



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS POR PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA
DEL RELLENO SANITARIO “EL ZAPALLAL”, CARABAYLLO, 2023**

Línea de investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental

Autora:

Huaranga Alan, Lupe Inés

Asesor:

Vega Ventosilla, Violeta

ORCID: 0000-0002-7763-6993

Jurado:

Alva Velasquez, Miguel

Gomez Escriba, Benigno Paulo

Osorio Rojas, Eberardo Antonio

Lima - Perú

2024



TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS POR PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA DEL RELLENO SANITARIO "EL ZAPALLAL", CARABAYLLO, 2023.

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	repositoriotec.tec.ac.cr Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	1library.co Fuente de Internet	1%
6	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y
ECOTURISMO

TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS POR PROCESOS DE OXIDACIÓN
AVANZADA DEL RELLENO SANITARIO “EL ZAPALLAL”,
CARABAYLLO, 2023

Línea de investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Modalidad de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor(a):

Huaranga Alan, Lupe Inés

Asesor:

Vega Ventosilla, Violeta

(ORCID: 0000-0002-7763-6993)

Jurado:

Alva Velasquez, Miguel

Gomez Escriba, Benigno Paulo

Osorio Rojas, Eberardo Antonio

Lima - Perú

2024

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada con amor y gratitud a mi madre Marina que siempre me apoyo y se esforzó por darme lo mejor permitiéndome completar mi carrera y alcanzar mis sueños. A mi mami Lupe y mi tía Maria cuyo amor siempre perdurará en mi corazón, siendo para ellas mis logros. A mi familia y a todas aquellas personas que creyeron en mí y contribuyeron de diferentes formas para lograr cumplir mis objetivos.

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Nacional Federico Villarreal por su invaluable apoyo en mi formación académica. De igual manera, celebro el profesionalismo y conocimiento de mis asesores. Agradezco a mis amigos y compañeros por las risas y el apoyo durante toda la carrera.

Por último, pero siempre en primer lugar, extiendo palabras de gratitud a mis padres, a quienes les deseo una larga vida para disfrutar de la cosecha que han sembrado en mi educación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen.....	12
Abstract.....	13
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Descripción y formulación del problema.....	15
1.1.1 Descripción del problema	15
1.1.2 Formulación del problema	16
1.2 Antecedentes	17
1.2.1 Antecedentes nacionales	17
1.2.2 Antecedentes internacionales.....	21
1.3 Objetivos.....	23
1.3.1 Objetivo general.....	23
1.3.2 Objetivos específicos	23
1.4 Justificación	24
1.4.1 Hipótesis General.....	24
1.4.2 Hipótesis Específica.....	25
II. MARCO TEÓRICO.....	26
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación	26
2.1.1 Lixiviados	26
2.1.2 Características y Composición del Lixiviado	26
2.1.3 Relleno Sanitario.....	30
2.1.4 Selección de Tratamientos de Lixiviados	31

2.1.5	Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios mediante Procesos de Oxidación Avanzada.....	32
2.1.6	Procesos de Oxidación Avanzada.....	33
2.1.7	Eliminación de Contaminantes por Procesos de Oxidación Avanzada	35
2.1.8	Reacciones de Oxidación Avanzada.....	37
2.1.9	Reacción Fenton.....	37
2.1.10	Dosificación de Fenton	39
2.1.11	Factores que afectan el Proceso Fenton	39
2.1.12	Precipitación Química.....	40
2.1.13	Relleno Sanitario “El Zapallal”	40
2.2	Marco Conceptual.....	43
2.2.1	Definición de Términos	43
2.3	Marco Legal Ambiental	44
III.	MÉTODO	48
3.1	Tipo de investigación.....	48
3.2	Ámbito temporal y espacial	48
3.2.1	Ámbito temporal	48
3.2.2	Ámbito espacial	48
3.3	Variables	51
3.3.1	Variable Independiente	51
3.3.2	Variable Dependiente.....	51
3.4	Población y muestra.....	53

