



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**  
**REMOCIÓN DE NITRÓGENO TOTAL POR OXIDACIÓN AVANZADA EN**  
**LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO “EL ZAPALLAL”, CARABAYLLO, 2022**

**Línea de investigación:**

**Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Santiago Pacheco, Julio Cesar

**Asesor:**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar  
(ORCID: 0000-0002-2873-6752)

**Jurado:**

Sánchez Carrera, Dante Pedro  
Gonzales Alarcón, Angelino Óscar  
Martínez Cabrera, Rubén

**Lima - Perú**

**2023**

## REPORTE DE ANÁLISIS DE SIMILITUD

Archivo:	1A-Santiago Pacheco Julio Cesar-Titulo Profesional-2022
Fecha del análisis:	27/09/2022
Operador del programa informático:	Gamarra Jiménez, David Milton
Correo del operador del Programa informático:	dgamarra@unfv.edu.pe
Porcentaje:	21%
Título	<b>REMOCIÓN DE NITRÓGENO TOTAL POR OXIDACIÓN AVANZADA EN LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO "EL ZAPALLAL", CARABAYLLO, 2022</b>
Asesor:	Vásquez Aranda, Ahuber Omar
Enlace:	<a href="https://secure.arkund.com/old/view/138264315-855678-583671#DYk7SkRRFAT38uJCzv/jVsRABpUJnGRCce9eGoru6t/r53m9vgmKHhwa6migiRba6KCLYYIpdopjgSVWWGODLY4LrrjhpweeeOGND74EIYQSRjhxZhJFNDHEkqSQShrpZJDHFNnkkEtRQiIIIFNBjXVku0MtTQuttNFOB5100ccPvQwjjDLGOBNMMsU0c67IRFhIjXU22Hznet6/H/e v++3jcfu8XuXFxEtKxiV3utf//gE=">https://secure.arkund.com/old/view/138264315-855678-583671#DYk7SkRRFAT38uJCzv/jVsRABpUJnGRCce9eGoru6t/r53m9vgmKHhwa6migiRba6KCLYYIpdopjgSVWWGODLY4LrrjhpweeeOGND74EIYQSRjhxZhJFNDHEkqSQShrpZJDHFNnkkEtRQiIIIFNBjXVku0MtTQuttNFOB5100ccPvQwjjDLGOBNMMsU0c67IRFhIjXU22Hznet6/H/e v++3jcfu8XuXFxEtKxiV3utf//gE=</a>

  
Ing. CARLOS FERNANDO BALLARDO REYES  
Jefe (e)  
Oficina de Grados y Gestión del Egresado

Jefe de la Oficina de Grados y Gestión del Egresado



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
REMOCION DE NITROGENO TOTAL POR OXIDACION AVANZADA EN  
LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO “EL ZAPALLAL”, CARABAYLLO,  
2022

Línea de investigación: Tecnologías para residuos y pasivos ambientales.

Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Santiago Pacheco, Julio Cesar

**Asesor:**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar  
(ORCID: 0000-0002-2873-6752)

**Jurado:**

Sánchez Carrera, Dante Pedro  
Gonzales Alarcón, Angelino Óscar  
Martínez Cabrera, Rubén

Lima – Perú

2023

## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>I. Introducción.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Descripción y formulación del problema .....</b>	<b>11</b>
1.1.1. Descripción del problema.....	11
1.1.2. Formulación del problema .....	12
<b>1.2 Antecedentes .....</b>	<b>13</b>
1.2.1. Antecedentes Internacionales .....	13
1.2.2. Antecedentes Nacionales .....	16
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>20</b>
1.3.1. Objetivo General.....	20
1.3.2. Objetivos Específicos .....	20
<b>1.4 Justificación .....</b>	<b>20</b>
<b>1.5 Hipótesis.....</b>	<b>21</b>
1.5.1. Hipótesis General.....	21
1.5.2. Hipótesis Específicas.....	21
<b>II. Marco Teórico.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 Bases Teóricas sobre el tema de Investigación .....</b>	<b>22</b>
2.1.1. Relleno Sanitario.....	22
2.1.2. Lixiviados.....	23
2.1.3. Características y Composición del Lixiviado .....	24
2.1.4. Cantidad de Lixiviados.....	27
2.1.5. Tratameinto de Lixiviado de Relleno Sanitario .....	28
2.1.6. Procesos de Oxidación Avanzada .....	28
2.1.7. Clasificación de los POA .....	29
2.1.8. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	30
2.1.9. Ventajas y Desventajas del proceso UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	31
2.1.10. Técnica Fenton .....	31
2.1.11. Reacción Fenton .....	32
2.1.12. Dosificación de Fenton.....	33

2.1.13.	Reactividad del Radical Hidroxilo .....	34
2.1.14.	Factores que afectan el proceso Fenton .....	34
2.1.15.	Principio Foto-Fenton.....	34
2.1.16.	Variables que influyen en el proceso Foto Fenton .....	35
2.1.17.	Precipitación Química .....	35
2.1.18.	Coagulación y Floculación .....	37
2.1.19.	Método de Jarras .....	38
2.1.20.	Relleno Sanitario El Zapallal.....	38
2.1.21.	Definición de Términos.....	39
2.1.22.	Base Legal Ambiental .....	41
<b>III.</b>	<b>Método .....</b>	<b>46</b>
3.1	Tipo de investigación.....	46
3.2	Ámbito temporal y espacial.....	46
3.2.1.	Ámbito temporal .....	46
3.2.2.	Ámbito espacial .....	46
3.3	Variables .....	47
3.3.1.	Variable Independiente .....	47
3.3.2.	Variable Dependiente .....	47
3.4	Población y muestra .....	49
3.4.1.	Población.....	49
3.4.2.	Muestra .....	49
3.5	Instrumentos .....	49
3.5.1.	Técnicas.....	49
3.5.2.	Instrumentos.....	49
3.5.3.	Equipos.....	49
3.6	Procedimiento .....	50
3.6.1.	Monitoreo en Campo .....	50
3.6.2.	Ensayo Experimental.....	50
3.6.3.	Determinación de Nitrogeno Total.....	52
3.6.4.	Análisis de Resultados .....	52
3.7	Análisis de datos .....	53
<b>IV.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>54</b>

<b>4.1</b>	<b>Caracterización del Lixiviado:</b> .....	<b>54</b>
<b>4.2</b>	<b>Tratameinto para la Determinación de las dosis óptima de remoción de NT ..</b>	<b>55</b>
4.2.1.	Tratamiento 1 .....	55
4.2.2.	Tratamiento 2 .....	56
4.2.3.	Tratamiento 3 .....	58
4.2.4.	Tratamiento 4 .....	59
4.2.5.	Tratamiento 5 .....	60
4.2.6.	Tratamiento 6 .....	62
4.2.7.	Tratamiento 7 .....	63
4.2.8.	Tratamiento 8 .....	64
<b>4.3</b>	<b>Determinación de la eficiencia en la remoción de Nitrógeno Total .....</b>	<b>66</b>
4.3.1.	Eficiencias en la remoción de Nitrógeno Total en medio alcalino .....	66
4.3.2.	Eficiencias en la remoción de Nitrógeno Total en medio ácido .....	67
<b>4.4</b>	<b>Análisis Estadístico .....</b>	<b>69</b>
<b>4.5</b>	<b>Contrastación de Hipotesis.....</b>	<b>74</b>
<b>V.</b>	<b>Discusión de resultados .....</b>	<b>72</b>
<b>VI.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>78</b>
<b>VII.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>79</b>
<b>VIII.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>80</b>
<b>IX.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>87</b>
9.1	Matriz de consistencia.....	87

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Procesos No Fotoquímicos y Fotoquímicos</i> .....	30
<b>Tabla 2</b> <i>Operacionalización de Variables de Investigación</i> .....	48
<b>Tabla 3</b> <i>Caracterización Fisicoquímica del Lixiviado</i> .....	54
<b>Tabla 4</b> <i>LMP-Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes. República de Ecuador</i> .....	54
<b>Tabla 5</b> <i>Resultados de Nitrógeno Total a pH 8.1 y al 15% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> .....	55
<b>Tabla 6</b> <i>Resultados de Nitrógeno Total a pH 8.1 y al 25% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> .....	57
<b>Tabla 7</b> <i>Resultados de Nitrógeno Total a pH 8.1 y al 35% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> .....	58
<b>Tabla 8</b> <i>Resultados de Nitrógeno Total a pH 8.1 y al 50% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> .....	59
<b>Tabla 9</b> <i>Resultados de Nitrógeno Total a pH 3.5 y al 15% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> .....	61
<b>Tabla 10</b> <i>Resultados de Nitrógeno Total a pH 3.5 y al 25% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> .....	62
<b>Tabla 11</b> <i>Resultados de Nitrógeno Total a pH 3.5 y al 35% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> .....	63
<b>Tabla 12</b> <i>Resultados de Nitrógeno Total a pH 3.5 y al 50% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> .....	65
<b>Tabla 13</b> <i>Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 15% a pH 8.1 para la remoción de Nitrógeno Total</i> .....	66
<b>Tabla 14</b> <i>Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 25% a pH 8.1 para la remoción de Nitrógeno Total</i> .....	66
<b>Tabla 15</b> <i>Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 35% a pH 8.1 para la remoción de Nitrógeno Total</i> .....	67
<b>Tabla 16</b> <i>Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50% a pH 8.1 para la remoción de Nitrógeno Total</i> .....	67
<b>Tabla 17</b> <i>Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 15% a pH 3.5 para la remoción de Nitrógeno Total</i> .....	68
<b>Tabla 18</b> <i>Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 25% a pH 3.5 para la remoción de Nitrógeno Total</i> .....	68
<b>Tabla 19</b> <i>Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 35% a pH 3.5 para la remoción de Nitrógeno Total</i> .....	68
<b>Tabla 20</b> <i>Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50% a pH 3.5 para la remoción de Nitrógeno Total</i> .....	69
<b>Tabla 21</b> <i>Data para aplicación estadística en la remoción de NT por oxidación avanzada</i> ... 70	
<b>Tabla 22</b> <i>Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%</i> .....	73

<b>Tabla 23</b> <i>Contrastación de la hipótesis de Investigación</i> .....	74
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Visualización geográfica del Relleno Sanitario El Zapallal</i> .....	39
<b>Figura 2</b> <i>Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 1</i> .....	56
<b>Figura 3</b> <i>Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 2</i> .....	57
<b>Figura 4</b> <i>Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 3</i> .....	58
<b>Figura 5</b> <i>Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 4</i> .....	60
<b>Figura 6</b> <i>Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 5</i> .....	61
<b>Figura 7</b> <i>Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 6</i> .....	62
<b>Figura 8</b> <i>Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 7</i> .....	64
<b>Figura 9</b> <i>Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 8</i> .....	65
<b>Figura 10</b> <i>Prueba de normalidad de residuos AD para la disminución de NT</i> .....	71
<b>Figura 11</b> <i>EEficiencia de tratamientos de disminución de NT por oxidación avanzada</i> .....	73

## RESUMEN

Uno de los principales problemas de los lixiviados del Relleno Sanitario El Zapallal en Carabayllo, es la presencia de materia orgánica refractaria con elevadas concentraciones de Nitrógeno Total (NT), en tal sentido, en la presente investigación se desarrolló una metodología basada en Procesos de Oxidación Avanzada y Jar Test, a fin de remover las elevadas concentraciones de Nitrógeno Total. El procedimiento de inició con la caracterización de los parámetros de Temperatura, pH, Conductividad, DQO, DBO, SST, Turbiedad, NT y PT, a fin de conocer sus valores iniciales, y en particular del NT quien sería sometido a tratamiento, luego se preparó el oxidante a partir de  $H_2O_2$  al 15, 25, 35 y 50% y el catalizador de  $FeSO_4$  de 5 g/l. Se desarrollaron 8 tratamientos, donde los cuatro primeros fueron trabajados en medio alcalino a un  $pH=8.1$ , al 15, 25, 35 y 50% del oxidante, y los otros cuatro tratamientos en medio ácido a un  $pH=3.5$  con las mismas concentraciones del oxidante, y con dosis en cada una de las jarras a ensayar de 5, 10, 15, 20 y 25 ml y una dosis única de  $Fe^{+2}$  de 20 ml. Los ensayos se realizaron en el floculador, a 250 rpm y por 30 minutos hasta alcanzar una homogenización y reacción completa del oxidante, para pasar a la etapa de sedimentación de 30 minutos y proceder a la toma de muestra del sobrenadante y determinación residual de NT. Se concluyó finalmente que las eficiencias obtenidas en medio alcalino para la remoción de NT, para las concentraciones del 15, 25, 35 y 50%, estuvieron en el rango del el 0.18 y 26.6 %, no siendo muy significativa, mientras que las eficiencias alcanzadas en medio ácido estuvieron en el rango del 72.9 y 84.1% las cuales resultaron ser bastante significativas.

**Palabras Clave:** Relleno Sanitario, Lixiviado, Nitrógeno Total, Procesos de Oxidación Avanzada, Jar Test.

## ABSTRACT

One of the main problems of the leachates from the El Zapallal Sanitary Landfill in Carabayllo is the presence of refractory organic matter with high concentrations of Total Nitrogen (NT), in this sense, in the present investigation a methodology based on Oxidation Processes was developed. Advanced and Jar Test, in order to remove the high concentrations of Total Nitrogen. The procedure began with the characterization of the parameters of Temperature, pH, Conductivity, COD, BOD, SST, Turbidity, NT and PT, in order to know their initial values, and in particular of the NT who would be subjected to treatment, then prepared the oxidant from H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> at 15, 25, 35 and 50% and the catalyst from FeSO<sub>4</sub> at 5 g/l. Eight treatments were developed, where the first four were worked in an alkaline medium at pH=8.1, at 15, 25, 35 and 50% of the oxidant, and the other four treatments in an acid medium at pH=3.5 with the same concentrations of the oxidant. oxidant, and with doses in each of the jars to be tested of 5, 10, 15, 20 and 25 ml and a single dose of Fe<sup>+2</sup> of 20 ml. The tests were carried out in the flocculator, at 250 rpm and for 30 minutes until reaching homogenization and complete reaction of the oxidant, to proceed to the 30-minute sedimentation stage and proceed to take a sample of the supernatant and residual determination of NT. It was finally concluded that the efficiencies obtained in alkaline medium for the removal of NT, for concentrations of 15, 25, 35 and 50%, were in the range of 0.18 and 26.6%, not being very significant, while the efficiencies reached in acid medium, they were in the range of 72.9 and 84.1% which turned out to be quite significant.

**Keywords:** Sanitary Landfill, Leachate, Total Nitrogen, Advanced Oxidation Processes, Jar Test.

## I. INTRODUCCIÓN

Tanto en los rellenos sanitarios como en los botaderos se produce lixiviados, lo cual representa una problemática a nivel mundial, debido a su nivel elevado de contaminantes orgánicos refractarios. Los lixiviados son diferentes tanto en volumen como en su composición química, se generan como consecuencia de los residuos, la humedad y la percolación de líquidos a través de los desechos durante el proceso de estabilización (Méndez et al., 2019).

Los lixiviados son líquidos oscuros que se producen por la descomposición de la materia orgánica se caracteriza por contener grandes concentraciones de carga orgánica, principalmente su elevada DQO, baja bio-degradabilidad, presencia de Nitrógeno en sus diferentes formas y color oscuro intenso, siendo una manera de aprovechar los lixiviados mediante la producción de energía en forma de biogás (Baldeon, 2020).

El tratamiento de lixiviados para preservar el medio ambiente tradicionalmente se centra en la remoción de sólidos disueltos, patógenos y materia orgánica; sin embargo en la actualidad se interesa la remoción de nutrientes de Nitrógeno y fosforo, especialmente el nitrógeno orgánico amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), cuya presencia en los recursos principalmente hídricos genera variaciones en los parámetros físico-químicos del agua generando incremento de la acidez, de toxicidad y de eutrofización del ecosistema acuático, así mismo tenemos los riesgos para la salud humana debido a su ingesta o por relación con toxinas liberadas por las cianobacterias en ambientes eutrofizados (Venegas, 2022).

En el presente estudio, como respuesta al tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario El Zapallal en Carabayllo, se aplicarán los POAs, basados en el reactivo Fenton, que han demostrado ser adecuados para el tratamiento de lixiviados con características refractarias, llegando a obtener eficiencias importantes de remoción del 76.7 % para DQO, 76.4% para Color Real y 50% para sustancias húmicas (Moravia et al., 2011).

## **1.1 Descripción y formulación del problema**

### **1.1.1. Descripción del problema**

El crecimiento poblacional, el aumento del poder adquisitivo y la facilidad de acceso a los bienes de consumo han provocado un incremento en la producción de residuos sólidos municipales (Gouveia, 2012). En la actualidad, por razones económicas y disponibilidad de áreas, los RSU son en su mayoría dispuestos en rellenos sanitarios (Poznyak, 2008; Kaartinen et al., 2013). Los residuos sólidos dispuestos en las celdas de los rellenos sanitarios pasan por una serie de procesos de descomposición física, química y biológica, generando gases, así como fluidos oscuros de composición variable, ambos altamente contaminantes. Este fluido, denominado lixiviado, se forma por la humedad de los desechos orgánicos sumado a la precipitación e infiltración llegan a transportar los productos degradados en los vertederos (Baun et al., 2003; Foul et al., 2009). El proceso de degradación varía con la edad del relleno sanitario y se puede dividir en cuatro etapas: aeróbica, anaeróbica inicial, anaeróbico metanogénico y estabilización (Kjeldsen et al., 2002).

El manejo y tratamientos fisicoquímicos a nivel mundial utilizan los vertederos como uno de los métodos más comunes para gestionar los residuos sólidos urbanos (Renou, et al., 2008). La percolación del agua de lluvia a través del relleno sanitario, junto con la generación de líquidos durante la estabilización de los residuos sólidos, generan volúmenes considerables de lixiviados. Las características de los lixiviados de vertederos municipales pueden variar, dependiendo de ciertos factores como el tipo de residuos sólidos urbanos, la variación climática estacional, los porcentajes de humedad o la antigüedad del vertedero, entre otros (kjeldsen et al., 2002).

Debido al bajo costo y de operación, los sistemas convencionales como fisicoquímicos y biológicos por lo general son los más utilizados en el tratamiento de este tipo de efluentes, pero cabe recalcar que con el envejecimiento del vertedero, la fracción biodegradable se reduce y el lixiviado en su mayor parte presenta sustancias de elevado peso molecular y formaciones complejas en su estructura

como las sustancias húmicas (Mahmoud et al., 2011), altas concentraciones de nitrógeno amoniacal y otras sustancias altamente tóxicas, que inducen la inhibición de los microorganismos en los sistemas de tratamiento biológico (Rocha et al., 2011).

