seleccionar la prueba 2 para realizar las repeticiones e identificar la dosis idónea para la fábrica textil, se evidenció que dicha dosificación era de 0.92 mL de  $H_2O_2$  y 400 mg de  $FeSO_4$ .

En el caso de los ST, se obtuvo similares reducciones de la concentración de 66.2%, 66.1% y 66.3% para las repeticiones 1,2 y 3 respectivamente.

Para el caso de la CE, se obtuvo un porcentaje de reducción uniforme de 99.97% para las 3 repeticiones no coincidiendo de esta manera con Rosales (2017) quien realizó el mismo tratamiento con la dosificación mínima de los reactivos pero obtuvo porcentajes de reducción del 15% aproximadamente para cada muestra; en el caso de la turbidez hubo una ligera variación del porcentaje de reducción de la concentración obteniendo resultados de 97.3%, 97.3% y 97.5% para las repeticiones 1, 2 y 3 respectivamente, coincidiendo de esta manera con Blanco (2009) y logrando un porcentaje más alto que el obtenido por Guarquila (2013), quienes obtuvieron porcentajes de reducción de la concentración de turbidez de 99.72% y 91.23% respectivamente, esto pudo haberse dado debido al tiempo

que empleo Blanco para llevar a cabo su investigación (360 min) y la concentración del  $\text{H}_2\text{O}_2$  (1650 mg/L), en comparación con esta investigación la cual utilizo un tiempo mucho menor (30 min) y una dosificación de  $\text{H}_2\text{O}_2$  menor también (2.40 mL). Para el parámetro DQO se obtuvo un porcentaje de reducción de 85.7%, 86.3% y 86.6% no coincidiendo de esta manera con Terán, Posligua y Banchón (2015) quienes obtuvieron un porcentaje de reducción de 99.9%, a pesar de utilizar valores similares para el reactivo Fenton esta se debe debido al tiempo de reacción del reactivo Fenton frente al colorante el cual fue de 24 horas.

Dado que la reducción de los parámetros era mucho mayor en comparación con las otras dosificaciones, obteniendo con ello una relación de que a menor cantidad de  $\text{H}_2\text{O}_2$  frente a la cantidad de  $\text{FeSO}_4$ , se obtiene una mayor reducción de los parámetros físico-químicos del agua residual proveniente de la fábrica textil.

También se evidencio la eficiencia del reactivo Fenton puesto que, a una menor cantidad de los insumos, se obtuvieron mayores porcentajes de reducción en los parámetros físico-químicos. Comparando la DQO y la turbidez con los VMA, obtenemos que ambos parámetros no superan la norma tanto en la semana 2 como en la semana 4, dándonos a entender con esto que el agua residual puede ser descargada al alcantarillado sin generar ningún tipo de problema al cuerpo de agua receptor.



## VII. CONCLUSIÓN:

Se evaluó la eficiencia del proceso Fenton mediante la mínima dosificación utilizada de los reactivos ( $\text{H}_2\text{O}_2$  y  $\text{FeSO}_4$ ) para lograr el mayor porcentaje de reducción de los parámetros (ST, DQO, CE y turbidez), bajo esta premisa se obtuvo que la dosis ideal es de 0.92 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y 400 mg de  $\text{FeSO}_4$ , con esta dosificación se obtienen mayores porcentajes de reducción frente a las distintas dosificaciones utilizadas en las 4 semanas.

Se midieron los parámetros físico-químicos en aguas residuales textiles antes y después de ser tratadas por el proceso Fenton; en la segunda semana el parámetro DQO obtuvo un porcentaje de reducción de 80.77% (1017.10 al inicio, 195.72 mg  $\text{O}_2/\text{L}$  al final), la CE obtuvo un porcentaje de reducción de 99.94% (13330.00 al inicio, 8.39  $\mu\text{S}/\text{cm}$  al final), la turbidez obtuvo un porcentaje de reducción de 86.53% (629 al inicio, 84.76 NTU al final), en el caso de los sólidos totales se obtuvo un rango de porcentaje de reducción entre 58-63% (12270.00 al inicio, 4523.33-5237.50 mg/L al final). En la cuarta semana el porcentaje de reducción de la CE fue de 99.97% (15660.00 al inicio, 4.81  $\mu\text{S}/\text{cm}$  al final), la turbidez obtuvo un porcentaje de reducción de 97.4% (69.30 al inicio, 1.82 NTU al final), la DQO obtuvo un porcentaje de reducción de 86.2% (389.50 al inicio, 53.78 mg  $\text{O}_2/\text{L}$  al final) y en los ST se obtuvo un porcentaje de reducción de 66.2% (8135.00 al inicio, 2750.83 mg/L al final); evidenciando con esto que la reducción en la cuarta semana fue mucho mayor que en la segunda semana.