Los lixiviados de vertederos maduros contienen una elevada concentración de amonio, altos niveles de materia orgánica, representados principalmente por compuestos no biodegradables como los ácidos húmicos, y un alto grado de salinidad (Renou, et al., 2008). Para la eliminación de los contaminantes en los lixiviados de los vertederos una de las técnicas más utilizada en la remoción de nitrógeno es la extracción de amoníaco (Kurniawan et al., 2006), no obstante, este proceso resulta costoso debido al elevado consumo de energía necesario para la aireación, pH ajuste y tratamiento de gases. En esa misma línea tenemos, las técnicas de filtración por membranas que suelen ser utilizadas para eliminar la materia orgánica refractaria (Ozturk et al., 2003). El método de ósmosis inversa (OI) se puede utilizar para remoción de materia orgánica no biodegradable y retención de sales inorgánicas (Renou, et al., 2008), donde es preciso señalar que la alta concentración de estos compuestos orgánicos sumada a la presencia de microorganismos puede ocasionar bioincrustaciones (Characklis & Cooksey, 1983), motivo por el cual aumentaría el consumo de la energía y el acorte de la vida útil de las membranas de Osmosis Inversa (Flemming, 1997).

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cómo será la remoción de Nitrógeno Total en el tratamiento de lixiviados por Oxidación Avanzada del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo, 2022?

#### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cómo será la caracterización de los parámetros fisicoquímicos en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo?
- b) ¿Cuál será la dosis óptima del peróxido de hidrógeno para la remoción de

Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo?

- c) ¿Cómo será la eficiencia del peróxido de hidrógeno para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo?

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1. Antecedentes Internacionales

Miao et al. (2019), en su artículo científico que desarrollaron sobre: “*Recent advances in nitrogen removal from landfill leachate using biological treatments*”, recalca que los lixiviados de vertedero generados a partir de los residuos de un vertedero son un tipo de aguas residuales con elevadas concentraciones de amoníaco y compuestos orgánicos, que producen graves problemas ambientales. Gracias a sus características complejas y cambiantes es difícil eliminar el nitrógeno de los lixiviados de los vertederos de forma económica y eficaz; sin embargo, se sabe que los procesos biológicos son eficaces en la eliminación de nitrógeno. En la presente investigación los tratamientos biológicos de remoción de nitrógeno se dividieron en los siguientes procesos: proceso de nitrificación-desnitrificación convencional, proceso de nitrificación- desnitrificación, proceso de desnitrificación endógena y proceso de oxidación anaeróbica de amonio (Anammox). Concluyéndose que los procesos apropiados deben seleccionarse de acuerdo con las diferentes características de los lixiviados de los vertederos, para eliminar de manera efectiva el nitrógeno de todas las etapas de los lixiviados de los vertederos y reducir los costos de eliminación.

Anfruns et al. (2013) en su artículo científico: “*Coupling anammox and advanced oxidation-based technologies for mature landfill leachate treatment*”, planteó como objetivo evaluar la idoneidad de acoplar el proceso anammox con procesos de oxidación avanzada

(POA) para tratar lixiviados de vertederos maduros con altas concentraciones de nitrógeno y materia orgánica no biodegradable ( $2309 \pm 96$  mg N-TN L<sup>-1</sup> y  $6200 \pm 566$  mg DQO L<sup>-1</sup>). Dentro de la metodología empleada se procedió a combinar el sistema de nitrificación parcial-nammox junto con dos tecnologías basadas en AOP (coagulación/floculación + ozonización y foto-Fenton) se evaluó en términos de eliminación de nitrógeno y carbono. Obteniéndose una eficiencia de eliminación de nitrógeno total de 87 a 89 % con ambas configuraciones sin necesidad de ninguna fuente de carbono externa. Las eficiencias de eliminación de DQO alcanzadas fueron del 91 % con coagulación/floculación + ozonización y del 98 % con foto-Fenton. La aplicación del tratamiento biológico previo a tecnologías avanzadas basadas en procesos de oxidación reduciendo la cantidad de reactivos necesarios logrando mayores eficiencias de remoción. Desde un punto de vista económico básico y teniendo en cuenta los resultados de este estudio, la combinación del sistema de nitrificación parcial-anammox con el tratamiento foto-Fenton fue más favorable que el tratamiento de coagulación/floculación + ozonización.

Chávez (2011), en el estudio realizado sobre "*Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, México*" planteó como objetivo general la remoción de la DQO a niveles mayores del 90% con respecto a la concentración inicial presente en los lixiviados sin diluir del relleno sanitario de la Ciudad de Chihuahua, México. Se sometió el lixiviado a un tren de tratamiento compuesto por 4 etapas: procesos de coagulación/floculación/sedimentación mediante un coagulante inorgánico; adsorción con carbón activado; oxidación química mediante el reactivo Fenton y membranas de ósmosis inversa. Se consideró condiciones de operación óptimas en cada proceso con la finalidad de aumentar la remoción del parámetro principal: (DQO), también se realizó la caracterización de las remociones luego de cada etapa del tratamiento para los parámetros básicos: DBO<sub>5</sub>, nitrógeno total, ST y SDT. Como resultado se alcanzó remociones de tratamiento de 92, 68,

63, 46 y 45% para DQO, DBO5, Nitrógeno Total, ST y SDT respectivamente.

Alvarado (2016) en su investigación sobre: *“Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del cantón Tena provincia de Napo mediante reacción Fenton y microorganismos eficientes, 2016”*, planteó como objetivo específico: Disminuir los valores de DBO, DQO y Nitrógeno amoniacal, de los lixiviados generados en el relleno sanitario del cantón Tena mediante Reacción Fenton y Microorganismos eficientes. Dentro de la metodología empleada se procedió a caracterizar la muestra inicial del lixiviado mediante un análisis físico-químico, cuyos parámetros a determinar fueron: DBO5, DQO y nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>); dando un valor inicial de 8350 mg/L de DBO5, 15400 mg/L de DQO y 875 mg/L de N-NH<sub>3</sub>. Se empleó un pre-tratamiento para el proceso Fenton el cual consiste en la oxidación de la materia orgánica entre el FeSO<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en medio ácido. Así mismo se empleó dosis de 200, 400, 600 y 800 gr de FeSO<sub>4</sub> y mililitros de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> respectivamente, con un tiempo de reacción de 6 días a un pH 4 y se tomó muestras en cada dosis aplicada para su posterior análisis. Finalizando el proceso Fenton se calculó el índice de biodegradabilidad el cual arrojó un valor de 0.32 con el fin de afirmar la aplicación de microorganismos eficientes (EM). Los ME se activaron con melaza de caña de azúcar; Como se trató 200 L de lixiviado se utilizó una dosis de 1ml de EM activados por cada 1000 ml de lixiviado, es decir 200 ml de EM durante un mes para la máxima eficiencia del proceso microbiano. Obteniéndose porcentajes de remoción de 84.3 % de DBO5, 74 % de DQO y 84 % de N-NH<sub>3</sub>. Concluyéndose que los procesos empleados resultaron menos costosos y con cortos tiempos de remoción. Se recomienda a los municipios emplear estas tecnologías para minimizar la contaminación generada por lixiviados.

Klauck et al. (2016), en su artículo científico sobre: *“Toxicity elimination of landfill leachate by hybrid processing of advanced oxidation process and adsorption”*, mencionan que los lixiviados de vertedero son efluentes de alta carga contaminante, en principalmente lo que

proviene de vertederos estabilizados, por lo cual son difíciles de tratar por procesos biológicos gracias a su alta toxicidad que inhibe la microbiología. Este estudio trata procesos como la fotoelectrooxidación (PEO) y la adición de carbón activado (PEO+AC) para el tratamiento de los lixiviados de un relleno sanitario estabilizado, así como la influencia de estos procesos en la eliminación de la toxicidad del lixiviado mediante bioensayos en *Allium cepa* (bulbos de cebolla). Obteniendo que el proceso de PEO mejoró la biodegradabilidad del efluente y, logró una remoción de nitrógeno amoniacal del 44%. Sin embargo, el PEO no redujo la toxicidad del efluente, por el contrario, provocó un aumento de compuestos orgánicos de las especies. La integración de los procesos de PEO y carbón activado, han mejorado la eficiencia del tratamiento, presentando una remoción de DQO, nitrógeno amónico y nitrógeno total del 67,2%, 58,3% y 48,4%, respectivamente. Luego del tratamiento con PEO+AC, todas las concentraciones ensayadas redujeron la toxicidad del efluente y no difirieron en el parámetro del índice mitótico del control negativo, lo que indica también la eliminación de la citotoxicidad en *Allium cepa*.

### **1.2.2. Antecedentes Nacionales**

Yaranga (2021) en su estudio sobre: *“Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín”*, planteó como objetivo: Determinar las eficiencias de los procesos de oxidación Fenton y Foto-Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del Botadero “El Porvenir”. Dentro de la metodología empelada se procedió a determinar las características físicas y químicas de los lixiviados, evaluar la influencia del pH y determinar la relación del  $H_2O_2$  y sulfato ferroso ( $Fe^{+2}$ ) que maximiza la eficiencia en la comparación de los procesos de oxidación. Así mismo se tomó 2 muestras de lixiviados del Botadero El Porvenir, y se analizaron para determinar su caracterización; también se utilizó 2 relaciones molares de 2:1 y

4:1 entre Fe(II): H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; y pH ácidos de 3 y 4. Se obtuvieron como resultados del análisis inicial de caracterización de la muestra (sin tratamiento) de lixiviados, concentraciones de 55818,00 ppm de DQO y 9058,00 ppm de DBO, mientras que la remoción de carga orgánica fue evaluada en términos de DQO. Concluyéndose que los resultados óptimos para un pH de 4 y para una relación molar de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : Fe(II) de 2:1; se obtuvieron adicionando una solución de ácido sulfúrico a 2N y con una concentración de 400 ppm de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> con 200 ppm de sulfato de hierro respectivamente alcanzando una eficiencia de remoción de DQO de 53,66% para el tratamiento Fenton y 90,68% para el tratamiento foto-Fenton, en términos de partes por millón corresponde a un residuo de DQO de 5201,67 ppm y 25865,00 ppm para cada proceso respectivamente. Es así que el proceso foto-Fenton logró mayores remociones por la radiación UV que aceleró la mineralización de los compuestos orgánicos.

Barrantes (2020), en su estudio sobre: *“Remoción de Parámetros Fisicoquímicos del Lixiviado del Botadero Controlado “La Pushura”, mediante Proceso de Oxidación Avanzada, Jaén, Cajamarca”*, planteó como uno de sus objetivos específicos: Determinar la dosificación óptima del reactivo Fenton en el tratamiento de lixiviado. Dentro de la metodología en esta investigación se considera que la ciudad de Jaén dispone sus residuos sólidos en un botadero controlado, donde se genera por diversos factores el percolado: lixiviado, los cuales no presentan un tratamiento. La variable de estudio para el proceso Fenton fue la proporción de mezcla [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]/[Fe<sup>2+</sup>] (0, 2, 4, 6 y 8) y el factor fijo de pH (4). Concluyendo que el tratamiento óptimo se obtuvo bajo las condiciones [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]/[Fe<sup>2+</sup>] de 6, con un tiempo de 20 minutos de reacción los cuales fueron suficientes para alcanzar un 73.29 % de remoción de la DQO y para 1 hora de reacción se alcanzó 89 y 76.35 % de remoción para el color y la turbiedad, respectivamente; es así que los POA y el proceso Fenton son una alternativa de tecnología atractiva y eficiente para el tratamiento de lixiviados.

Tito (2020) en su artículo científico sobre: “*Degradación de la carga orgánica de lixiviado maduro mediante proceso de oxidación avanzada H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV/TiO<sub>2</sub> en reactor anular, Junín – Perú*”, planteó como objetivo: Determinar la Degradación de la carga orgánica de lixiviado maduro mediante el proceso de oxidación avanzada H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV/TiO<sub>2</sub> en un reactor anular fotocatalítico del relleno sanitario de la Municipalidad Provincial de Concepción. Dentro de la metodología de estudio se tiene que el proceso fotocatalítico estableció al TiO<sub>2</sub> como catalizador, al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como oxidante y una lámpara UV como fuente de radiación; así mismo se procedió a elaborar un diseño estadístico con 3 factores: concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pH y tiempo de operación del equipo; cada factor contó con 5 niveles: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (2600, 2800, 3000, 3500 y 4400 mg/L), pH (2.6, 2.8, 3, 3.2 y 3.36) y tiempo (11, 15, 20, 25 y 29 minutos). Obteniendo como resultado los siguientes valores óptimos para la degradación de la carga orgánica: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (2600 mg/L), pH (3.3) y tiempo (20 minutos). Concluyéndose que el POA TiO<sub>2</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es eficiente degradando el lixiviado de un relleno sanitario urbano.

Zevallos (2019) en su estudio sobre: “*Sistema de Tratamiento de Lixiviados procedentes del Relleno Sanitario de Zapallal utilizando nanofiltros de grafeno con hierro, 2019*”, planteó como objetivo: Determinar la eficiencia del nanofiltro de grafeno con hierro para reducir concentración de contaminantes en lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal. Dentro de la metodología empleada en esta investigación se consideró como población el volumen total de lixiviado de la prueba piloto, donde se empleó una muestra de 20 litros de lixiviados del relleno sanitario; posteriormente se realizó 5 dosis: 3 g. de óxido de grafeno, 3 g de óxido de grafeno y 0.25 g de NPs de Fe, 3 g de óxido de grafeno y 0.50 g de NPs de Fe, 3 g de óxido de grafeno y 0.75 g de NPs de Fe, y 3 g de óxido de grafeno y 1 g de NPs de Fe; llevando a evaluación la variación de las propiedades fisicoquímicas y metálicas. Obteniéndose como resultados que la dosis de 3 g. de óxido de grafeno en el nanofiltro, fue la dosis óptima para el tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de Zapallal, la

cual logró una mayor reducción de contaminantes Pb, Ca, AyG con 1.119 mg/L, 31.094 mg/L y 5,26 mg/L respectivamente. Concluyéndose que el nanofiltro de grafeno con hierro es eficiente en el sistema de tratamiento de lixiviados logrando 85,160%, 97.473% y 36.783% de remoción de Pb, Ca, AyG respectivamente, con una dosis de 3g óxido de grafeno.

Mayorca (2017), en su estudio sobre: *“Reducción de la Carga Orgánica en Lixiviado estabilizado del Botadero Municipal de San Ramón mediante Oxidación Avanzada Foto-Fenton”*, planteó como objetivo general: Determinar la reducción de la carga orgánica en lixiviado maduro del botadero municipal de San Ramón mediante oxidación avanzada Foto – Fenton. Dentro de la metodología empleada se utilizó un colector parabólico solar y un tubo de borosilicato de 16 mm de diámetro, conformando el proceso Foto-Fenton con:  $H_2O_2$  como oxidante, tricloruro férrico hexahidratado ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) como catalizador y radiación solar como fuente fotónica. Estableciendo como pH inicial del proceso un valor de 3, con un diseño de dos factores con tres niveles (factorial 3X3), evaluándose en el factor relación molar dosis de 1:15, 1:25 y 1:35 de Fe:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y en el factor tiempo de exposición periodos de 10, 20 y 30 minutos. Obteniéndose como resultado remociones de materia orgánica de 90.71%, 94.38% y 92.67% respectivamente para una relación molar de 1:25 de Fe:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; así mismo se obtuvo remociones de 85.60%, 89.21% y 88.04% para una relación molar de 1:15 de Fe:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; mientras que para la relación molar de 1:35 de Fe:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, se alcanzó eficiencias de remoción de 86.02%, 87.92% y 87.15%. Concluyendo que la relación molar 1:25 de Fe:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> con exposición solar de 20 minutos posee mayor eficiencia de remoción de materia orgánica, disminuyendo también microorganismos bacterianos y fúngicos, del cual se alcanzó una reducción del 37% de bacterias y 50% en numeración de fungi.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar la remoción de Nitrógeno Total mediante procesos de Oxidación Avanzada en lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo 2022.

### **1.3.2. Objetivo Específicos**

- a) Caracterizar los parámetros fisicoquímicos en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo.
- b) Determinar la dosis óptima de peróxido de hidrógeno para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo.
- c) Determinar la eficiencia de peróxido de hidrógeno para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo.

## **1.4 Justificación**

Los rellenos sanitarios al pasar por un proceso de degradación generan líquidos o fluidos conocidos como lixiviados con un elevado grado de toxicidad, que pueden afectar a los diferentes ecosistemas terrestres cuando son descargados o infiltrados al subsuelo sin un tratamiento previo.

El presente estudio permitirá dar a conocer un tratamiento adecuado para la remoción del Nitrógeno Total presente en los lixiviados, quien es uno de los componentes principales de la materia orgánica más recalcitrantes y contaminantes, en tal sentido, se plantea el uso de un oxidante en base a peróxido de hidrógeno que asegurará la completa inocuidad del lixiviado

tratado, el cual se diferencia de los métodos tradicionales por su alto nivel de eficiencia alcanzado en la degradación de compuestos orgánicos y bajo nivel de salinidad registrado al final del proceso, de tal manera que podrá ser vertido a los cuerpos receptores sin ocasionar un impacto negativo.

El método por utilizar permitirá asegurar una degradación completa de los compuestos más recalcitrantes presente en los lixiviados, diferente a los compuestos nitrogenados, degradándolo en sustancias más sencillas como agua y dióxido de carbono, inofensivos para el medio ambiente de tal manera que cumpla con los Límites Máximos Permisibles para vertimientos de acuerdo con la norma para descargas a cuerpos receptores.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis General**

Los procesos de Oxidación Avanzada permitirán remover el Nitrógeno Total presente en los lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo 2022.

### **1.5.2. Hipótesis Específicas**

- a) Los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los límites máximos permisibles para descargas de lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo.
- b) El peróxido de hidrógeno presenta su dosis óptima entre 4 y 5 ml para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo.
- c) El oxidante aplicado tiene una eficiencia del 80 al 90 % para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Bases Teóricas sobre el tema de Investigación

#### 2.1.1. Relleno Sanitario

Es Relleno Sanitario es la infraestructura o instalación diseñada para la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos, se encuentra ubicada en un área superficial o bajo tierra, y se rige con principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental. Consiste en el confinado y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con la compactación de estos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final (Zevallos, 2019).

Los rellenos sanitarios son el método más más conocido para el confinamiento de los residuos sólidos municipales gracias a su bajo costo de operación y mantenimiento. La Ley General de Residuos Sólidos Ley N° 27314 menciona que el relleno sanitario es una infraestructura de disposición final, adecuadamente equipada y operada, que facilita la disposición de residuos sólidos de forma sanitaria y ambientalmente segura (Mayorca, 2017).

La Ley N° 27314, indican que los Rellenos Sanitarios según el tipo de operación son:

- ✓ Relleno sanitario manual: posee una capacidad de operación diaria que no supera las 20 toneladas
- ✓ Relleno sanitario semi-mecanizado: presenta una capacidad de operación diaria que no supera las 50 toneladas
- ✓ Relleno sanitario mecanizado: presenta una capacidad de operación diaria superior a 50 toneladas.

El problema principal que se manifiesta en el proceso de disposición final es la generación de lixiviado, por ello en la construcción y diseño de un relleno sanitario es

importante considerar la producción de lixiviado, por lo cual se debe ubicar lejos de las corrientes superficiales para evitar contaminar los acuíferos (Mayorca, 2017).

### **2.1.2. Lixiviados**

Los Lixiviados de rellenos sanitarios son líquidos (varios compuestos orgánicos e inorgánicos) que se originan al liberar el exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación de agua de lluvia mediante los estratos de residuos sólidos que están presentes en las fases de composición. El lixiviado se considera como el principal y mayor contaminante producido en un relleno. Despreciando la naturaleza de los compuestos, estos representan un problema potencial de contaminación para la tierra local y las aguas superficiales (Zevallos, 2019).

Los lixiviados están compuestos de la siguiente manera:

- ✓ Los lixiviados del relleno sanitario traen contienen material que se encuentran disueltos, suspendidos, fijos o volátiles, con elevadas concentraciones de carga orgánica, presentando diversos colores que van desde café-pardo-grisáceo en su momento de inicial o de frescura, y un color negro viscoso en su etapa de vejez.
- ✓ Presentan grandes concentraciones de DQO de hasta 60,000 mg/L.
- ✓ Los lixiviados poseen grandes concentraciones de sales inorgánicas (cloruro de sodio y carbonatos) y de metales pesados.
- ✓ El carbono orgánico en su forma coloidal posee el potencial ideal para adsorber grandes concentraciones de metales, por lo que actúan como transportadores de metales traza en los lixiviados (Zevallos, 2019).

Los lixiviados son líquidos provenientes de los residuos, los cuales se forman por reacción, arrastre o percolación y que presentan elementos o sustancias que constituyen los mismos residuos disueltos o en suspensión; sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o

escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que pueden dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representan un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos.

Los lixiviados están influenciados con los siguientes factores:

- ✓ Precipitación pluvial en el área de relleno
- ✓ Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea
- ✓ Evapotranspiración
- ✓ Humedad natural de los residuos sólidos municipales
- ✓ Grado de compactación
- ✓ Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los residuos sólidos municipales para retener humedad).

Por cada tonelada de residuos sólidos urbanos se genera 0.2 m<sup>3</sup> de lixiviado, y tras su clausura, un relleno sanitario puede seguir generando lixiviado durante más de 50 años (Mayorca, 2017).

### **2.1.3. Características y Composición del Lixiviado**

La composición del lixiviado depende del lugar, esto se debe a las diferencias en estructura, características y tipo de residuos depositados en el relleno sanitario, cantidad de precipitación en el área, contenido de humedad, climatología, hidrología del lugar, compactación de residuos, interacción de lixiviados con el medio ambiente, velocidades de descomposición química, edad del relleno, las características del material de cobertura, las características del cerramiento final del relleno y el mantenimiento a largo plazo del relleno sanitario. Es así, que antes de seleccionar un tratamiento se debe analizar todas las características ya mencionadas. Los lixiviados tienen como característica principal el olor agresivo y un color que varía desde café-pardo-grisáceo cuando están frescos hasta un color

negro viscoso cuando envejecen. Presentan una diversa composición química como resultado del arrastre de material disuelto, en suspensión, fijo o volátil, lo que genera que tenga alta carga orgánica. Poseen grandes concentraciones de contenido de amoníaco-nitrógeno ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) y de otros elementos como sulfuro, bario, borato, arseniato, litio, cobalto y mercurio.; Si estos contaminantes no presentan un tratamiento van a terminar en aguas subterráneas o superficiales y producir daños severos a los acuíferos (Orozco, 2018).

Los lixiviados presentan una gran cantidad de contaminantes los cuales son clasificados en: materia orgánica, compuestos nitrogenados, sales y metales pesados:

#### **2.1.3.1. Materia orgánica biodegradable (DQO, DBO5)**

La biodegradabilidad en el caso de lixiviados de vertedero es mayor de la esperada a partir de la relación DBO/DQO medida (entre 30 y 40%). En los lixiviados de centros de tratamiento (compostaje, digestión anaerobia) son aguas de mayor biodegradabilidad. La composición química de los lixiviados varía según la antigüedad del relleno y la historia previa al momento del muestreo. La biodegradabilidad se puede supervisar a través de la relación entre la DBO/DQO, siendo esta de 0.4 a 0.6 y se toman como indicador de materia orgánica fácilmente biodegradables.

#### **2.1.3.2. Compuestos Nitrogenados (NT)**

Los compuestos nitrogenados se encuentran en alta concentración, como NTK Y  $\text{N-NH}_4^+$ , provenientes de la degradación de las proteínas y aminoácidos presentes en los residuos sólidos urbanos. Se requiere su eliminación previa a su vertido (Orozco, 2018).

#### **2.1.3.3. Sales (Cloruros, carbonatos, sulfuros, entre otros)**

Aportan capacidad tampón al lixiviado, lo que debe ser tenido en cuenta a la hora de diseñar procesos de tratamiento con variación de pH. Las sales principales que se encuentran

en los lixiviados son las sales inorgánicas como los carbonatos, sulfatos, nitratos, cloruros y fosfatos.

#### **2.1.3.4. Metales Pesados**

Los metales pesados se encuentran disueltos o en mayor proporción formando coloides liofílicos o liofóbicos, los metales que principalmente están presentes en los lixiviados son: Pb, Ni, Cr, Ag, Cd, Ba y Hg, Zn, Cu, y pueden producir problemas ambientales, si el lixiviado termina en aguas superficiales o subterráneas, o pueden generarse problemas de tratamiento donde el lixiviado se recoge y se trata antes de la descarga. Es así que el monitoreo de los metales pesados en lixiviados se ha establecido por las autoridades y se realiza constantemente por los operadores de vertederos.

Los metales pesados no son biodegradables y tienden a acumularse en los seres vivos, ocasionando serios problemas debido a que muchos iones de metales pesados son tóxicos o cancerígenos (Orozco, 2018).

#### **2.1.3.5. Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH es un factor importante que se debe considerar en la composición de un lixiviado, puesto que no solo depende de la concentración de los ácidos que están presentes sino también de la presión parcial del CO<sub>2</sub> en el gas del vertedero que está en contacto con el lixiviado.

La presencia o ausencia de la geomembrana en el suelo del relleno sanitario, indica que puede haber una variación en los valores de pH, ya que al no haber esta geomembrana el lixiviado entra en contacto con el suelo donde se encuentra el relleno sanitario.

Esta establecido que mientras más joven es un relleno sanitario, hay mayor probabilidad de tener lixiviados ácidos y el pH se mueve desde valores ácidos (pH 3,7) en la fase de operación, hasta valores alcalinos (pH 8, 5) algunos años después de haber sido clausurado, la edad del lixiviado es también una variable que influye en su carga contaminante o composición

química, pero la concentración tanto de sustancias de naturaleza orgánica como inorgánica es mucho mayor en un lixiviado joven (de menos de 3 años), ya que no han pasado la etapa de estabilización; esto es un factor decisivo al considerar el tipo de tratamiento (Orozco, 2018).

#### **2.1.4. Cantidad de Lixiviados**

La cantidad de lixiviados está en función de 3 variables principales: el área rellenada, la cantidad de infiltración y el sistema de drenaje e impermeabilización.

##### **a) El área rellenada**

Afecta ya que gracias a ella se realiza la entrada y el contacto del agua de infiltración con los residuos, al aumentar el área rellenada, aumenta la cantidad de lixiviados.

##### **b) La cantidad de infiltración**

Depende de numerosas variables como: la operación que se le dé al relleno, la desviación de aguas de escorrentía, la cantidad de precipitación directa que se tenga en la zona, y la presencia de infiltraciones subterráneas.

##### **c) Los sistemas de drenaje e impermeabilización**

Son los responsables que los lixiviados no contaminen los suelos y las aguas subterráneas, y que el lixiviado que se produce se pueda recolectar para ser eficazmente tratado. De la misma manera que se realiza el cierre de las diversas áreas de los rellenos, los caudales de infiltración se reducen considerablemente, produciendo una caída abrupta en la cantidad de lixiviado.

El potencial de formación del lixiviado puede valorarse mediante la preparación de un balance hídrico en el relleno sanitario, el cual implica la suma de todas las cantidades de agua que entran en el relleno y la sustracción de las cantidades de agua consumidas en las reacciones químicas, así como la cantidad que sale en forma de vapor de agua. La cantidad de potencial del lixiviado es la cantidad de agua en exceso sobre la capacidad de retención de humedad por

parte del relleno sanitario. La movilidad del agua dentro del relleno sanitario perjudica el cálculo del balance hídrico, y gracias a la no uniformidad en la composición del residuo se producen caminos preferenciales que son frecuentes en rellenos jóvenes y que se reducen con la edad del relleno por el efecto de compactación de los residuos. Para calcular la generación de lixiviados se han desarrollado varios modelos basados en balances hídricos, diversos trabajos han avanzado en el conocimiento sobre la caracterización de los lixiviados que se generan en los rellenos sanitarios, la mayoría de ellos se han centrado en la descripción de las tecnologías de tratamiento, destacando la capacidad de remoción de contaminantes y comparando la eficiencia de las tecnologías (Arango, 2013).

### **2.1.5. Tratamiento de Lixiviados de Relleno Sanitario**

Los procesos de oxidación avanzada son considerados como los más eficientes en la degradación de compuestos refractarios que poseen los lixiviados estabilizados. En el tratamiento, estos compuestos orgánicos son convertidos por la acción del radical hidroxilo en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  o son transformados en compuestos menos peligrosos de fácil eliminación al emplear tratamientos biológicos.

Los tratamientos de lixiviados de vertedero por Oxidación avanzada vienen dados principalmente bajo los procesos Fenton y foto-Fenton (Primo, 2008).

### **2.1.6. Procesos de Oxidación Avanzada**

Los POA han tomado protagonismo a la hora de garantizar eficiencia en el proceso de oxidación de materia orgánica recalcitrante de los lixiviados, ya que aseguran eficacia en la oxidación de materia orgánica en la generación de radicales hidroxilos a través de reacciones químicas, en la que la producción de estos radicales se da de manera independiente mientras no haya deficiencia de algún componente.

Los POA Se emplean para complementar a los procesos convencionales que desarrollan los tratamientos de contaminantes resistentes a la biodegradación. Los POA también se emplean en la catálisis en fase luminosa con Dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), Foto Fenton, UV/peróxido de hidrógeno, Ozono y electro oxidación, siendo su eficiencia que logra mejores comparados con los métodos biológicos, pero sus costos son más elevados; sin embargo, la biodegradabilidad de compuestos presentes en los lixiviados aumentaría con un pretratamiento de POA (Yaranga, 2021).

Los procesos de oxidación avanzada POA destacan por su eficiencia para la remoción de contaminantes que están presentes en el agua, cuyas propiedades fisicoquímicas permiten generar el radical hidroxilo (HO<sup>°</sup>), el cual permite la oxidación de la materia orgánica.

Para la generación de este radical hidroxilo se emplean métodos fotoquímicos e incluso los usos de la luz solar u otras formas de energía, para lo que se debe aumentar la velocidad de reacción al tratar fuentes de aguas contaminadas.

#### **2.1.7. Clasificación de los POA**

La clasificación de los POA está en función al origen de las especies oxidantes, ya sea en procesos no fotoquímicos y fotoquímicos. Los procesos no fotoquímicos producen especies oxidantes mediante la alteración química de especies químicas o mediante cualquier forma de energía, excepto la irradiación luminosa.

En cambio, los procesos fotoquímicos necesitan simplemente la luz natural o artificial para generar especies reactivas (Alvarado, 2016).

**Tabla 1.** *Procesos No Fotoquímicos y Fotoquímicos*

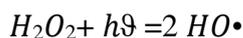
Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Ozonización en medio alcalino	UV/periodato
Ozonización con peróxido de hidrógeno (O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	Ferrioxalato y otros complejos de Fe (III)
Procesos Fenton (Fe <sup>2+</sup> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) y relacionados	Fotólisis del agua en el ultravioleta al vacío (UVV)
Oxidación electroquímica	UV/Peróxido de hidrógeno
Radiólisis $\gamma$ y tratamiento con haces de electrones	UV/O <sub>3</sub>
Plasma no térmico	Foto-Fenton y relacionadas
Descarga electrohidráulica-Ultrasonido	Fotocatálisis heterogénea

**Nota:** (Alvarado, 2016)

### 2.1.8. UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

En este método, los rayos UV suministrados al efluente reaccionan con el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para formar radicales hidroxilos (OH). Utilizar este método es beneficioso puesto que el oxidante se halla fácilmente para su adquisición, la temperatura de manejo es constante, es bastante soluble con agua y no posee dificultades de intercambios de masas vinculados a gases (Yaranga, 2021).

El porcentaje de irradiación del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es de 0,98 (a 254 nm), generada por los fotones con mayor energía a la del enlace O-O, lo cual permite formar dos radicales HO<sup>o</sup>:



El proceso de fotólisis del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> emplea lámparas de vapor de mercurio de baja o media presión de 254 nm, pero como la absorción del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es elevada a 220 nm, se requiere lámparas de Xe/Hg que emiten en el rango de 210-240 nm, las cuales terminan siendo costosas.

El medio alcalino es muy eficiente para el que se dé el proceso fotoquímico, ya que la

base del peróxido ( $\text{HO}_2$ ) es mayor en absorptividad ( $\epsilon_{254} = 240 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ).

### 2.1.9. Ventajas y Desventajas del Método UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$

#### ✓ Ventajas

- El oxidante se consigue fácilmente
- Presenta estabilidad térmica.
- Se almacena en el lugar donde se aplicará

#### ✓ Desventajas

- Debido a la baja sección eficaz de absorción de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a 254 nm, se necesita de mayores concentraciones del oxidante
- No hay efectividad en la degradación de alcanos fluorados o clorados, debido a que no hay acción de los radicales hidroxilos ( $\text{HO}\bullet$ ).
- No presenta gran eficacia en tratamientos de agua contaminada con elevada absorbancia a  $\lambda < 300 \text{ nm}$ .
- El uso excesivo de  $\text{H}_2\text{O}_2$  en grandes concentraciones de  $\text{HO}\bullet$  originan reacciones opositoras que crean un efecto inhibitorio para su degradación.

### 2.1.10. Técnica Fenton

En este proceso los iones  $\text{Fe}^{+3}$  y el  $\text{H}_2\text{O}_2$  están sujetos a radiación UV, el peróxido se descompone por la actividad fotocatalítica de los iones  $\text{Fe}^{+3}$  que produce la génesis de radicales  $\text{-OH}$  e iones  $\text{Fe}^{+2}$ . La ventaja que presentan los procesos Foto Fenton se da ya que no generan subproductos, de la misma manera, puede aumentar su eficiencia con la combinación de fotocatalizadores como el  $\text{TiO}_2$ , ya que son procesos bastante importantes en la matriz ambiental por su gran eficacia y características de viabilidad.

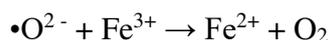
En los procesos Fenton, la reacción puede clasificarse de acuerdo a la forma o fase en la que se adiciona el catalizador (Fe), las fases pueden ser homogénea y heterogénea, en la homogénea el Fe se añade de en forma de solución y en la fase heterogénea se añade el hierro en con algún material en estado sólido (Yaranga, 2021).

### 2.1.11. Reacción Fenton

El proceso de oxidación Fenton se basa en descomponer el Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) con la presencia de un catalizador como el Hierro (II), posteriormente reacciona formando radicales hidroxilos. Este proceso se desarrolla gracias a sus diversas aplicaciones en aguas residuales.

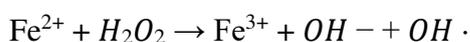


La reacción Fenton puede darse en sistemas homogéneos con hierro ferroso disuelto o en sistemas heterogéneos con la presencia de hierro complejo tal como goethita (FeOOH). El subproducto, hierro férrico, a su vez reacciona con peróxido o superóxido radical (O<sup>2-</sup>) para generar el hierro ferroso como se observa en la siguiente reacción



Las reacciones mostradas logran que el Fe pase de estado de oxidación ferrosa y férrica hasta que el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se consuma completamente, produciendo OH en el proceso. Al igual que en otros POA, la eliminación de compuestos orgánicos se produce por las reacciones de oxidación que inicia el radical hidroxilo (Román y Martínez, 2017).

La reacción Fenton es un proceso de Oxidación Avanzada donde se generan radicales hidroxilos en medio ácido (3 - 3,5 de pH), con temperatura y presión ambiente y utilizando peróxido de hidrógeno, catalizado por Fe<sup>+2</sup>. Esto se puede resumir en la reacción:



El proceso Fenton depende fundamentalmente del pH de la solución, siendo el pH óptimo para este proceso de 3 a 3,5 independientemente del sustrato”.

El proceso de oxidación Fenton, garantiza la eficiencia del tratamiento de lixiviados ya que ha resultado efectivo para degradar diversos compuestos como alifáticos y aromáticos clorados, policloruro de vinilos (PCB), nitroaromáticos, clorobenceno, fenoles, fenoles clorados, octacloro-pdioxina y formaldehído; el responsable de los procesos oxidativos es el radical oxidrilo  $\text{OH}^*$ , que es reactivo, y que se produce por la descomposición catalítica del peróxido de hidrógeno en medio ácido. Para añadir los reactivos debe ajustarse el pH de la muestra hasta un nivel ácido o básico, por lo que, el reactivo neutralizador debe ser añadido poco a poco para no alterar la temperatura interna y en una dosis óptima, una vez transcurrido un determinado tiempo de reacción, y alcanzando una degradación óptima, se pasa la muestra a un tanque de neutralización para adicionar una base y, de esta manera, precipitar el hidróxido de hierro, después éste se coagula un tanque de floculación mediante un agente coagulante. Una vez separadas estas dos fases se obtiene un efluente de lixiviado tratado (Román y Martínez, 2017).

#### **2.1.12. Dosificación de Fenton**

La dosis del reactivo  $\text{H}_2\text{O}_2$  participa en la eficacia del proceso, mientras que la concentración de hierro afecta a la cinética. Tanto la eficacia como la velocidad de la reacción se incrementan con la concentración de los reactivos. Sin embargo, un exceso de Fe ocasiona una pérdida de eficacia ya que ocasiona la activación de reacciones secundarias no deseadas, como la formación de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  que puede precipitar, mientras que en exceso de peróxido de hidrógeno daría lugar a la degradación del mismo por los radicales hidroxilos (Mayorca, 2017).