Se comparó la eficiencia del reactivo Fenton respecto a la reducción de los parámetros medidos luego de haber realizado la prueba de jarras, en la segunda semana se obtuvo que la prueba más eficiente en cuanto a reducción de parámetros y utilización mínima del reactivo Fenton fue la prueba 2 (2.40 mL de

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 200, 250, 300 y 400 mg de FeSO<sub>4</sub>). Luego de llevarse a cabo en la cuarta semana las repeticiones de la prueba dos, se evidenció que la concentración ideal del reactivo Fenton para obtener un mayor porcentaje de reducción de los parámetros es de 0.92 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 400 mg de FeSO<sub>4</sub>. Se evidenció que, en las tres repeticiones realizadas, la reducción de los parámetros es mayor cuando se utiliza esta dosificación.

Para el caso de la fábrica textil, la aplicación práctica que se brinda en base a la concentración ideal del reactivo Fenton hallada es llevar a cabo una relación referente a la cantidad de agua residual tratada en su PTAR, debido a que con esto se determina la cantidad de reactivo Fenton a utilizar y de esta manera lograr una mayor reducción de sus parámetros físico-químicos de sus efluentes.

#### **VIII. RECOMENDACIONES:**

- Realizar otros análisis de parámetros a las muestras de agua residuales tales como Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y metales (Cadmio y Cobre) con la finalidad de caracterizar aún más las muestras y determinar la reducción de estos parámetros.
- Efectuar repeticiones a la dosificación idónea de Fenton para la empresa para obtener mejores resultados sobre la dosificación hallada.
- El presente trabajo sirve como base para futuros proyectos, debido a que no se encontraron antecedentes los cuales analizaran aguas residuales textiles con presencia de más de 10 colorantes.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AINIA. (2011). *5 ventajas que aporta la oxidación avanzada en el tratamiento de aguas*. <https://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/5-ventajas-que-aporta-la-oxidacion-avanzada-en-el-tratamiento-de-aguas/>
- AITEX. (2005). *Minimización de Residuos Textiles*. [http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE05\\_ENV\\_ES\\_000285\\_LAYMAN\\_ES.pdf](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE05_ENV_ES_000285_LAYMAN_ES.pdf)
- Arroyave, J., Garcés, L. y Arango, Á. (2009). Mineralización del colorante Tartrazina mediante un proceso de oxidación avanzada. *Revista Lasallista de investigación*, 6 (2), 46-53.
- Baird, R.B., Eaton, A.D. y Rice, E.W. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition*. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF).
- Bandala, E., Chacón, J., Leal, M. y Sánchez, M. (2002). *Tratamiento de agua residual proveniente de la industria textil mediante fotocátalisis solar* [Sesión de conferencia]. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México.
- Barrera-Díaz, C., Cañizares, P., Fernández, F., Natividad, R. y Rodrigo, M. (2014). Electrochemical advanced oxidation processes: an overview of the current applications to actual industrial effluents. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 58(3), 256-275.

Belzona. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales.*

[https://www.belzona.com/es/solution\\_maps/wastewater/money\\_map.pdf](https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf)

Blanco, J. (2009). *Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y Foto-Fenton* [Tesis de Maestría, Universitat Politècnica de Catalunya].

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8325/01.pdf>

Castro, L. y Durán, J. (2014). Degradación y decoloración de agua contaminada con colorantes textiles mediante procesos de oxidación avanzada. *Revista Tecnología en Marcha*, 27(2), 40-50.

CEPIS. (1994). *Informe Técnico sobre la minimización de Residuos Textiles.*

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/029704.pdf>

ComexPerú. (2021). *EXPORTACIONES TEXTILES CRECEN UN 18.8% EN EL PRIMER TRIMESTRE DE 2021.*

<https://www.comexperu.org.pe/articulo/exportaciones-textiles-crecen-un-188-en-el-primer-trimestre-de-2021>

Cortazar, A., Coronel, C., Escalante, A. y González, C. (2014). Contaminación generada por colorantes de la industria textil. *Vida Científica*, 2(3).