### 2.1.13. Reactividad del Radical Hidroxilo

Los radicales hidroxilos pueden eliminar y detoxificar compuestos orgánicos halogenados, elevando la biodegradabilidad del agua residual originando la ruptura de estructuras aromáticas, de enlaces carbono-carbono sencillos (C-C) o dobles (C=C), o de enlaces carbonohalógeno (C-X). El radical hidroxilo es una de las especies químicas más reactivas que se conocen.

Los iones hidroxilo ( $\bullet\text{OH}$ ), pueden oxidar y mineralizar cualquier molécula orgánica hasta  $\text{CO}_2$  y compuestos inorgánicos, sobresale por sus ataques no selectivos, una característica de gran importancia en el tratamiento de las aguas residuales, ya que permite la descontaminación de mezclas de contaminantes.

En conclusión, los radicales hidroxilos reaccionan con compuestos orgánicos, generando radicales orgánicos que aceleran el grado de oxidación (Mayorca, 2017).

### 2.1.14. Factores que afectan el proceso Fenton

- a) **Producción de lodos:** Es el inconveniente primordial, puesto que genera un precipitado coloidal de color rojizo que debe ser separado de la mezcla líquida, y este sedimento debe ser tratado como residuo sólido.
- b) **Control de pH:** Cualquier sistema que trabaje a base de peróxido y haya presencia de metales, se debe trabajar con pH de 9 – 10, con el fin de evitar la liberación de gases.
- c) **Consumo de reactivo:** El consumo de  $\text{H}_2\text{O}_2$  puede ser muy costoso para grandes caudales de aguas residuales, pero esto se puede optimizar empleando un catalizador de Hierro para acelerar la reacción.

### 2.1.15. Principio Foto-Fenton

El proceso foto-Fenton se basa en el efecto de la luz (UV/  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ ) lo que no ocurre

en la técnica Fenton que reacciona con  $H_2O_2$  y sales de  $Fe^{2+}$ . La radiación UV acelera la oxidación de cargas orgánicas a través del método Fenton. Según sean estas condiciones, la fotólisis de los complejos  $Fe^{3+}$  dan lugar a la reformación del  $Fe^{2+}$ . De esta forma se genera otra vía para la producción del radical  $HO\bullet$  mediante la fotólisis del  $H_2O_2$ .

Mediante las siguientes reacciones se describe el método Foto-Fenton:



Ecuación 2:  $H_2O + h\nu = 2 HO\bullet$ . El ciclo de reacción del proceso Foto-Fenton, tiene como primer proceso la fotoreducción de complejos de  $Fe^{3+}$  que degradan a iones  $Fe^{2+}$ , para luego darse la reacción Fenton y la oxidación de compuestos orgánicos. Para la fotólisis de  $Fe^{3+}$  interviene irradiación con luz UV cercano, o a su vez con luz visible. La presencia de iones de  $Fe^{2+}$ , que se da por la reacción de fotoreducción, es también a consecuencia de radicales hidroxilos de  $H_2O_2$  como segundo paso. Al darse la formación de radicales  $HO\bullet$ , se va a iniciar la oxidación de cargas orgánicas en el agua en casos se da la mineralización de contaminantes orgánicos. Debido a que las reacciones se efectúan a longitudes de onda que van de los 300 nm hasta la región visible, se permite que este proceso trabaje en presencia de la luz solar, minimizando los costos de operación. El método Foto-fenton se emplea en la industria farmacéutica, para tratar aguas residuales municipales, también para degradar herbicida en medio acuoso, insecticidas, colorantes, compuestos fenólicos, tratamiento de lixiviados vertederos de RSU, etc. (Alvarado, 2016).

#### 2.1.16. Variables que influyen en el proceso Foto Fenton

- ✓ **pH:** Factor principal que limita el proceso fotofenton, gracias a la aparición de diferentes formas del Fe y la descomposición de  $H_2O_2$ . La eficiencia de la reacción fenton se da cuando el pH está en un rango ácido para facilitar la oxidación. Cuando el pH es mayor a 4 inicia la descomposición del peróxido y no se produce radicales OH y

aparecen especies precipitadas de Fe como hidróxidos férricos.

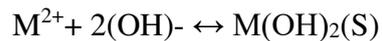
En el fotofenton la tasa de fotoregeneración del  $\text{Fe}^{2+}$  depende del pH y el óptimo se oscila entre 2,5 y 3,5.

- ✓ **Temperatura:** En la reacción fotofenton la temperatura no debe estar por debajo de  $8.3^{\circ}\text{C}$  por que se presenta una cinética más lenta alterando la eficiencia. Sin embargo, con una temperatura superior a  $50^{\circ}\text{C}$  se altera la eliminación de la DQO ya que se presenta una descomposición acelerada del  $\text{H}_2\text{O}_2$  en oxígeno y agua. La reacción fenton es exotérmica por lo cual los valores ideales son de  $20^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ **Relación  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ :** en esta reacción fenton, la relación  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$  es importante en función a eficiencias de eliminación del proceso. El Exceso o defecto de uno de los dos reactivos ocasiona un barrido de reacciones paralelas, lo cual debe prevenirse.
- ✓ **Concentración inicial de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .** Pese a que la velocidad de degradación incrementa con la cantidad de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , el exceso de este puede ocasionar la descomposición del mismo.
- ✓ **Cantidad de sal de hierro.** Una elevada concentración de Fe en el efluente ocasiona turbiedad, lo que impide la incidencia de los rayos UV usados en el proceso fotofenton. Se debe hallar una concentración según sea el agua a tratar y que sea favorable con la velocidad de reacción, pero que no genere problemas de turbiedad (Franco y Guiffo, 2.012).

### 2.1.17. Precipitación Química

La precipitación química trata en la adición de agentes coagulantes y floculantes tales como cal, alúmina, cloruros, etc., que permitan eliminar principalmente metales pesados y sólidos en suspensión. El término precipitación es usado para describir procesos como la formación de sales insolubles, o la transformación química de un ion en otro de mayor o menor

estado de oxidación que dé como producto la formación de un compuesto insoluble. Este proceso es empujado para tratamientos de efluentes inorgánicos, puesto que, al ajustar el pH a condiciones básicas, los iones metálicos disueltos se transforman en compuestos insolubles por la reacción química con un agente precipitante. Típicamente el precipitado metálico de la solución es un hidróxido como se muestra en la reacción:



Donde  $M^{2+}$  y  $OH^-$  representan los iones metálicos disueltos y el agente precipitante respectivamente, mientras  $M(OH)_2$  es el hidróxido metálico insoluble (Mayorca, 2017).

### **2.1.18. Coagulación y Floculación**

Los procesos que intervienen en la clarificación del agua son los procesos de coagulación y floculación, que remueven la turbiedad orgánica e inorgánica, el color aparente y verdadero, así mismo remueve la DQO y eliminan las bacterias, virus y plancton en general; la coagulación y floculación, son dos procesos diferentes que se realizan de manera simultánea y continua para formar flóculos que sedimentan.

La coagulación es un proceso fisicoquímico donde se produce una desestabilización de las cargas de las partículas coloidales gracias a la adición de sustancias químicas (coagulantes), que rompen las fuerzas electrostáticas de los coloides que las mantenían separadas, para aglomerar dichas partículas y formar los flóculos, que sedimenten fácilmente. Una vez realizada la etapa de coagulación, sigue la fase de floculación, cuyo proceso es agregar al agua residual polímeros floculantes que se adhieren a los flocs obtenidos durante la primera fase de coagulación; para generar una serie sucesiva de colisiones que dan la formación de flóculos de mayor tamaño y que son fácilmente sedimentables. La velocidad de la sedimentación de los flóculos depende del tamaño, concentración de los coloides desestabilizados y de la velocidad de agitación de la muestra en el agua (Venegas, 2022).

### **2.1.19. Método de Jarras**

Es la prueba más representativa para determinar el comportamiento de los coagulantes y floculantes a escala pequeña es el Ensayo de “Prueba de Jarras”. Es un método de simulación de los procesos de Coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes. El objetivo fundamental es determinar las variables físicas y químicas de los procesos de coagulación; floculación y sedimentación; tales como: selección del coagulante; selección del pH óptimo; gradientes y tiempos de mezcla rápida y floculación, correlación de las velocidades de sedimentación y la eficiencia de remoción, entre otros.

En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos, los cuales son:

- pH
- Temperatura
- Concentración de coagulante
- Secuencia de aplicación de las sustancias químicas
- Grado de agitación
- Tiempo de sedimentación

El procedimiento necesita como datos previos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda. La unidad de mezcla típica consiste en una serie de agitadores de paletas acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad, generalmente entre 10 a 300 RPM. Como jarras de coagulación se recomienda, jarras rectangulares de 1 a 2 litros en acrílico transparente (Venegas, 2022).

### **2.1.20. Relleno Sanitario El Zapallal**

El relleno sanitario denominado “El Zapallal” entró en operación el año de 1980, se encuentra ubicado a la altura del kilómetro 34.5 de la Panamericana Norte, en el margen

derecho del río Chillón entre las faldas de los cerros Campana y Cabrera del distrito de Carabaylo en la provincia de Lima, posee un área de 468.15 hectáreas, con un área neta de 326.45 hectáreas.

La empresa privada Innova Ambiental S.A. por concesión administrativa se encarga del manejo y el servicio de disposición final de los residuos sólidos que ingresan a este relleno sanitario, asimismo, “El Zapallal” atiende la disposición de los distritos de Ancón, Carabaylo, Lima Cercado, Los Olivos, Magdalena, Pueblo Libre, Puente Piedra, San Martín de Porras y Santa Rosa, siendo vertidas 752,813 toneladas de residuos sólidos municipales tomando como referencia al año 2019. Además, este relleno sanitario estaría por cumplir su tiempo de vida útil antes de lo previsto debido a factores que disminuyen la capacidad de su funcionamiento como bien lo señala en su investigación (Dámazo, 2016).

***Figura 1.***

Visualización geográfica del Relleno Sanitario El Zapallal



**Nota:** (Marelli, 2020)

**2.1.21. Definición de Términos**

- Residuo: Son la parte inservible, resultante, de algún material que ha sido procesado. Otra definición importante es la de ser cualquier producto en estado sólido, líquido o

gaseoso, generado por la actividad humana en procesos de extracción, transformación o utilización, y que está destinado a hacer desechado al carecer de valor para su propietario (Zeballos, 2014).

- **Relleno Sanitario:** Es una instalación destinada a la disposición ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo tierra, basados en principios y métodos de la ingeniería sanitaria ambiental. Para construir un relleno sanitario es importante seleccionar el terreno, que reúna condiciones técnicas adecuadas como son: topografía, nivel a que se encuentran las aguas subterráneas y disponibilidad para la cobertura de los residuos sólidos. De acuerdo con las características del terreno, el relleno sanitario puede construir siguiendo los métodos de área, zanja o una combinación de ambos métodos (Arroyo, 2016).
- **Lixiviados:** Es un líquido producido fundamentalmente por la precipitación pluvial que se infiltra a través del material de cobertura que atraviesa las capas de basura de un relleno sanitario, transportando concentraciones apreciables de material orgánica en descomposición y otros contaminantes. Es de color pardo grisáceo cuando es joven y negro y viscoso cuando es 32 maduro. Otros factores que contribuyen a la generación de lixiviados son el contenido de humedad propio de los desechos, el agua de la descomposición y la infiltración de aguas subterráneas. La composición de los lixiviados varía mucho de acuerdo con el tipo de residuo, las precipitaciones en el área, las velocidades de descomposición química y otras condiciones del lugar, pero todos coinciden en que posee una alta carga orgánica (Arroyo, 2016).
- **Contaminación:** Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos adversos al ambiente o sobre la salud. (MINAM)

- **Proceso de Oxidación Avanzada:** La oxidación avanzada se llevó a cabo mediante la reacción fenton que se produce en el lixiviado al mezclar peróxido de hidrógeno grado reactivo ( $H_2O_2$ ) y sulfato de hierro heptahidratado ( $Fe SO_4 \cdot 7 H_2O$ ) como catalizador de la reacción (Arango, 2018).
- **Reacción Fenton:** Se conoce como Fenton a la reacción realizada con peróxido de hidrógeno, y sal de hierro (II) (Román y Martínez 2017).
- **Peróxido de Hidrogeno ( $H_2O_2$ ):** Líquido incoloro con punto de ebullición a  $150,2\text{ }^\circ C$ , con una densidad relativa de  $1,45\text{ g/mL}$  a  $20\text{ }^\circ C$ , cuya estabilidad depende del pH y de la temperatura, pH menores de 9 el peróxido es relativamente estable en un intervalo de temperatura de  $10\text{ }^\circ C$  -  $50\text{ }^\circ C$  para períodos menores a 96 horas y a pH mayores a 9, existe una marcada descomposición a períodos mayores a 96 horas (Lapeyre y Pequeño, 2019).
- **Hierro:** El Hierro es un metal que presenta 2 estados de oxidación:  $Fe^{+2}$  y  $Fe^{+3}$ , las sales ferrosas ( $Fe^{+2}$ ) cristalizadas son de color verde y en forma anhidra son de color blanco o amarillo pálido. Las sales férricas ( $Fe^{+3}$ ) cristalizadas son de color amarillo a causa de las especies  $Fe(OH)^{+2}$  y  $Fe(OH)_2$ . La especie  $Fe^{+3}$  es un catión más ácido que la especie  $Fe^{+2}$  por lo que es más estable en un medio acuoso ácido, pero estas especies no son las únicas ya que existen  $Fe(OH)^{+2}$ ,  $Fe_2(OH)_2^{+4}$  y  $Fe(OH)^{+2}$  con una concentración importante en medios alcalinos que pueden precipitar como sales básicas de color pardo rojizo (Lapeyre y Pequeño, 2019).

### **2.1.22. Base Legal Ambiental**

- ***La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales.*** La Constitución Política del Perú de 1993, en su artículo 2º, inciso 22, establece que “Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado

para el desarrollo de su vida”. Asimismo, los artículos 66°, 67°, 68° y 69° establecen que los recursos naturales, renovables y no renovables son patrimonio de la Nación, siendo el Estado el promotor del uso sostenible de éstos.

- ***Ley General de Salud N° 26842, del año 1997.*** Toda persona natural o jurídica, está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente. El abastecimiento de agua, alcantarillado, disposición de excretas, reúso de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la Autoridad de Salud competente, la que vigilará su cumplimiento.
  
- ***La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611,*** informa que los ciudadanos tenemos derecho a vivir en un ambiente saludable y adecuado para la vida. Es así, que en el capítulo preliminar y en el Artículo 1 nos menciona el derecho y deber fundamental de los ciudadanos con respecto a vivir en un ambiente sano, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y tiene el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente. así como a sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y desarrollo sostenible del país.

En su Artículo N° 31 trata sobre el Estándar de Calidad Ambiental, y lo define como:  
La medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

En su Artículo N°119 del Manejo de Residuos Sólidos, donde indica que la gestión de los residuos sólidos de origen doméstico, comercial o que siendo de origen distinto presenten características similares a aquellos, son de responsabilidad de los gobiernos locales. Por ley se establece el régimen de gestión y manejo de los residuos sólidos municipales (Ley General del Ambiente, 2005, p. 62). Lo importante a considerar es que la LGA formula las competencias que cada organismo institucional, local o regional, debe realizar en materia ambiental para sus beneficiados. Para lograr una gestión integral de residuos sólidos es necesario tener en cuenta ejes políticos que ayuden a formar programas de educación y sensibilización para el cuidado de las zonas donde residen los ciudadanos en temas de segregación, reúso y reciclaje de basura.

- **General de Residuos Sólidos, Ley N° 27314**, donde: en el artículo 4, inciso 8, la ley señala que uno de los lineamientos de política, es establecer acciones orientadas a recuperar áreas degradadas por la descarga inapropiada e incontrolada de los residuos sólidos.

En su artículo 10, en referencia a las obligaciones, las municipalidades provinciales son responsables de la gestión de los residuos sólidos de origen domiciliario, comercial y de aquellas actividades que generen residuos similares en todo el ámbito de su jurisdicción, efectuando las coordinaciones con el gobierno regional para promover la ejecución, revalorización o adecuación, de infraestructura para el manejo de los residuos sólidos, así como para la erradicación de botaderos.

*Inciso 12.* Implementar progresivamente programas de segregación en la fuente y la recolección selectiva de los residuos sólidos en todo el ámbito de su jurisdicción, facilitando su reaprovechamiento y asegurando su disposición final diferenciada técnicamente adecuada.

En su Artículo 43, Establecimiento de incentivos Las autoridades sectoriales y municipales establecerán condiciones favorables que directa o indirectamente generen un

beneficio económico, en favor de aquellas personas o entidades que desarrollen acciones de minimización, segregación de materiales en la fuente para su reaprovechamiento, o de inversión en tecnología y utilización de prácticas, métodos o procesos que coadyuven a mejorar el manejo de los residuos sólidos.

- **Decreto Supremo N° 057-2004-PCM Reglamento de la Ley N° 27314.** En el artículo 8, inciso i, reiterando lo mencionado en la Ley, las municipalidades provinciales deben asegurar la erradicación de los lugares de disposición final inapropiada de residuos sólidos, así como la recuperación de las áreas degradadas por dicha causa, bajo los criterios de la Autoridad de Salud.
- **Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos, D.S. N° 057-04.** Este reglamento nos explica quién debe estar encargado de la segregación de residuos sólidos en los distritos. También este reglamento estipula cómo debe ser la comercialización y minimización de residuos sólidos y la generación de estrategias. Este concepto se establece en los artículos 54 y 55 de dicho documento.

En su Artículo N°16, indica que “La segregación de residuos solo está permitida en la fuente de generación o en la instalación de tratamiento operada por una EPS-RS o una municipalidad, en tanto esta sea una operación autorizada. [...]” (Reglamento de la Ley 27314, 2004, p. 51).

En su Artículo N°54, Minimización y reaprovechamiento; menciona que el generador aplicará estrategias de minimización o reaprovechamiento de residuos, las cuales estarán consignadas en su respectivo plan de manejo de residuos, las que serán promovidas por las autoridades sectoriales y municipalidad provinciales.

En su Artículo N° 55, de Segregación de Residuos, menciona que la segregación de residuos tiene por objeto facilitar su reaprovechamiento, tratamiento o comercialización,

mediante la separación sanitaria y segura de sus componentes.

- ***Ley Orgánica de Municipalidades - Ley N<sup>a</sup> 27972*** La Ley Orgánica de Municipalidades en su Artículo 80, incisos 3 y 3.1 detalla las funciones exclusivas de las municipalidades distritales, y hace referencia al servicio de limpieza pública y el debido recojo y tratamiento de ellas.

### **III. MÉTODO**

#### **3.1 Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada, debido a que se pretende generar nuevos conocimientos de manera que ayuden en la resolución de problemas. El diseño metodológico de la investigación desde un punto de vista cuantitativo es experimental, y debido a su grado de manipulación de las variables se encuentra dentro de los experimentales puros, puesto que se manipula intencionalmente la variable independiente “Oxidación Avanzada”, con la finalidad de observar cambios en el comportamiento de la variable dependiente “Remoción de Nitrógeno Total”.

#### **3.2 Ámbito temporal y espacial**

##### **3.2.1. Ámbito temporal**

El tiempo proyectado para el desarrollo de la investigación se inicia en octubre del 2021 con la definición del tema y búsqueda de información bibliográfica comprendida entre los años 2014 al 2022. La fase experimental o desarrollo de los ensayos se programó entre mayo y junio del año 2022; y concluyendo con el informe final para julio del 2022.

##### **3.2.2. Ámbito espacial**

La presente investigación se planea desarrollarlo en dos espacios geográficos, el primero corresponde al lugar donde se tomará la muestra del lixiviado, es decir el relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo para la toma de muestra, con coordenadas UTM 275 235 E, 8 692 966 N, y el otro espacio geográfico corresponde al lugar donde se desarrollará los ensayos experimentales, el cual corresponde al Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Ecoturismo-UNFV, cuyas coordenadas UTM son:

277097 E y 8 667 468 N.

### **3.3 Variables**

#### **3.3.1. Variable Independiente**

Oxidación Avanzada.

#### **3.3.2. Variable Dependiente**

Remoción de Nitrógeno Total.

**Tabla 2***Operacionalización de Variables de Investigación*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>Variable Independiente</b>  Oxidación Avanzada	<p>Los POA garantizan la eficiencia en el proceso de oxidación de materia orgánica recalcitrante de los lixiviados, ya que aseguran eficacia en la oxidación de materia orgánica en la generación de radicales hidroxilos a través de reacciones químicas, en la que la producción de estos radicales se da de manera independiente mientras no haya deficiencia de algún componente. Los POA Se emplean para complementar a los procesos convencionales que desarrollan los tratamientos de contaminantes resistentes a la biodegradación. Los POA también se emplean en la catálisis en fase luminosa con Dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), Foto Fenton, UV/peróxido de hidrógeno, Ozono y electro oxidación, siendo su eficiencia que logra mejores comparados con los métodos biológicos (Yaranga, 2021).</p>	<p>Los POA permiten la oxidación de materia orgánica, nitrógeno total, etc. y desarrollan un proceso de tratamiento de lixiviados reduciendo la concentración de estos agentes contaminantes presentes en estos, para lo cual se usan sustancias oxidantes y sales para lograr un eficiente tratamiento, esto está en función a la dosificación, tiempo, velocidad de reacción.</p>	<b>PARÁMETROS DE CONTROL</b>	Dosis (ml)  Tiempo (min)  Velocidad de Agitación (RPM)  Peróxido de Hidrógeno (%)
<b>Variable Dependiente</b>  Remoción de Nitrógeno Total	<p>Los compuestos nitrogenados se encuentran en alta concentración, como NTK Y N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, provenientes de la degradación de las proteínas y aminoácidos presentes en los residuos sólidos, El tratamiento de éstos consiste en realizar operaciones o procesos para lograr remover la mayoría de contaminantes. Para esto es indispensable saber el volumen y poder contaminante de los lixiviados, su composición y características. (Orozco, 2018)</p>	<p>Los lixiviado presentan una gran cantidad de contaminantes los cuales son clasificados en 4 categorías principales: materia orgánica disuelta, compuestos nitrogenados, metales pesados y sustancias orgánicas xenobióticas.</p>	<b>PARÁMETROS FISICOQUIMICOS</b>	Eficiencia (%)  Nitrógeno Total (mg/l) Fosforo Total (mg/l) Potencial de Hidrógenos Conductividad Eléctrica (uS/cm) Turbiedad (NTU) DQO (mg/l) DBO (mg/l)

## **3.4 Población y muestra**

### **3.4.1. Población**

En nuestro estudio se consideró trabajar con muestras de lixiviado, las cuales fueron tomadas del relleno sanitario El Zapallal en Carabaylo, quien recibe un promedio de 806.6 TN/día de residuos sólidos, de las cuales se tomará un volumen determinado para la investigación.

### **3.4.2. Muestra**

La muestra fue tomada en campo del relleno sanitario El Zapallal, para luego ser trasladada al laboratorio, donde se ha considerado trabajar con un volumen de 120 litros de lixiviado.

## **3.5 Instrumentos**

### **3.5.1. Técnicas**

- Manual de seguridad de laboratorio.
- Método de Jar Test
- Protocolo de monitoreo.
- Manual de Métodos Estandarizados para análisis de muestras de la APHA.

### **3.5.2. Instrumentos**

- Fichas de recolección de datos.
- Cadena de custodia para el muestreo.

### **3.5.3. Equipos**

- Equipo de prueba de jarras.
- Medidor de Conductividad

- Medidor Multiparamétrico.
- Colorímetro digital portátil.
- Balanza analítica de precisión.

### **3.6 Procedimientos**

Para el desarrollo de la presente investigación ha considerado cuatro etapas secuenciales: Monitoreo de campo, Ensayos experimentales, Determinación de Nitrógeno Total y Análisis de resultados.

#### **3.6.1. Monitoreo de Campo**

El muestreo del lixiviado se desarrolló en campo, para lo cual se visitó el Relleno Sanitario El Zapallal en el distrito de Carabayllo, las muestras fueron recolectadas en 2 bidones de 10 litros de capacidad cada uno. Las mediciones de los parámetros de campo del lixiviado fueron tomadas en un recipiente de 2 litros de capacidad y se midieron la Temperatura, Conductividad y pH. El procedimiento de la toma de muestra fue desarrollado de acuerdo con el protocolo de monitoreo para efluentes del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, RM N° 273-2013-VIVIENDA.

La caracterización inicial del lixiviado se desarrolló en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente, donde se determinarán los niveles iniciales de Nitrógeno Total (NT), tomando en cuenta los Métodos Estandarizados para el análisis de aguas potables y residuales de la APHA.

#### **3.6.2. Ensayos Experimentales**

Las pruebas experimentales se realizaron en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE, en primer lugar, se acondicionaron las muestras para posteriormente proceder a trabajarlas, para lo cual se preparó el oxidante con Peróxido de Hidrogeno ( $H_2O_2$ )

al 15, 25, 35 y 50% y el catalizador de Sulfato Ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) de 5 g/l, bajo un ambiente controlado por el tesista. El proceso se inicia con la preparación de los tres primeros oxidantes, a partir del patrón concentrado al 50%, realizando las diluciones correspondientes, luego de ello se preparó catalizador el  $\text{Fe}^{+2}$  a partir de una solución de Sulfato Ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), con una concentración de 5000 mg/l, el cual sirvió como reactivo para acelerar el proceso de oxidación química con un volumen de 20 ml para todas las pruebas en general. En total se desarrollaron ocho tratamientos, donde los cuatro primeros fueron trabajados en medio alcalino a un  $\text{pH}=8.1$ , al 15, 25, 35 y 50% del oxidante, y los otros cuatro tratamientos en medio ácido a un  $\text{pH}=3.5$  con las mismas concentraciones del oxidante, así mismo, indicar que las dosis trabajadas en cada una de las jarras a ensayar serán de 5, 10, 15, 20 y 25 ml y 20 ml de dosis única de  $\text{Fe}^{+2}$ .

Las corridas experimentales para el tratamiento por oxidación fueron desarrolladas mediante una prueba de jarras o Jar Test, en dos medios claramente definidos, como ya se indicó anteriormente, uno ácido y otro alcalino, a fin de conocer la eficiencia en ambos tratamientos. Para el primer caso se trabajó con su  $\text{pH}$  tomado en campo de 8.1, y para el segundo caso se trabajó con un  $\text{pH}$  de 3.5, llevado por el tesista a ese valor con una solución de ácido sulfúrico 5N. Se acondicionaron 5 jarras de trabajo las cuales contenían las muestras de lixiviado con sus concentraciones iniciales de Nitrógeno Total y un volumen de 1 litro para cada jarra. Los ensayos se realizaron en el floculador, donde se trabajó con una revolución de 250 rpm, por un tiempo de 30 minutos hasta alcanzar una homogenización completa del oxidante, para luego pasar a la etapa de sedimentación de 30 minutos de los compuestos no oxidados de ser el caso, y proceder a la toma de muestra del sobrenadante. Los tratamientos en general pasaron por dos etapas, la primera de oxidación, donde cada una de las jarras de muestras tuvo una dosis de 20 ml del reactivo catalizador de  $\text{FeSO}_4$  de 5 g/l y de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 15, 30, 45 y 50% de concentración, y una segunda etapa sedimentación final. Los tratamientos se realizaron en cinco jarras de 1 litro de volumen y se harán adicionalmente dos repeticiones para

cada tratamiento experimental haciendo un subtotal de 15 litros por las tres replicas, y teniendo en cuenta los 8 tratamientos a realizar tendríamos un total de 120 litros.

### **3.6.3. Determinación de Nitrógeno Total**

Para la determinación final se consideró trabajar únicamente con el parámetro de Nitrógeno Total, debido a que las muestras de lixiviado presentan por lo general alta carga orgánica nitrogenada.

Al terminar el tiempo de sedimentación por cada ensayo proyectado de 30 minutos, se procedió a tomar una alícuota de la muestra sobrenadante. La determinación del Nitrógeno Total (NT), se analizó por el método colorimétrico, para lo cual las muestras previamente fueron llevadas a un reactor digital para luego después de haber desarrollado un color característico ser cuantificarlo en el colorímetro.

### **3.6.4. Análisis de Resultados**

El análisis de resultados consistirá en evaluar los datos finales obtenidos del parámetro en estudio, el cual será comparado con los LMP de la “Norma de Descargas Líquidas a cuerpos de Agua o al Sistema de Alcantarillado Sanitario” de Ecuador. Se evaluará el tratamiento en general y se procederá a analizar cuáles fueron las dosis más eficientes en cada uno de los tratamientos de acuerdo con cada concentración inicial y final obtenida de Nitrógeno Total. Así también, se evaluará las eficiencias obtenidas de acuerdo con las dosis del peróxido de hidrógeno aplicado en cada uno de los tratamientos, y con la información finalmente proceder a elaborar las tablas y graficas respectivas y observar el comportamiento de cada dosis óptima registrada. Obtenido los resultados finales y analizados cuantitativamente se procederá a realizar la discusión con lo encontrado por otros investigadores, y proceder finalmente a redactar las conclusiones de nuestro trabajo de investigación y proceder a las recomendaciones.

### **3.7 Análisis de datos**

Para el análisis de datos se tomará en cuenta los niveles de medición de las variables dosis y eficiencia aplicando la estadística que permitirá describir las características principales de las variables en estudio antes indicadas, tomadas de forma individual. Se realizará un análisis y descripción cada una de las variables para lo cual se trabajará con el programa Ms. Excel 2010, quien también se usará para presentar la estadística descriptiva en cuadros y gráficas de datos. Para mostrar la distribución de los datos indicados se empleará gráficas lineales, todo esto con el propósito de conocer cuáles serán las dosis óptimas y determinar las eficiencias para la remoción de Nitrógeno Total, y contrastar nuestras hipótesis en la investigación.

## IV. RESULTADOS

En el presente capítulo se muestra los resultados de la caracterización del lixiviado antes de iniciar el tratamiento por Procesos de Oxidación Avanzada (POAs) con Peróxido de Hidrogeno ( $H_2O_2$ ) y el catalizador a partir del Sulfato Ferroso ( $FeSO_4$ ), en segundo lugar, se muestran los resultados de las dosis óptimas por cada corrida experimental y finalmente tenemos las eficiencias alcanzadas por cada tratamiento realizado.

### 4.1 Caracterización fisicoquímica inicial del Lixiviado:

A continuación, tenemos los resultados de la caracterización de los parámetros fisicoquímicos del lixiviado y su comparación con los Límites Máximos Permisibles:

**Tabla 3**

*Caracterización Fisicoquímica del Lixiviado*

MUESTRA	T (°C)	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	PT (mg/l)	NT (mg/l)
M-1	22.5	8.1	1582	2175	75.5	109.2

MUESTRA	SST (mg/l)	C.E (mS/cm)	A y G (mg/l)	TURB. (NTU)
M-1	315	5.2	31.5	383

**Tabla 4**

*LMP-Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes. República de Ecuador.*

MUESTRA	T (°C)	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	PT (mg/l)	NT (mg/l)
LMP	< 45	6-9	250	500	--	--

MUESTRA	SST (mg/l)	C.E (mS/cm)	A y G (mg/l)	TURB. (NTU)
LMP	220	--	50	--

## 4.2 Tratamientos para la determinación de la dosis óptima en la remoción de Nitrógeno Total

A continuación, se muestran los resultados de las dosis óptimas alcanzadas en la remoción de Nitrógeno Total, de los cuales, los cuatro primeros tratamientos fueron trabajados en medio alcalino a pH 8.1, y los otros cuatro tratamientos fueron trabajados en medio ácido a pH 3.5, para ambos medios ácido y alcalino las concentraciones consideradas fueron del 15, 25, 35 y 50%. Así mismo es preciso indicar que para todos los tratamientos en general las dosis de trabajo para las cinco jarras fueron de 5, 10, 15, 20 y 25 ml; y el volumen utilizado como reactivo a partir de Sulfato Ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) utilizado como reductor fue de 20 ml.

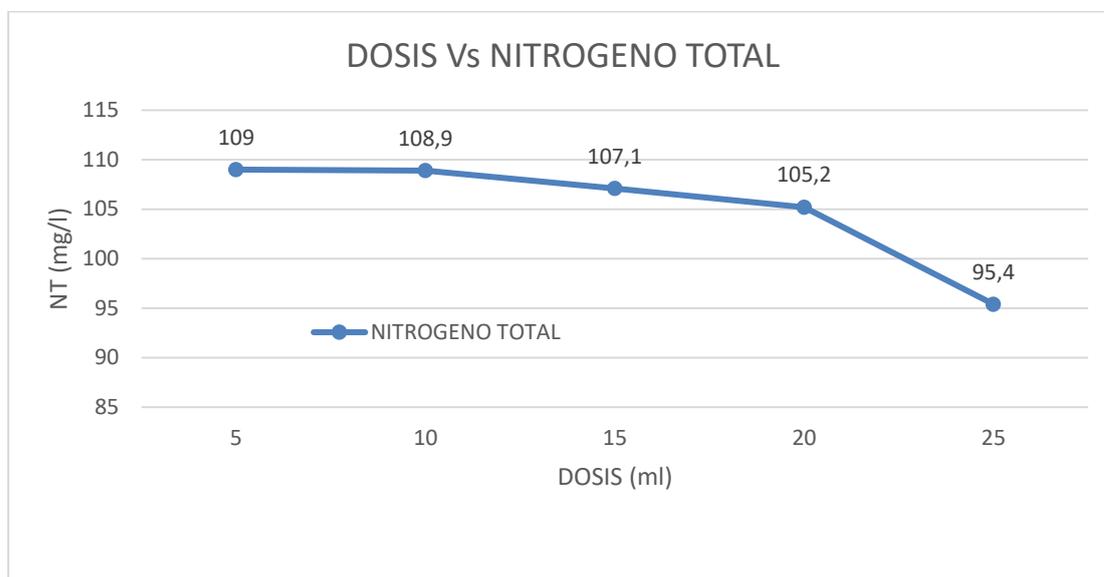
### 4.2.1. Tratamiento 1

A continuación, en la **Tabla 5**, se muestran los resultados del primer ensayo, el cual fue trabajado inicialmente con su pH original de campo de 8.1, en condiciones alcalinas, para luego adicionar las dosis respectivas de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (15%) y  $\text{Fe}^{+2}$  (5 g/l). Las variables de operación fueron realizadas con un volumen de muestra de 1 Litro, una temperatura ambiente de 22.5°C, un tiempo de contacto de 30 minutos, un pH inicial de 8.1 y una dosis de  $\text{Fe}^{+2}$  de 20 ml.

**Tabla 5**

*Resultados de Nitrógeno Total a pH 8.1 y al 15% de  $\text{H}_2\text{O}_2$*

<b>MUESTRA</b>	<b>TRATAMIENTO 1</b>				
Concentración Inicial NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis $\text{H}_2\text{O}_2$ al 15% (ml)	5	10	15	20	25
pH Final	8.1	8.0	8.0	7.9	7.6
Concentración Final (mg/l)	108	107.9	108.3	106.1	94.4
<b>REPETICIONES</b>					
1	109	108.7	106.2	105.3	96.3
2	110	109.9	107.1	104.2	95.5
<b>PROMEDIO</b>	<b>109</b>	<b>108.9</b>	<b>107.1</b>	<b>105.2</b>	<b>95.4</b>

**Figura 2***Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 1*

En la **Figura 2**, se aprecia que la concentración inicial de NT (109.2 mg/l), evidencia una reducción poco significativa después de la adición progresiva de la dosis del oxidante de 5, 10, 15, 20 y 25 ml. El nivel más bajo obtenido fue de 95.4 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el primer tratamiento corresponde a la dosis de 25 ml. Los demás resultados con las otras dosis trabajadas logran reducir sus concentraciones, pero en un nivel mínimo.

#### 4.2.2. Tratamiento 2

A continuación, en la **Tabla 6**, se muestran los resultados del segundo tratamiento, el cual fue trabajado inicialmente con su pH original de campo de 8.1, en condiciones alcalinas, para luego adicionar las dosis respectivas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (25%) y Fe<sup>+2</sup> (5 g/l). Las variables de operación fueron realizadas con un volumen de muestra de 1 Litro, una temperatura de 22.5°C, un tiempo de contacto de 30 minutos, un pH inicial de 8.1 y una dosis de Fe<sup>+2</sup> de 20 ml.