<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n3/e1.html>

Delgado, D. y Santander, N. (2017). *Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando procesos de oxidación avanzada (POA)* [Tesis de Título, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNA-PUNO.

- Gamarra, C. (2012). *Decoloración y degradación de compuestos tipo azo mediante el proceso Fenton y Electro-Fenton* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional- UNI.
- Garcés, L. y Hernández, M. (2012). *Tratamiento de aguas residuales de la industria textil por medio de luz ultravioleta: una comparación de dióxido de titanio y fenton*.  
[https://web.archive.org/web/20180413113018id\\_/http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/jet/article/viewFile/206/409](https://web.archive.org/web/20180413113018id_/http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/jet/article/viewFile/206/409)
- Garcés, L., Hernández, M., Peñuela, G., Rodríguez, A. y Salazar, J. (2005). Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatalisis. *Revista Lasallista de investigación*, 2(1), 15-18.  
<https://www.redalyc.org/pdf/695/69520103.pdf>
- Garcés, L., Mejía, E. y Santamaría, J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de investigación*, 1(1), 83-92. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69511013.pdf>
- Gardiner, K. y Borne, B.J. (1978). Textile Waste Waters: Treatment and Environmental Effects. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 94(8), 331-360.
- Gilpavas, E., Arbeláez-Castaño, P., Medina-Arroyave, J. y Gómez-Atehortua, C. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE COAGULACIÓN QUÍMICA ACOPLADA A PROCESOS FENTON INTENSIFICADOS CON ULTRASONIDO DE BAJA FRECUENCIA. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), 157-167.

<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2018.34.01.14/46746>

Guarquila, M. (2013). *TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES MEDIANTE PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN-SECTOR TEXTIL* [Tesis de Título, Universidad Central del Ecuador].

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1307/1/T-UCE-0017-28.pdf>

Gutiérrez, M., López, V., Riera, M., Vilaseca, M. y Crespi, M. (2009). Tratamiento electroquímico y reutilización de efluentes de tintura. *Revista de química téxtil*, 191, 40-46.

Hernández, J., García, L., García, R., Cueto, A. y Carmona, J. (2011). Estudio cinético de la fotodegradación del naranja de metilo en presencia de TiO<sub>2</sub>: Efecto de la fuente de radiación U.V., concentración del azo-colorante y del catalizador. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(2), 25-34.

Hincapié-Mejía, G., Ocampo, D., Restrepo, G. y Marín, J. (2011). Fotocatálisis Heterogénea y Foto-Fenton Aplicadas al Tratamiento de Aguas de Lavado de la Producción de Biodiesel. *Información tecnológica*, 22(2), 33-42.

Huilcarema, K. (2016). *ESQUEMA DEL PROCESO FENTON A NIVEL INDUSTRIAL*. [https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-12-ESQUEMA-DEL-PROCESO-FENTON-A-NIVEL-INDUSTRIAL\\_fig12\\_319234260](https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-12-ESQUEMA-DEL-PROCESO-FENTON-A-NIVEL-INDUSTRIAL_fig12_319234260)

Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales (ITAR). (2009). *Tratamiento fisicoquímico y biológico de aguas residuales*. <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/tratamientobiologico4.pdf>

IQDInvesquia. (2015). *Procesos de oxidación avanzada*.

<http://www.iqdinvesquia.com/procesos-oxidacion-avanzada.pdf>

Kubel, W. y Tiemann, F. (1874). *Anleitung zur Untersuchung von Wasser, welches zu gewerblichen und häuslichen Zwecken oder als Trinkwasser benutzt werden soll*. Bibliothek des Deutschen Museums.

Lenntech. (2015). *Oxidación avanzada*. <https://www.lenntech.es/oxidacion-avanzada.htm>

López, C., Moreira, M., Feijoo, G. y Lema, J. (2007). Tecnologías para el tratamiento de efluentes de industrias textiles. *Afinidad*, 64(531), 561-573.

López, V. y Crespi, M. (2015). *Gestión de los efluentes de la industria textil*. <https://www.inti.gob.ar/ue/pdf/publicaciones/cuadernillo18.pdf>

Lucas, M. y Peres, J. (2006). Decolorization of the azo dye Reactive Black 5 by Fenton and photo-Fenton oxidation. *Dyes and Pigment*, 71, 236-244.

Mansilla, H., Lizama, C., Gutarra, A. y Rodríguez, J. (2001). Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil. *Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea*, 2(2), 285-294.

Medina, C., Montero, E., y Cruz, L. (2016). Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(4), 454-466.

OEFA. (2014). *FISCALIZACIÓN AMBIENTAL EN AGUAS RESIDUALES*. [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)

- Pekakis, P., Xekoukoulatakis, N. y Mantzavinos, D. (2006). Treatment of textile dyehouse wastewater by TiO<sub>2</sub> photocatalysis. *Water Research*, 40(6), 1276-1286.
- Pérez, V., Rodríguez, C. y Ingar, B. (2010). *Sector textil del Perú*. Estudios de Perú, CENTRUM, <http://artesianiatextil.com/wp-content/uploads/2017/04/BRLA-Peruvian-Textile-Industry-201003.pdf>
- Pey, J. (2008). *Aplicación de procesos de oxidación avanzada (Fotocatálisis solar) para el tratamiento y reutilización de efluentes textiles* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/2241/tesisUPV2816.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PRODUCE (2015). *INDUSTRIA TEXTIL Y CONFECCIONES Estudio de Investigación Sectorial*. Estudios de Perú, Ministerio de la Producción, [https://ogeiee.produce.gob.pe/images/oe/docTrab\\_Textil.pdf](https://ogeiee.produce.gob.pe/images/oe/docTrab_Textil.pdf)
- Ramalho, R. (1977). *Introduction to Wastewater Treatment Processes*. Academic Press, Inc.
- Rojas, R. (2002). Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales*, 1(1), 8-15.
- Rosales, R. (2017). *Reducción del contenido de colorantes en efluentes de la industria textil usando el proceso fenton, Zarate* [Tesis de Título, Universidad César Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/16614/ROS\\_ALES\\_PR.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/16614/ROS_ALES_PR.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



- Salas, G. (2003). Tratamiento físico-químico de aguas residuales de la industria textil. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 6(2), 64-71.
- Salas, G. (2010). Tratamiento por oxidación avanzada (reacción fenton) de aguas residuales de la industria textil. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 13(1), 30-38.
- Sánchez, Y. (2003). *OPTIMIZACIÓN DEL CÁLCULO DE RECURSOS PRODUCTIVOS PARA COTIZACIÓN EN UNA EMPRESA DE CONFECCIONES* [Tesis de Título, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].  
[https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/sanchez\\_ay/sanchez\\_ay.PDF](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/sanchez_ay/sanchez_ay.PDF)
- Sanz, J. (2011). *Alternativas operacionales en tecnologías de oxidación avanzada para el tratamiento de efluentes de alta carga contaminante* [Tesis de doctorado, Universidad del País Vasco].  
<https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/12333/SanzAlonso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sanz, J., Lombraña, J. y Luis, A. (2012). Estado del arte en la oxidación avanzada a efluentes industriales: nuevos desarrollos y futuras tendencias. *Revista AFINIDAD LXX*, 561, 25-33.
- SENASBA. (2015). *Guía para la toma de muestras de agua residual*.  
[https://www.bivica.org/files/5376\\_aguas-residuales-muestra.pdf](https://www.bivica.org/files/5376_aguas-residuales-muestra.pdf)
- Terán, G., Posligua, P. y Banchón, C. (2015). Dosificación mínima del reactivo Fenton para la remediación de agua contaminada con colorantes. *Enfoque UTE*, 6(3), 65-80.

Terán, M. (2016). *Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas* [Tesis de grado, Universitat Politècnica de Catalunya].

[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88273/01\\_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88273/01_TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Tinoco, O., Medina, A. y Zapata, H. (2011). Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. *Industrial Data*, 14(2), 9-15.

Tito, B. (2020). *Tipos de Plantas tratadoras de aguas residuales (para tratamiento)*. <https://ingenieriaambiental.net/plantas-tratadoras-de-aguas-residuales/>

UN- Water. (2015). *Wastewater Management a UN-Water Analytical Brief*. <https://www.unwater.org/app/uploads/2017/05/UN-Water-Analytical-Brief-Wastewater-Management.pdf>

Vedrenne, M., Vasquez-Medrano, R., Prato-García, D., Frontana-Uribe, B. y Ibanez, J. (2012). Characterization and detoxification of a mature landfill leachate using a combined coagulation-flocculation/photo-Fenton treatment. *Journal of Hazardous Materials*. 205, 208-215.