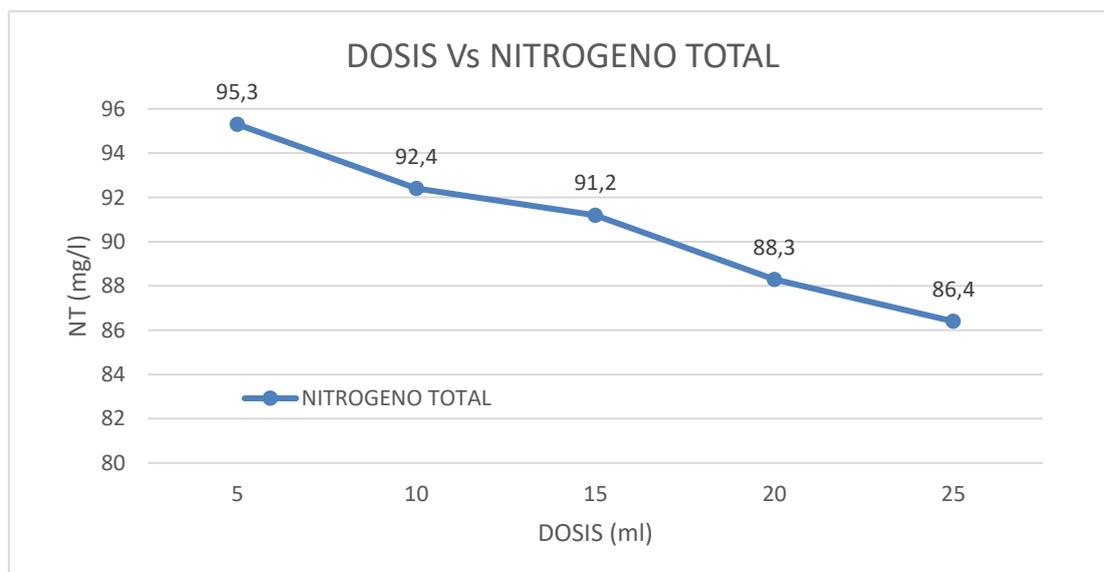
**Tabla 6**

*Resultados de Nitrógeno Total a pH 8.1 y al 25% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

<b>MUESTRA</b>	<b>TRATAMIENTO 2</b>				
Concentración Inicial NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 25% (ml)	5	10	15	20	25
pH Final	8.0	7.8	7.5	7.3	7.1
Concentración Final (mg/l)	96.4	92.3	90.2	89.2	87.5
<b>REPETICIONES</b>					
1	97.3	91.4	92.1	88.3	85.4
2	95.2	93.5	91.3	87.4	86.3
<b>PROMEDIO</b>	<b>95.3</b>	<b>92.4</b>	<b>91.2</b>	<b>88.3</b>	<b>86.4</b>

**Figura 3**

*Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 2*



En la **Figura 3**, se aprecia que la concentración inicial de NT (109.2 mg/l), evidencia una reducción medianamente significativa después de la adición progresiva de la dosis del oxidante de 5, 10, 15, 20 y 25 ml. El nivel más bajo obtenido fue de 86.4 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el segundo tratamiento corresponde a la dosis de 25 ml. Los demás resultados con las otras dosis trabajadas logran reducir sus concentraciones, pero en un nivel bajo.

### 4.2.3. Tratamiento 3

A continuación, en la **Tabla 7**, se muestran los resultados del tercer tratamiento, el cual fue trabajado inicialmente con su pH original de campo de 8.1, en condiciones alcalinas, para luego adicionar las dosis respectivas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (35%) y Fe<sup>+2</sup> (5 g/l). Las variables de operación fueron realizadas con un volumen de muestra de 1 Litro, una temperatura de 22.5°C, un tiempo de contacto de 30 minutos, un pH inicial de 8.1 y una dosis de Fe<sup>+2</sup> de 20 ml.

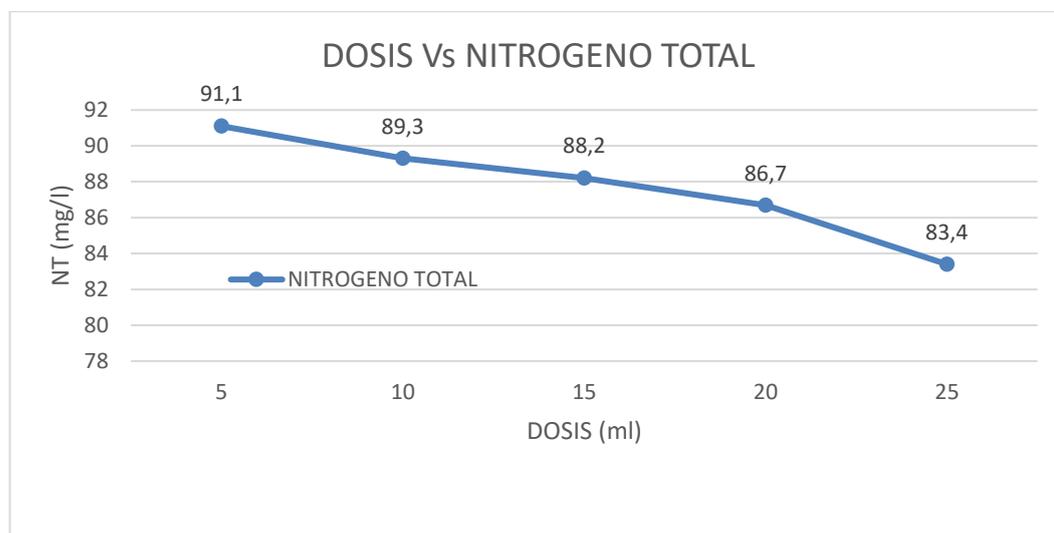
**Tabla 7**

*Resultados de Nitrógeno Total a pH 8.1 y al 35% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

<b>MUESTRA</b>	<b>TRATAMIENTO 3</b>				
Concentración Inicial NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 35% (ml)	5	10	15	20	25
pH Final	7.5	7.3	7.1	7.0	6.9
Concentración Final (mg/l)	91.1	88.3	87.1	87.8	83.4
<b>REPETICIONES</b>					
1	90.0	90.2	88.2	85.7	82.5
2	92.1	89.4	89.3	86.6	84.4
<b>PROMEDIO</b>	<b>91.1</b>	<b>89.3</b>	<b>88.2</b>	<b>86.7</b>	<b>83.4</b>

**Figura 4**

*Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 3*



En la **Figura 4**, se aprecia que la concentración inicial de NT (109.2 mg/l), evidencia una reducción no muy significativa después de la adición progresiva de la dosis del oxidante de 5, 10, 15, 20 y 25 ml. El nivel más bajo obtenido fue de 83.4 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el tercer tratamiento corresponde a la dosis de 25 ml. Los demás resultados con las otras dosis trabajadas logran reducir sus concentraciones, pero en un nivel bajo.

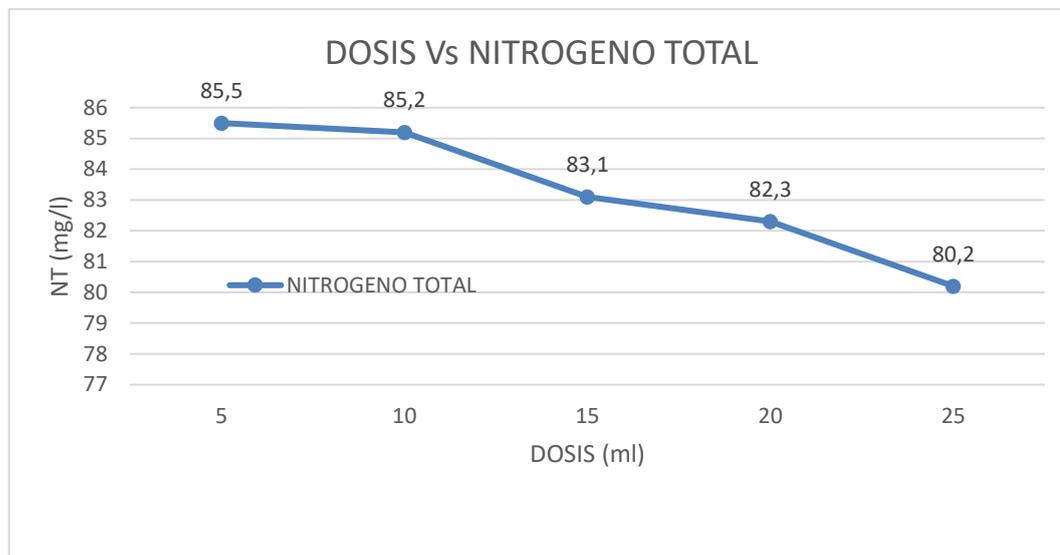
#### 4.2.4. Tratamiento 4

A continuación, en la **Tabla 8**, se muestran los resultados del cuarto tratamiento, el cual fue trabajado inicialmente con su pH original de campo de 8.1, en condiciones alcalinas, para luego adicionar las dosis respectivas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (50%) y Fe<sup>+2</sup> (5 g/l). Las variables de operación fueron realizadas con un volumen de muestra de 1 Litro, una temperatura de 22.5°C, un tiempo de contacto 30 minutos, un pH inicial de 8.1 y una dosis de Fe<sup>+2</sup> de 20 ml.

**Tabla 8**

*Resultados de Nitrógeno Total a pH 8.1 y al 50% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

<b>MUESTRA</b>	<b>TRATAMIENTO 4</b>				
Concentración Inicial NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 50% (ml)	5	10	15	20	25
pH Final	7.0	6.8	6.5	6.3	6.1
Concentración Final (mg/l)	86.5	85.2	82.1	81.4	79.2
<b>REPETICIONES</b>					
1	85.4	84.1	83.0	83.2	80.1
2	87.6	86.3	84.1	82.3	81.3
<b>PROMEDIO</b>	<b>85.5</b>	<b>85.2</b>	<b>83.1</b>	<b>82.3</b>	<b>80.2</b>

**Figura 5***Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 4*

En la **Figura 5**, se aprecia que la concentración inicial de NT (109.2 mg/l), evidencia una reducción medianamente significativa después de la adición progresiva de la dosis del oxidante de 5, 10, 15, 20 y 25 ml. El nivel más bajo obtenido fue de 80.2 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el cuarto tratamiento corresponde a la dosis de 25 ml. Los demás resultados con las otras dosis trabajadas logran reducir sus concentraciones, pero de manera poco significativa.

#### 4.2.5. Tratamiento 5

A continuación, en la **Tabla 9**, se muestran los resultados del quinto tratamiento, el cual fue llevado por el investigador a un pH de 3.5, en condiciones ácidas, para luego adicionar la dosis respectiva de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (15%) y Fe<sup>+2</sup> (5 g/l). Las variables de operación fueron realizadas con un volumen de muestra de 1 Litro, una temperatura ambiente de 22.1°C, un tiempo de contacto de 30 minutos y una dosis de Fe<sup>+2</sup> de 20 ml.

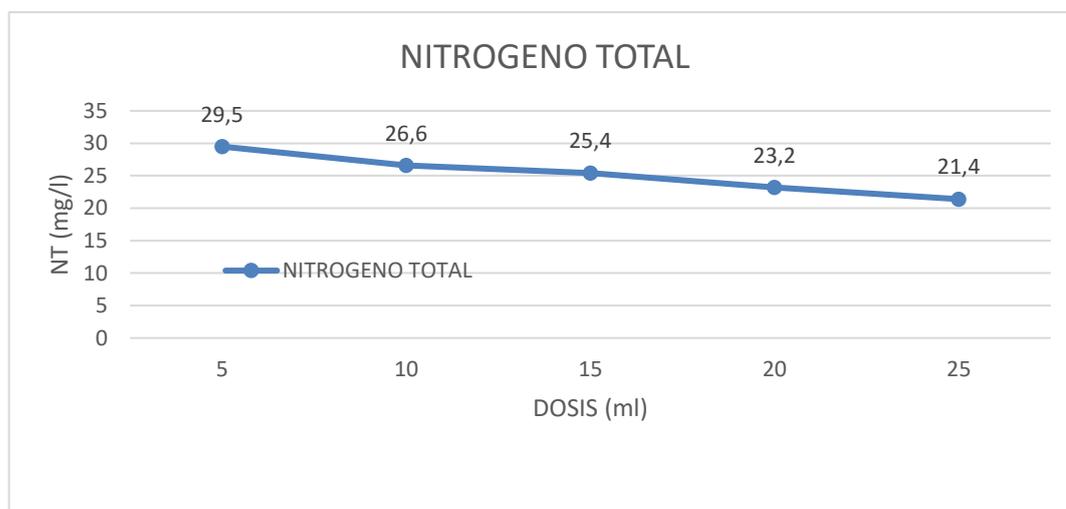
**Tabla 9**

*Resultados de Nitrógeno Total a pH 3.5 y al 15% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 5				
Concentración Inicial NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 15% (ml)	5	10	15	20	25
pH Final	3.5	3.4	3.3	3.1	3.0
Concentración Final (mg/l)	28.5	26.5	24.5	23.3	20.4
<b>REPETICIONES</b>					
1	29.3	25.6	26.4	22.1	22.3
2	30.6	27.7	25.3	24.2	21.4
<b>PROMEDIO</b>	<b>29.5</b>	<b>26.6</b>	<b>25.4</b>	<b>23.2</b>	<b>21.4</b>

**Figura 6**

*Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 5*



En la **Figura 6**, se aprecia que la concentración inicial de NT (109.2 mg/l), evidencia una reducción bastante significativa después de la adición progresiva de la dosis del oxidante de 5, 10, 15, 20 y 25 ml. El nivel más bajo obtenido fue de 21.4 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el quinto tratamiento corresponde a la dosis de 25 ml. Los demás resultados con las otras dosis trabajadas logran reducir sus concentraciones también de manera significativa.

#### 4.2.6. Tratamiento 6

A continuación, en la **Tabla 10**, se muestran los resultados del sexto tratamiento, el cual fue llevado por el investigador a un pH de 3.5, en condiciones acidas, para luego adicionar la dosis respectiva de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (25%) y Fe<sup>+2</sup> (5 g/l). Las variables de operación fueron realizadas con un volumen de muestra de 1 Litro, una temperatura ambiente de 22.1°C, un tiempo de contacto de 30 minutos y una dosis de Fe<sup>+2</sup> de 20 ml.

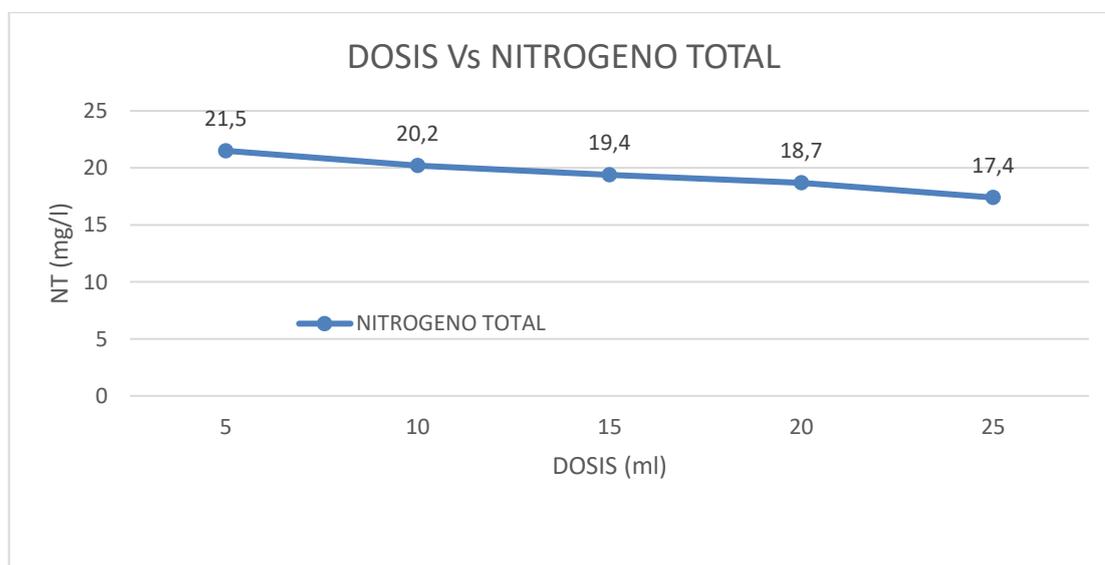
**Tabla 10**

*Resultados de Nitrógeno Total a pH 3.5 y al 25% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 6				
Concentración Inicial NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 25% (ml)	5	10	15	20	25
pH Final	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8
Concentración Final (mg/l)	22.6	21.3	19.3	19.5	16.2
<b>REPETICIONES</b>					
1	20.4	20.2	18.4	17.7	17.3
2	21.5	19.1	20.4	18.9	18.4
<b>PROMEDIO</b>	<b>21.5</b>	<b>20.2</b>	<b>19.4</b>	<b>18.7</b>	<b>17.4</b>

**Figura 7**

*Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 6*



En la **Figura 7**, se aprecia que la concentración inicial de NT (109.2 mg/l), evidencia una reducción bastante significativa después de la adición progresiva de la dosis del oxidante de 5, 10, 15, 20 y 25 ml. El nivel más bajo obtenido fue de 21.4 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el sexto tratamiento corresponde a la dosis de 25 ml. Los demás resultados con las otras dosis trabajadas logran reducir sus concentraciones también de manera significativa.

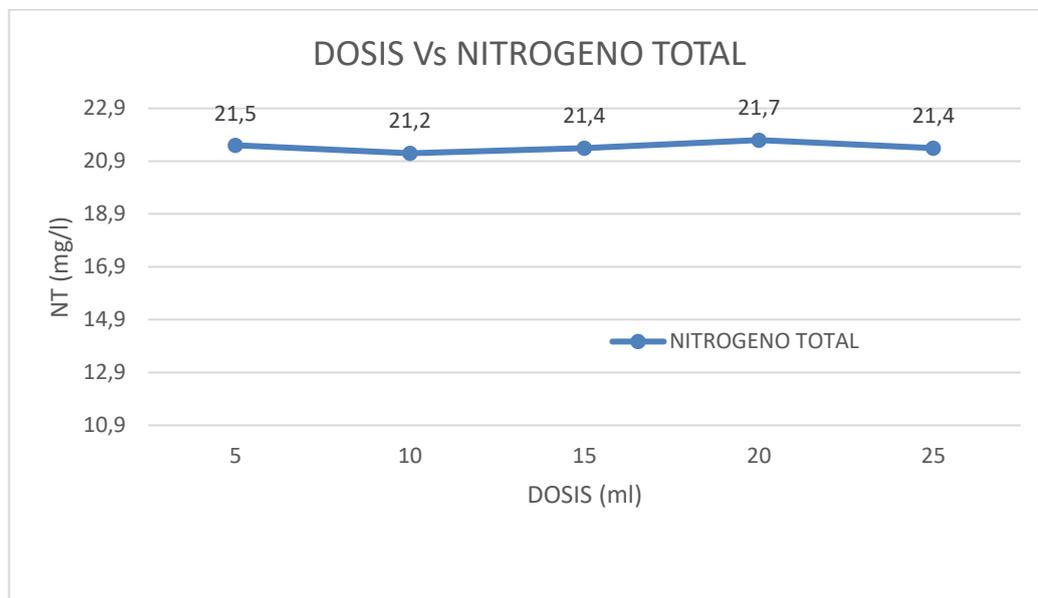
#### 4.2.7. Tratamiento 7

A continuación, en la **Tabla 11**, se muestran los resultados del séptimo tratamiento, el cual fue llevado por el investigador a un pH de 3.5, en condiciones ácidas, para luego adicionar la dosis respectiva de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (35%) y Fe<sup>+2</sup> (5 g/l). Las variables de operación fueron realizadas con un volumen de muestra de 1 Litro, una temperatura ambiente de 22.1°C, un tiempo de contacto de 30 minutos, un pH inicial de 8.1 y una dosis de Fe<sup>+2</sup> de 20 ml.

**Tabla 11**

*Resultados de Nitrógeno Total a pH 3.5 y al 35% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

<b>MUESTRA</b>	<b>TRATAMIENTO 7</b>				
Concentración Inicial NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 35% (ml)	5	10	15	20	25
pH Final	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5
Concentración Final (mg/l)	21.5	21.3	21.5	21.8	20.3
<b>REPETICIONES</b>					
1	20.4	20.2	22.4	20.7	21.5
2	22.3	22.1	20.3	21.9	22.4
<b>PROMEDIO</b>	<b>21.5</b>	<b>21.2</b>	<b>21.4</b>	<b>21.7</b>	<b>21.4</b>

**Figura 8***Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 7*

En la **Figura 8**, se aprecia que la concentración inicial de NT (109.2 mg/l), evidencia una reducción bastante significativa después de la adición de las dosis del oxidante de 5, 10, 15, 20 y 25 ml. El nivel más bajo obtenido fue de 21.2 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el séptimo tratamiento corresponde a la dosis de 10 ml. Los demás resultados con las otras dosis trabajadas logran reducir sus concentraciones también de manera significativa, sin embargo, no hay una diferencia importante al incrementar las dosis, observándose un comportamiento homogéneo con una línea asintótica en todos los casos.

#### 4.2.8. Tratamiento 8

A continuación, en la **Tabla 12**, se muestran los resultados del octavo tratamiento, el cual fue llevado por el investigador a un pH de 3.5, en condiciones ácidas, para luego adicionar la dosis respectiva de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (50%) y Fe<sup>+2</sup> (5 g/l). Las variables de operación fueron realizadas con un volumen de muestra de 1 Litro, una temperatura ambiente de 22.1°C, un tiempo de

contacto de 30 minutos y una dosis de  $\text{Fe}^{+2}$  de 20 ml.

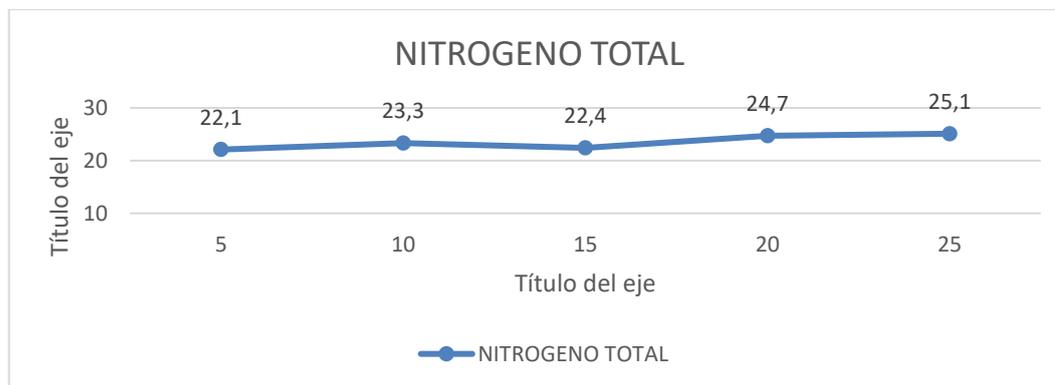
**Tabla 12**

*Resultados de Nitrógeno Total a pH 3.5 y al 50% de  $\text{H}_2\text{O}_2$*

MUESTRA	TRATAMIENTO 8				
Concentración Inicial NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis $\text{H}_2\text{O}_2$ al 50% (ml)	5	10	15	20	25
pH Final	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
Concentración Final (mg/l)	22.1	22.4	21.5	25.8	26.1
<b>REPETICIONES</b>					
1	21.1	23.2	23.4	23.6	24.1
2	23.2	24.3	22.3	24.7	25.1
<b>PROMEDIO</b>	<b>22.1</b>	<b>23.3</b>	<b>22.4</b>	<b>24.7</b>	<b>25.1</b>

**Figura 9**

*Dosis Vs Concentración de NT, Tratamiento 8*



En la **Figura 9**, se aprecia que la concentración inicial de NT (109.2 mg/l), evidencia una reducción bastante significativa después de la adición de las dosis del oxidante de 5, 10, 15, 20 y 25 ml. El nivel más bajo obtenido fue de 22.1 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el octavo tratamiento corresponde a la dosis de 5 ml. Los demás resultados con las otras dosis trabajadas logran reducir sus concentraciones también de manera significativa, sin embargo, no hay una reducción importante al incrementar las dosis, por el contrario, se observa un ligero incremento.

### 4.3 Determinación de la eficiencia en la remoción de Nitrógeno Total

Después de haber determinado las dosis óptimas para los ocho tratamientos, se procedió a conocer las eficiencias finales de acuerdo con las dosis utilizadas de oxidante ( $H_2O_2$ ), tanto en medio alcalino (4 tratamientos) como en medio ácido (4 tratamientos). A continuación, se muestran los resultados de los ensayos correspondiente al tratamiento del lixiviado para la remoción de Nitrógeno Total:

#### 4.3.1. Eficiencias en la remoción de Nitrógeno Total en medio alcalino

En las **Tabla 3, 14, 15 y 16** se muestran los resultados obtenidos de los tratamientos 1, 2, 3 y 4 para Nitrógeno Total, los cuales presentaron una concentración inicial de 109.2 mg/l, con un pH de 8.1.

**Tabla 13**

*Eficiencias del  $H_2O_2$  al 15% a pH 8.1 para la remoción de Nitrógeno Total*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis de Oxidante (ml)	5	10	15	20	25
Concentraciones Finales de NT (mg/l)	<b>109</b>	<b>108.9</b>	<b>107.1</b>	<b>105.2</b>	<b>95.4</b>
Eficiencia (%)	<b>0.18</b>	<b>0.27</b>	<b>1.92</b>	<b>3.66</b>	<b>12.60</b>

**Tabla 14**

*Eficiencias del  $H_2O_2$  al 25% a pH 8.1 para la remoción de Nitrógeno Total*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis de Oxidante (ml)	5	10	15	20	25
Concentraciones Finales de NT (mg/l)	<b>95.3</b>	<b>92.4</b>	<b>91.2</b>	<b>88.3</b>	<b>86.4</b>
Eficiencia (%)	<b>12.73</b>	<b>15.38</b>	<b>16.48</b>	<b>19.14</b>	<b>20.88</b>

**Tabla 15***Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 35% a pH 8.1 para la remoción de Nitrógeno Total*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis de Oxidante (ml)	5	10	15	20	25
Concentraciones Finales de NT (mg/l)	<b>91.1</b>	<b>89.3</b>	<b>88.2</b>	<b>86.7</b>	<b>83.4</b>
Eficiencia (%)	<b>16.58</b>	<b>18.22</b>	<b>19.23</b>	<b>20.60</b>	<b>23.63</b>

**Tabla 16***Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50% a pH 8.1 para la remoción de Nitrógeno Total*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis de Oxidante (ml)	5	10	15	20	25
Concentraciones Finales de NT (mg/l)	<b>85.5</b>	<b>85.2</b>	<b>83.1</b>	<b>82.3</b>	<b>80.2</b>
Eficiencia (%)	<b>21.70</b>	<b>21.98</b>	<b>23.90</b>	<b>24.63</b>	<b>26.56</b>

Las eficiencias alcanzadas en medio alcalino para las concentraciones de oxidante al 15, 25, 35 y 50% mostrando su mayor remoción cuando fueron trabajadas con la dosis de 25ml, sin embargo, resultó ser poco significativa, llegando a obtener eficiencias en el orden del 12.6, 20.8, 23.6 y 26.5% respectivamente.

#### **4.3.2. Eficiencias en la remoción de Nitrógeno Total en medio ácido**

En las **Tabla 7, 18, 19 y 20** se muestran los resultados obtenidos de los tratamientos 5, 6, 7 y 8 para Nitrógeno Total, los cuales presentaron una concentración inicial de 109.2 mg/l, con un pH de 3.5.

**Tabla 17***Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 15% a pH 3.5 para la remoción de Nitrógeno Total*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis de Oxidante (ml)	5	10	15	20	25
Concentraciones Finales de NT (mg/l)	<b>29.5</b>	<b>26.6</b>	<b>25.4</b>	<b>23.2</b>	<b>21.4</b>
Eficiencia (%)	<b>72.99</b>	<b>75.64</b>	<b>76.74</b>	<b>78.75</b>	<b>80.40</b>

**Tabla 18***Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 25% a pH 3.5 para la remoción de Nitrógeno Total*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis de Oxidante (ml)	5	10	15	20	25
Concentraciones Finales de NT (mg/l)	<b>21.5</b>	<b>20.2</b>	<b>19.4</b>	<b>18.7</b>	<b>17.4</b>
Eficiencia (%)	<b>80.31</b>	<b>81.50</b>	<b>82.23</b>	<b>82.88</b>	<b>84.1</b>

**Tabla 19***Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 35% a pH 3.5 para la remoción de Nitrógeno Total*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis de Oxidante (ml)	5	10	15	20	25
Concentraciones Finales de NT (mg/l)	<b>21.5</b>	<b>21.2</b>	<b>21.4</b>	<b>21.7</b>	<b>21.4</b>
Eficiencia (%)	<b>80.31</b>	<b>80.59</b>	<b>80.40</b>	<b>80.13</b>	<b>80.40</b>

**Tabla 20***Eficiencias del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 50% a pH 3.5 para la remoción de Nitrógeno Total*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de NT (mg/l)	<b>109.2</b>				
Dosis de Oxidante (ml)	5	10	15	20	25
Concentraciones Finales de NT (mg/l)	<b>22.1</b>	<b>23.3</b>	<b>22.4</b>	<b>24.7</b>	<b>25.1</b>
Eficiencia (%)	<b>79.76</b>	<b>78.66</b>	<b>79.49</b>	<b>77.38</b>	<b>77.01</b>

Las eficiencias alcanzadas en medio ácido para la concentración de oxidante al 15% mostraron una remoción bastante significativa para todas las dosis de 5, 10, 15, 20 y 25 ml, llegando a alcanzar niveles del 72.9, 75.6, 76.7, 78.7 y 80.4% respectivamente.

Las eficiencias alcanzadas en medio ácido para la concentración de oxidante al 25% también mostraron una remoción bastante significativa para todas las dosis de 5, 10, 15, 20 y 25 ml, llegando a alcanzar niveles del 80.3, 81.5, 82.2, 82.8 y 84.1% respectivamente.

Si bien es cierto las eficiencias alcanzadas en medio ácido para la concentración de 35% de oxidante, mostraron una remoción significativa para todas las dosis de 5, 10, 15, 20 y 25 ml, donde sus eficiencias se mantuvieron en un promedio del 80%, estas no llegaron a mejorar en ninguno de los casos.

Finalmente, las eficiencias para la concentración del 50%, también llegaron a mostrar importantes remociones en medio ácido para todas las dosis, sin embargo, dichas eficiencias se redujeron ligeramente desde 79.7 hasta 77%.

#### **4.4 Análisis Estadístico**

Para poder Analizar los parámetros involucrados se tomó en cuenta los parámetros fisicoquímicos analizados para lo cual se analizaron el método DCA, cual se basa en una prueba ANOVA de un solo factor el cual se aplicó a los resultados obtenidos de remoción de Nitrógeno

Total aplicando oxidación avanzada en lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabaylo.

✓ **Análisis Estadístico base**

Para ello se agrupo de la siguiente manera los resultados obtenidos para procesar la información de manera estadística.

**Tabla 21**

*Data para Aplicación Estadística en la remoción de Nitrógeno Total aplicando oxidación avanzada en lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabaylo.*

TRATAMIENTO	DOSIS	CONCENTRACIÓN NT (mg/L)
T1	D1	109
T1	D2	108.9
T1	D3	107.1
T1	D4	105.2
T1	D5	95.4
T2	D1	95.3
T2	D2	92.4
T2	D3	91.2
T2	D4	88.3
T2	D5	86.4
T3	D1	91.1
T3	D2	89.3
T3	D3	88.2
T3	D4	86.7
T3	D5	83.4
T4	D1	85.5
T4	D2	85.2
T4	D3	83.1
T4	D4	82.3
T4	D5	80.2
T5	D1	29.5
T5	D2	26.6
T5	D3	25.4
T5	D4	23.2
T5	D5	21.4
T6	D1	21.5
T6	D2	20.2
T6	D3	19.4
T6	D4	18.7
T6	D5	17.4
T7	D1	21.5
T7	D2	21.2
T7	D3	21.4
T7	D4	21.7

T7	D5	21.4
T8	D1	22.1
T8	D2	23.3
T8	D3	22.4
T8	D4	24.7
T8	D5	25.1

Para determinar el DCA en la tabla 21 que corresponde a la aplicación del tratamiento y su afectación en la disminución del Nitrógeno total se tiene:

Prueba de Normalidad para los errores (AD)

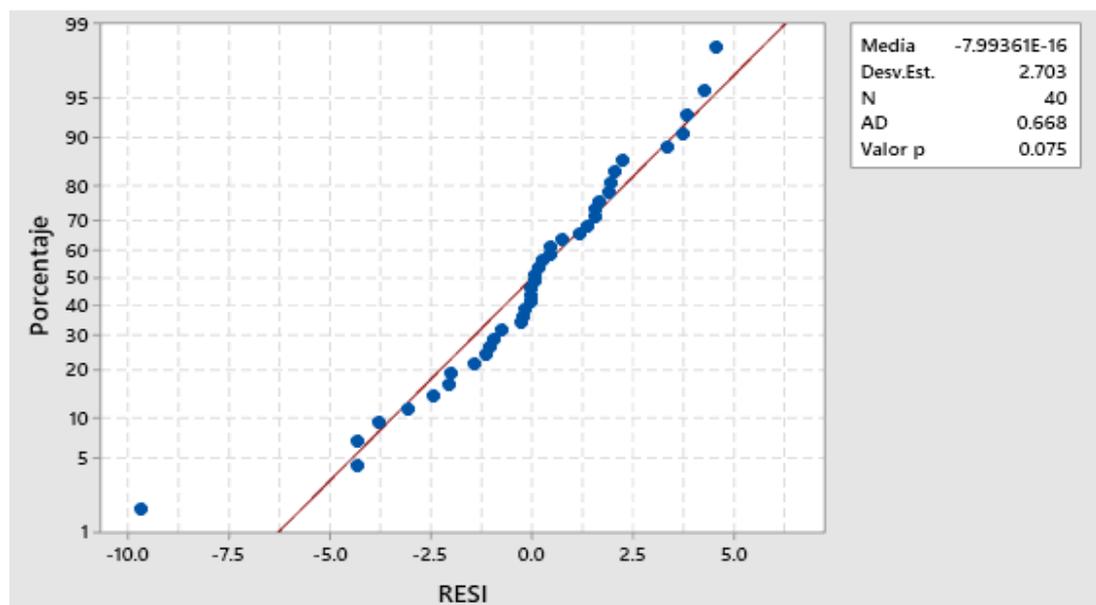
Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los residuos se distribuyen normalmente

Ha: Los residuos no se distribuyen normalmente

### Figura 10

*Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de Nitrógeno Total*



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado se obtiene que el valor  $p > 0.05$  ( $p = 0.075$ ) como también el indicador ( $AD = 0.668$ ) por consiguiente se acepta la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores presentan una distribución Normal.

✓ **Homogeneidad de Varianzas**

Se plantea

$H_0$ : Las varianzas son iguales

$H_a$ : Al menos una varianza es diferente

Calculando el índice de Bartlett = 36.89 y p valor = 0.16 > 0.05, no se rechaza la hipótesis nula por consiguiente existe homogeneidad de Varianzas.

✓ **Prueba hipótesis DCA:** Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir el nitrógeno total por oxidación avanzada en lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo

$H_0$ : Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

$H_a$ : Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Teniendo en cuenta el coeficiente  $F = 793.333$  y un p-valor = 0.000 y sabiendo que p-valor < 0.05 se decide aceptarla hipótesis alterna y rechazar la hipótesis nula es decir los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí.

✓ **Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey)**

Prueba Tukey:

$H_0: \mu_i = \mu_j$

$H_a: \mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

**Tabla 22**

*Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para turbiedad*

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación	
T1	5	105.12	A	
T2	5	90.72	B	
T3	5	87.74	B	C
T4	5	83.26	C	
T5	5	25.22	D	
T8	5	23.52	D	
T7	5	21.44	D	
T6	5	19.44	D	

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo que se desprende que el tratamiento T6 es más efectivo en remover Nitrógeno Total al poseer una media menor, por consiguiente, en proceso de disminución de NT por oxidación avanzada en lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo es más efectivo.

**Figura 11**

*Eficiencia de tratamientos de disminución de Nitrógeno Total por oxidación avanzada en aguas residuales lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo*



Se observa que el tratamiento T6 con una dosis de 5 ml de peróxido de hidrogeno demuestra una eficiencia de 84.07% de disminución de Nitrógeno Total aplicando la oxidación avanzada en lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo.

#### 4.5 Contrastación de la Hipótesis

Como resultado del análisis estadístico tenemos finalmente la elaboración de la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Contrastación de Hipótesis de Investigación*

HIPOTESIS GENERAL	ARGUMENTACION	CONTRASTACION
Los procesos de Oxidación Avanzada permitirán remover el Nitrógeno Total presente en los lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo 2022.	Se evidencia según el tratamiento aplicado y las pruebas estadísticas base que el proceso aplicado de oxidación avanzada remueve considerablemente el nitrógeno total de los lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo 2022.	Verdadera
<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>		
Los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los límites máximos permisibles para descargas de lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo.	Según los resultado se advierte que los parámetros están fuera de los límites máximos permisibles para descargas de lixiviados debido a ello se propone disminuir en base el nitrógeno total del agua para un reusó posterior en una categoría de agua adecuada	Verdadera
El peróxido de hidrógeno presenta su dosis óptima entre 4 y 5 ml para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo.	Según los resultados obtenido se presenta una remoción considerable en medio acido con una dosis optima de 5 ml de peróxido de hidrogeno para garantizar una remoción significativa de nitrógeno total	Verdadera
El oxidante aplicado tiene una eficiencia del 80 al 90 % para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo.	Según una significancia de estadística de 5% se tiene que en el tratamiento 6 con 5 ml de peróxido de3 hidrogeno en medio acido se remueve 84.07% de nitrógeno total del lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo	Verdadera

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Chávez (2011), en su estudio desarrollado sobre “*Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, México*” planteó remover la DQO a niveles mayores del 90% con relación a la concentración inicial presente en los lixiviados sin diluir del relleno sanitario de la Ciudad de Chihuahua, México. El lixiviado fue sometido a un tren de tratamiento compuesto por 4 fases, los cuales incluyen un proceso de coagulación-floculación-sedimentación mediante un coagulante inorgánico; uno de adsorción con carbón activado; otro de oxidación química mediante el reactivo Fenton y finalmente el uso de membranas de ósmosis inversa. Se tomó en cuenta condiciones de operación óptimas en cada proceso con el fin de aumentar el nivel de remoción del parámetro DQO, pero sin dejar de caracterizar también y determinar las remociones en cada etapa del tratamiento para los parámetros de DBO5, Nitrógeno Total, ST y SDT. De acuerdo con lo indicado se obtuvo resultados que alcanzaron remociones en el tratamiento del 92, 68, **63**, 46 y 45% para DQO, DBO5, **Nitrógeno Total**, ST y SDT respectivamente. En el caso de nuestra investigación se trabajó con relación a un solo parámetro en particular que fue el Nitrógeno Total, bajo condiciones ácidas y alcalinas iniciales con pH de 3.5 y 8.1 respectivamente. Las concentraciones utilizadas de Peróxido de Hidrogeno fueron al 15, 25, 35 y 50%, y Hierro  $Fe^{+2}$ , de 5 g/l, donde las dosis tomadas por el investigador para el caso del oxidante fueron de 5, 10, 15, 20 y 25 ml, y de  $Fe^{+2}$  un volumen fijo para todos los tratamientos de 20 ml. Los mejores resultados fueron obtenidos en medio ácido a pH 3.5 con las cuatro concentraciones al 15, 25, 35 y 50%, en relación con la remoción de Nitrógeno Total, mostrando eficiencias que variaron entre 72.9 y 84.1%.