Veleglaki, T., Poullos, I., Charalabaki, M., Kalogerakis, N., Samaras, P. y Mantzavinos, D. (2006). Photocatalytic and sonolytic oxidation of acid orange 7 in aqueous solution. *Applied Catalysis B: Environmental*, 62, 159-168.

Xicota, E. (2018). *La industria de la moda y la contaminación del agua*. <https://www.esterxicota.com/impactos-moda->



**X. ANEXOS:**

**Informes de Análisis:**

**Figura A1**

*Informe de ensayo*



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS  
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**

**INFORME DE ENSAYO**

**IE-140621-02**

**1. DATOS DEL CLIENTE**

1.1 Cliente : ALVARO BERNARDO  
1.2 RUC/DNI : 74771193

**2. FECHAS**

2.1 Inicio : 14 de Junio de 2021  
2.2 Fin : 21 de Junio de 2021  
2.3 Emisión de informe : 24 de Junio de 2021

**3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO**

3.1 Temperatura : 19.8 °C  
3.2 Humedad Relativa : 54 %

**4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA**

4.1 Ensayo solicitado y método de ensayo : Tratamiento de agua (Prueba de Jarras) / Fenton  
Sólidos Totales / SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B.23nd Ed  
pH / SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H  
Conductividad Eléctrica / SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510B.23nd Ed  
Turbidez / SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130B.23nd Ed  
Demanda Química de Oxígeno (DQO) / SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed.

**5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA**

Tabla N°1: Datos de la muestra analizada

Código Interno de Muestra	Código de Cliente	Tipo de Muestra	Datos Adicionales
S-1680	AGUA RESIDUAL	Agua Residual	--

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

**DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO**  
QUÍMICO  
CQP. 1337

## Figura A2

### Informe de pruebas a realizar



### SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. SLAB

#### 6. DESCRIPCIÓN DE LA PARTE EXPERIMENTAL (ESTABLECIDO POR EL CLIENTE)

##### 6.1. Condiciones Generales

- Se realiza un procedimiento de tratamiento de agua por el método Fenton ( $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ).
- Las pruebas realizadas corresponden a la etapa de exploración.
- En todas las situaciones se realizan a un pH entre 3.0 a 3.5.
- Se realizan diversas unidades experimentales con la finalidad de encontrar la mejor dosis de los reactivos empleados Sulfato de hierro heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) y Peróxido de Hidrógeno 30% ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

##### 6.2. Procedimiento Experimental

###### I. Prueba de Jarras N°1

Las condiciones experimentales para esta prueba fueron las siguientes:

Tabla N°2: Prueba N°1

Tratamientos	Velocidad (rpm)	Tiempo de mezcla (min)	$\text{H}_2\text{O}_2$ 30% (mL)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (mg)
Jarra 1 (J1)	300	30	12.5	1702.5
Jarra 2 (J2)	300	30	10.0	1702.5
Jarra 3 (J3)	300	30	20.0	1800.0
Jarra 4 (J4)	300	30	25.0	1800.0

###### II. Prueba de Jarras N°2

Las condiciones experimentales para esta prueba fueron las siguientes:

Tabla N°3: Prueba N°2

Tratamientos	Velocidad (rpm)	Tiempo de mezcla (min)	$\text{H}_2\text{O}_2$ 30% (mL)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (mg)
Jarra 1 (J1)	300	30	2.40	200.0
Jarra 2 (J2)	300	30	2.40	250.0
Jarra 3 (J3)	300	30	2.40	300.0
Jarra 4 (J4)	300	30	2.40	400.0

###### III. Prueba de Jarras N°3

Las condiciones experimentales para esta prueba fueron las siguientes:

Tabla N°4: Prueba N°3

Tratamientos	Velocidad (rpm)	Tiempo de mezcla (min)	$\text{H}_2\text{O}_2$ 30% (mL)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (mg)
Jarra 1 (J1)	300	30	12.5	200.0
Jarra 2 (J2)	300	30	10.0	250.0
Jarra 3 (J3)	300	30	20.0	300.0

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
 DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
 QUÍMICO  
 CQP. 1337