Anfruns et al. (2013), en su estudio “*Coupling anammox and advanced oxidation-based technologies for mature landfill leachate treatment*”, realizó una evaluación sobre la idoneidad de acoplar el proceso anammox con procesos de oxidación avanzada (POAs) para el

tratamiento de lixiviados de vertederos maduros con altas concentraciones de Nitrógeno y Materia Orgánica no biodegradable ( $2309 \pm 96$  mg N-TN/L y  $6200 \pm 566$  mg DQO/L). De acuerdo con la metodología se procedió a combinar el sistema de Nitritación parcial-nammox con dos sistemas basados en AOP (coagulación/floculación + ozonización y foto-Fenton) se consideró evaluarlo en términos de eliminación de nitrógeno y carbono. La eficiencia de eliminación de **Nitrógeno Total** fue del 87 a 89 % con ambas configuraciones sin llegar a la necesidad de utilizar una fuente de carbono externa. Para obtener los resultados finales, en nuestra investigación se trabajó bajo dos medios, uno alcalino y otro ácido, del cual podemos indicar que comparativamente hablando las eficiencias obtenidas trabajadas con concentraciones al 15, 25, 35 y 50% de  $H_2O_2$ , y 5 g/l de  $Fe^{+2}$ , los resultados de las eficiencias en medio alcalino estuvieron entre el 0.18 y 26.6 % y en medio ácido entre el 72.9 y 84.1%.

Klauck et al. (2016), en su estudio "*Toxicity elimination of landfill leachate by hybrid processing of advanced oxidation process and adsorption*", indican que los lixiviados de vertedero son efluentes de alta carga contaminante, principalmente los que provienen de vertederos estabilizados, y que son difíciles de tratar por procesos biológicos debido a su alta toxicidad que inhibe la acción microbiológica. El presente estudio trata procesos como la Fotoelectrooxidación y la adición de carbón activado para el tratamiento de los lixiviados de un relleno sanitario estabilizado, así también se evalúa la influencia de estos procesos en la reducción de la toxicidad del lixiviado mediante bioensayos en *Allium cepa* (bulbos de cebolla). Obteniendo que el proceso de Fotoelectrooxidación mejoró la biodegradabilidad del efluente y, logró remover el Nitrógeno Amónico al 44%. Sin embargo, la Fotoelectrooxidación no redujo la toxicidad del efluente, por el contrario, provocó un incremento de compuestos orgánicos de las especies. La integración de los procesos de Fotoelectrooxidación y carbón activado, han mejorado la eficiencia del tratamiento, presentando una remoción de DQO, Nitrógeno Amónico y **Nitrógeno Total** del 67,2%, 58,3% y **48,4%**, respectivamente. Las concentraciones utilizadas en nuestra investigación para la remoción de Nitrógeno Total con Peróxido de Hidrogeno fueron del 15, 25, 35 y 50%, y Hierro  $Fe^{+2}$ , de 5 g/l, donde las dosis tomadas para

el caso del oxidante fueron de 5, 10, 15, 20 y 25 ml, y un volumen fijo de  $\text{Fe}^{+2}$  para todos los tratamientos de 20 ml. Los mejores resultados fueron obtenidos en medio ácido a pH 3.5 con las cuatro concentraciones al 15, 25, 35 y 50%, en relación con la remoción de Nitrógeno Total, mostrando eficiencias entre el 72.9 y 84.1%, mientras que los resultados en medio alcalino estuvieron entre el 0.18 y 26.6 %.

## VI. CONCLUSIONES

De acuerdo con el primer objetivo planteado referente a la caracterización de los parámetros fisicoquímicos se concluye que los Solidos Suspendidos Totales (315 mg/l), Demanda Bioquímica de Oxígeno (1582 mg/l) y Demanda Química de Oxígeno (2175 mg/l), excedieron los LMP, en el cual no se incluyeron los parámetros que no cuentan con una norma como la Conductividad Eléctrica, Turbiedad, Fosforo Total y Nitrógeno Total.

De acuerdo con el segundo objetivo planteado se concluye que la dosis óptima obtenidas en medio alcalino para la remoción de Nitrógeno Total para las concentraciones al 15, 25, 35 y 50%, fue en todos los casos, 25 ml de oxidante; mientras que, en medio ácido para las mismas concentraciones, las dosis óptimas estuvieron para todos los casos en 5, 10, 15, 20 y 25 ml.

En relación con el tercer objetivo específico se concluye que las eficiencias obtenidas en medio alcalino para la remoción de Nitrógeno Total, para las concentraciones del 15, 25, 35 y 50%, estuvieron en el rango del el 0.18 y 26.6 %, no siendo muy significativa; mientras que las eficiencias alcanzadas en medio ácido estuvieron en el rango del 72.9 y 84.1% las cuales resultaron ser bastante significativas.

Se concluye que la remoción de Nitrógeno Total en medio alcalino con una concentración inicial de 109.2 mg/l, se redujo hasta 80.2 mg/l utilizando una dosis de 25 ml de oxidante al 50%, alcanzando una eficiencia del 26.5%; mientras que en medio ácido se llegó hasta niveles máximos de reducción de 17.4 mg/l, alcanzando una eficiencia máxima del 84.1% con una concentración de oxidante al 25%.

## VII. RECOMENDACIONES

A fin de mejorar las dosis óptimas y obtener mejores eficiencias en la remoción de Nitrógeno Total en los lixiviados, se recomienda realizar ensayos con otras concentraciones de peróxido de hidrógeno, diferentes a las trabajadas en la presente investigación.

Se recomienda utilizar la metodología de la presente investigación para la remoción de Nitrógeno Total en medio ácido para lixiviados de rellenos sanitarios que contengan concentraciones elevadas de materia orgánica y complementarlas de ser necesarias a fin de alcanzar los Límites Máximos Permisibles.

Se recomienda para futuras investigaciones modificar las variables de operación como la temperatura, el tiempo de reacción, pH, y volumen, a fin de conocer posibles cambios en la mejora de la dosis óptima y eficiencia en la remoción del Nitrógeno Total.

Se recomienda al sector competente desarrollar una norma en relación con el límite máximo permisible para el caso de lixiviados de rellenos sanitarios o vertederos, el cual generalmente presenta parámetros fisicoquímicos con elevadas cargas contaminantes con cierto grado de toxicidad, resultando un peligro para la salud de las personas y medio ambiente.

### VIII. REFERENCIAS

Alvarado, N. (2016). Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del cantón tena provincia de napo mediante reacción fenton y microorganismos eficientes, 2016”. [Tesis para optar el Título de Ingeniera en Biotecnología Ambiental. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/6310/1/236T0252.pdf>

Anfruns, A., Gabarró, J., Gonzalez, R., Puig, D., Balaguer, M. y Colprim, J. (2013). “Coupling anammox and advanced oxidation-based technologies for mature landfill leachate treatment”. *Journal of Hazardous Materials*, 258–259, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.04.027>

Arroyo, M. (2016). “*Evaluación del proceso foto-Fenton en la disminución de la materia orgánica en el tratamiento de lixiviado en el botadero aguas de las vírgenes en el distrito de el tambo, provincia de Huancayo, Región Junín*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Alas Peruanas]. Repositorio de la Universidad Alas Peruanas. [https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/5708/Tesis\\_procesoFoto-fenton\\_disminuci%3b3nMateriaOrg%3%a1nica\\_Lixiviado\\_botadero\\_Tambo\\_Huancayo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/5708/Tesis_procesoFoto-fenton_disminuci%3b3nMateriaOrg%3%a1nica_Lixiviado_botadero_Tambo_Huancayo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Baldeón, H. (2020). “*Oxidación Avanzada de Aguas Residuales del Relleno Sanitario naranjito del Cantón San José de Chimbo, Provincia de Bolívar*”. [Tesis para

optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Agraria del Ecuador].  
 Repositorio de la Universidad Agraria del Ecuador.  
[https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BALDEON%20CAMACHO%20HUGO%20FERNANDO\\_opt\\_opt\\_compressed.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BALDEON%20CAMACHO%20HUGO%20FERNANDO_opt_opt_compressed.pdf)

Barrantes, N. (2020). *“Remoción de parámetros fisicoquímicos del lixiviado del botadero controlado “la pushura”, mediante proceso de oxidación avanzada, jaén, Cajamarca”*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal y Ambiental. Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio de la Universidad Nacional de Jaén Peruanas. [http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/183/1/Barrantes\\_SNF.pdf](http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/183/1/Barrantes_SNF.pdf)

Dámazo, M. (2016). “Factores externos que reducen la vida útil del relleno sanitario El Zapallal y su influencia para nueva ubicación en Lima Norte”. Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/18407>

Franco, L. y Guiffo, L. (2012). Descontaminación de lixiviados pretratados, por electrodosificación y floculación, aplicando Oxidación Foto Fenton.”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad del Valle]. Repositorio de la Universidad del Valle. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/16746/0473359.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Feng, H., Chen, Z., Wang, X., Chen, S. y Crittenden, J. (2021). Electrochemical advanced oxidation for treating ultrafiltration effluent of a landfill leachate system: Impacts of organics and inorganics and economic evaluation. *Chemical Engineering Journal*, 413, 127492. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127492>
- Hilles, A. H., Abu Amr, S. S. y Hussein, R. A., El-Sebaie, O. D. y Arafa, A. I. (2016). Performance of combined sodium persulfate/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> based advanced oxidation process in stabilized landfill leachate treatment. *Journal of Environmental Management*, 166(1), 493–498. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.10.051>
- Klauck, C., Giacobbo, A., Altenhofen, C., Silva, L. Meneguzzi, A., Bernardes, A. y Siqueira, M. (2016). Toxicity elimination of landfill leachate by hybrid processing of advanced oxidation process and adsorption”. *Environmental Technology & Innovation*, 8, 246-255. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.07.006>
- Lapeyre, M. y Pequeño, J. (2019). “Efecto de la Oxidación Fenton sobre la Materia Orgánica de los lixiviados de la infraestructura y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, 2019”. Cajamarca – Perú <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1227/EFEECTO%20D E%20LA%20OXIDACION%20FENTON%20SOBRE%20LA%20MATERIA%20ORGANICA%20DE%20LOS%20LIXIVIADOS%20DE%20LA%20INFRAESTRUCTURA%20Y%20DISPOSICION%20FINAL%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS%20DE%20CAJAMARCA%20C%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ley 27314 Ley General de Residuos Sólidos [en línea] 2000. Disponible en:

<http://www3.vivienda.gob.pe/grd/normas/NormasEstadoGRD/01%20Ley%20GRD%20%20Estado/01%20Ley%20N%C2%B0%2027314%20%20Ley%20General%20de%20Residuos%20Solidos.pdf>

Marelli, P. (2020). “*La gestión de los residuos sólidos del relleno sanitario “El Zapallal” como recurso sostenible de desarrollo social para Carabayllo, 2020*”.

[Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo].

Repositorio de la Universidad César Vallejo.

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/66296/Marelli\\_AP-G-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/66296/Marelli_AP-G-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Méndez, R., García, R., Castillo, E. y Sauri, M. (2010). “*Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton*” Ingeniería e Investigación, 30 (1), 80-85.

<http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a14.pdf>

Mayorca, N. (2017). “*Reducción de la carga orgánica en lixiviado estabilizado del botadero municipal de san ramón mediante Oxidación Avanzada Foto-Fenton*”.

[Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Agraria La Selva. César Vallejo]. Repositorio de la Universidad Nacional Agraria La Selva.

[http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1392/MMNM\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1392/MMNM_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Miao, L; Yang, G; Tao, T. y Peng, Y. (2019). Recent advances in nitrogen removal from landfill leachate using biological treatments. *Journal of Environmental Management*, 235(), 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.057>

MINAM. Compendio de la legislación ambiental peruana (Vol. V): Dirección general de políticas, normas e instrumentos de gestión ambiental del Ministerio del Ambiente 2010, Perú, Lima. Disponible en: [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/compendio\\_05\\_-\\_calidad\\_ambiental\\_2.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/compendio_05_-_calidad_ambiental_2.pdf)

Orozco, V. (2018). “*Determinación de lixiviados de relleno sanitario de San Ramón y selección de su sistema de tratamiento*”. [Tesis para optar el Título de Licenciado en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica.]. Repositorio del Instituto Tecnológico de Costa Rica. [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11164/determinacion\\_lixiviados\\_relleno\\_sanitario.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11164/determinacion_lixiviados_relleno_sanitario.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pisharody, L., Gopinath, A., Malhotra, M., Nidheesh, P. V., & Kumar, M. S. (2022). Occurrence of organic micropollutants in municipal landfill leachate and its effective treatment by advanced oxidation processes. *Chemosphere*, 287, 132216. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132216>

Primo, O. (2008). “*Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de su mediante procesos de oxidación avanzada*”. Cantabria – España. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10692/4de8.OPMcap.4.pdf?sequence=5>

- Tito, J. (2020). Degradación de la carga orgánica de lixiviado maduro mediante proceso de oxidación avanzada H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV/TiO<sub>2</sub> en reactor anular, Junín – Perú. *Llamkasun*, 1 (3), 63-81. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v1i3.22>
- Yaranga, Y. (2021). “*Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín*”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63563>
- Zevallos, M. (2019). “Sistema de tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Zapallal utilizando nanofiltros de grafeno con hierro, 2019”. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6285/RENTERIA\\_JOSE\\_ZEBALLOS\\_MARIA\\_PROPUESTA\\_MEJORA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6285/RENTERIA_JOSE_ZEBALLOS_MARIA_PROPUESTA_MEJORA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Zevallos, M. (2014). “*Propuesta de Mejora para la gestión estratégica del Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos Domiciliarios en el distrito de Los Olivos*”. [Tesis para optar el Título de Licenciado en Gestión. Pontífice Universidad Católica del Perú]. Repositorio de la Pontífice Universidad Católica del Perú. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6285/RENT>

ERIA\_JOSE\_ZEBALLOS\_MARIA\_PROPUESTA\_MEJORA.pdf?sequence=1  
&isAllowed=y

## IX. ANEXOS

## 9.1 Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<p><b>Problema general</b> ¿Cómo será la remoción de Nitrógeno Total en el tratamiento de lixiviados por Oxidación Avanzada del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo, 2022?</p> <p><b>Problemas Específicos</b> 1. ¿Cómo será la caracterización de los parámetros fisicoquímicos en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo? 2. ¿Cuál será la dosis óptima del peróxido de hidrógeno para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo? 3. ¿Cómo será la eficiencia del peróxido de hidrógeno para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Evaluar la remoción de Nitrógeno Total mediante procesos de Oxidación Avanzada en lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo 2022.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b> 1. Caracterizar los parámetros fisicoquímicos en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo. 2. Determinar la dosis óptima de peróxido de hidrógeno para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo. 3. Determinar la eficiencia de peróxido de hidrógeno para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> Los procesos de Oxidación Avanzada permitirán remover el Nitrógeno Total presente en los lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo 2022.</p> <p><b>Hipótesis Específicos</b> 1. Los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los límites máximos permisibles para descargas de lixiviados del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo. 2. El peróxido de hidrógeno presenta su dosis óptima entre 4 y 5 ml para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo. 3. El oxidante aplicado tiene una eficiencia del 80 al 90 % para la remoción de Nitrógeno Total en el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo</p>	<p><b>Variable Independiente</b>  Oxidación Avanzada</p>	<p>Los POA garantizan la eficiencia en el proceso de oxidación de materia orgánica recalcitrante de los lixiviados, ya que aseguran eficacia en la oxidación de materia orgánica en la generación de radicales hidroxilos a través de reacciones químicas, en la que la producción de estos radicales se da de manera independiente mientras no haya deficiencia de algún componente. Los POA Se emplean para complementar a los procesos convencionales que desarrollan los tratamientos de contaminantes resistentes a la biodegradación. Los POA también se emplean en la catálisis en fase luminosa con Dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), Foto Fenton, UV/peróxido de hidrógeno, Ozono y electro oxidación, siendo su eficiencia que logra mejores comparados con los métodos biológicos (Yaranga, 2021).</p>	<p>Los POA permiten la oxidación de materia orgánica, nitrógeno total, etc. y desarrollan un proceso de tratamiento de lixiviados reduciendo la concentración de estos agentes contaminantes presentes en estos, para lo cual se usan sustancias oxidantes y sales para lograr un eficiente tratamiento, esto está en función a la dosificación, tiempo, velocidad de reacción.</p>	Parámetros de Control	Dosis	ml
			<p><b>Variable Dependiente:</b>  Remoción de Nitrógeno Total</p>	<p>Los compuestos nitrogenados se encuentran en alta concentración, como NTK Y N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, provenientes de la degradación de las proteínas y aminoácidos presentes en los residuos sólidos, El tratamiento de éstos consiste en realizar operaciones o procesos para lograr remover la mayoría de los contaminantes. Para esto es indispensable saber el volumen y poder contaminante de los lixiviados, su composición y características. (Orozco, 2018)</p>	<p>Los lixiviado presentan una gran cantidad de contaminantes los cuales son clasificados en 4 categorías principales: materia orgánica disuelta, compuestos nitrogenados, metales pesados y sustancias orgánicas xenobióticas.</p>		<p>Parámetros Físicoquímicos</p>	Tiempo
							Velocidad de Agitación	rpm
							Peróxido de Hidrógeno	%
							Eficiencia	%
							Nitrógeno Total	mg/l
							Fósforo Total	mg/l
							Potencial de Hidrogeno	Unidad de Ph
							Conductividad Eléctrica	uS/cm
							Turbiedad	NTU
							DBO	mg/l
							DQO	mg/l