### Figura A3

Informe de resultados obtenidos primera y segunda semana



### SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. SLAB

7. RESULTADOS  
7.1. Resultados Obtenidos

Tabla N°5: RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO Muestra Inicial
Sólidos Totales	mg/L	12,270.00
pH	U. pH	11.91
Conductividad Eléctrica	uS/cm	13,330.00
Turbidez	NTU	629.0
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	1017.10

Tabla N°6: Resultados de la Prueba de Jarras N°1

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultado J1	Resultado J2	Resultado J3	Resultado J4
Sólidos Totales	mg/L	1040	6560	6480	6300
pH	U. pH	3.16	3.17	3.18	3.18
Conductividad Eléctrica	mS/cm	8.665	8.626	8.626	8.372
Turbidez	NTU	153	152	182	235
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	326.7	306.5	276.2	296.8

Tabla N°7: Resultados de la Prueba de Jarras N°2

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultado J1	Resultado J2	Resultado J3	Resultado J4
Sólidos Totales	mg/L	5510	3910	5460	6070
pH	U. pH	3.38	3.38	3.37	3.37
Conductividad Eléctrica	mS/cm	8.453	8.298	8.273	8.204
Turbidez	NTU	9.22	18.0	34.2	25.2
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	137.9	155.3	152.9	148.9

Tabla N°8: Resultados de la Prueba de Jarras N°3

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultado J1	Resultado J2	Resultado J3
Sólidos Totales	mg/L	4270	4900	4400
pH	U. pH	3.42	3.42	3.4
Conductividad Eléctrica	mS/cm	8.375	8.251	8.231
Turbidez	NTU	57.0	69.8	29.6
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	132.1	143.6	134.9

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

FIN DEL DOCUMENTO

DIEGO ROMÁN VERGARÁ D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

## Figura A4

Informe de resultados obtenidos tercera y cuarta semana



### SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. SLAB

#### 7. RESULTADOS 7.1. Resultados Obtenidos

Tabla N°3: RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO Muestra Inicial
Sólidos Totales	mg/L	8,135.00
pH	U. pH	9.51
Conductividad Eléctrica	uS/cm	15,660.00
Turbidez	NTU	69.3
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	389.5

Tabla N°4: Resultados de la Prueba de Jarras (repetición N°1)

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
		J1	J2	J3	J4
Sólidos Totales	mg/L	2810	2870	2780	2540
pH	U. pH	3.56	3.5	3.45	3.45
Conductividad Eléctrica	mS/cm	4.804	4.819	4.871	4.915
Turbidez	NTU	1.54	1.64	1.78	2.58
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	48.2	51.6	52.8	70.2

Tabla N°5: Resultados de la Prueba de Jarras (repetición N°2)

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
		J1	J2	J3	J4
Sólidos Totales	mg/L	2910	2870	2680	2570
pH	U. pH	3.62	3.54	3.45	3.34
Conductividad Eléctrica	mS/cm	4.655	4.759	4.810	4.823
Turbidez	NTU	1.58	1.74	1.62	2.53
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	45.6	47.5	48.3	72.6

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
 DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
 QUÍMICO  
 CQP. 1337



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS  
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**

**Tabla N°6: Resultados de la Prueba de Jarras (repetición N°3)**

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultado J1	Resultado J2	Resultado J3	Resultado J4
Sólidos Totales	mg/L	2800	2890	2750	2540
pH	U. pH	3.59	3.49	3.38	3.35
Conductividad Eléctrica	mS/cm	4.761	4.787	4.843	4.867
Turbidez	NTU	1.41	1.56	1.67	2.23
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	42.2	49.6	48.4	68.3

**Tabla N°7: Resultados de la Prueba de Jarras (Promedios)**

PARÁMETRO	UNIDAD	Resultado Inicial	Resultado J1	Resultado J2	Resultado J3	Resultado J4
Sólidos Totales	mg/L	8,135.00	2840	2877	2737	2550
pH	U. pH	9.51	3.59	3.51	3.43	3.38
Conductividad Eléctrica	mS/cm	15.660	4.740	4.788	4.841	4.868
Turbidez	NTU	69.3	1.51	1.65	1.69	2.45
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	389.5	45.3	49.6	49.8	70.4

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

**SLab**  
Laboratorio de ensayo e investigación

  
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337



**Instrumentos utilizados para medir:**

**Figura B1**

*Medidor de Turbidez*



**Figura B2**

*Multiparámetro (pH y CE)*