3.4.1	Población.....	53
3.4.2	Muestra	53
3.5	Instrumentos.....	53
3.5.1	Técnicas	53
3.5.2	Instrumentos.....	53
3.5.3	Fuentes	54
3.6	Procedimientos.....	54
3.6.1	Toma de muestras	54
3.6.2	Corridas Experimentales.....	54
3.6.3	Determinación de Parámetros Fisicoquímicos.....	55
3.6.4	Análisis Final	56
3.7	Análisis de datos	57
IV.	RESULTADOS.....	58
4.1	Caracterización del Lixiviado:.....	58
4.2	Determinación de la dosis óptima en el tratamiento de lixiviado.....	59
4.2.1	Primer ensayo.....	59
4.2.2	Segundo ensayo	65
4.2.3	Tercer ensayo	71
4.2.4	Cuarto Ensayo.....	76
4.3	Determinación de la eficiencia en el tratamiento de lixiviado.....	81
4.3.1	Primer ensayo.....	82

4.3.2	Segundo ensayo	83
4.3.3	Tercer ensayo	85
4.3.4	Cuarto ensayo.....	87
4.4	Análisis Estadístico Inferencial.....	89
4.4.1	Prueba de normalidad.	95
4.4.2	Prueba de Homogeneidad de Varianzas:	97
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	105
VI.	CONCLUSIONES	108
VII.	RECOMENDACIONES.....	109
VIII.	REFERENCIAS.....	110
IX.	ANEXOS	119
	Anexo A. Matriz de consistencia	119
	Anexo B. Panel Fotográfico.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Procesos de Oxidación Avanzada</i>	34
Tabla 2 <i>Procesos de Oxidación Avanzada y su eficiencia</i>	36
Tabla 3 <i>Operacionalización de variables de investigación</i>	52
Tabla 4 <i>Caracterización del Lixiviado</i>	58
Tabla 5 <i>Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Tratamiento 1</i>	60
Tabla 6 <i>Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Tratamiento 1</i>	62
Tabla 7 <i>Resultados de Turbiedad (Tb), Tratamiento 1</i>	64
Tabla 8 <i>Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Tratamiento 2</i>	66
Tabla 9 <i>Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Tratamiento 2</i>	68
Tabla 10 <i>Resultados de Turbiedad (Tb), Tratamiento 2</i>	70
Tabla 11 <i>Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Tratamiento 3</i>	71
Tabla 12 <i>Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Tratamiento 3</i>	73
Tabla 13 <i>Resultados de Turbiedad (Tb), Tratamiento 3</i>	74
Tabla 14 <i>Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Tratamiento 4</i>	76
Tabla 15 <i>Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Tratamiento 4</i>	78
Tabla 16 <i>Resultados de Turbiedad (Tb), Tratamiento 4</i>	80
Tabla 17 <i>Eficiencias del primer ensayo para DQO</i>	82
Tabla 18 <i>Eficiencias del primer ensayo para DBO</i>	82
Tabla 19 <i>Eficiencias del primer ensayo para Turbiedad</i>	83
Tabla 20 <i>Eficiencias del segundo ensayo para DQO</i>	84
Tabla 21 <i>Eficiencias del segundo ensayo para DBO</i>	84
Tabla 22 <i>Eficiencias del segundo ensayo para Turbiedad</i>	85
Tabla 23 <i>Eficiencias del tercer ensayo para DQO</i>	85
Tabla 24 <i>Eficiencias del tercer ensayo para DBO</i>	86

Tabla 25 <i>Eficiencias del tercer ensayo para Turbiedad</i>	86
Tabla 26 <i>Eficiencias del cuarto ensayo para DQO</i>	87
Tabla 27 <i>Eficiencias del cuarto ensayo para DBO</i>	88
Tabla 28 <i>Eficiencias del cuarto ensayo para Turbiedad</i>	88
Tabla 29 <i>Datos agrupados para análisis estadístico</i>	89
Tabla 30 <i>Resultados de la prueba de Homogeneidad de Varianzas en la investigación para los tratamientos aplicados y parámetros analizados</i>	98
Tabla 31 <i>Análisis de los mejores tratamientos y dosis aplicadas en la investigación</i>	104
Tabla 32 <i>Matriz de consistencia</i>	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Reacción de Oxidación Avanzada</i>	37
Figura 2 <i>Ubicación del relleno sanitario “El Zapallal”</i>	41
Figura 3 <i>Entrada al relleno sanitario “El Zapallal”</i>	42
Figura 4 <i>Ubicación Geográfica del Relleno Sanitario “El Zapallal”</i>	50
Figura 5 <i>Dosis Vs Concentración de DQO, Tratamiento 1</i>	61
Figura 6 <i>Dosis Vs Concentración de DBO, Tratamiento 1</i>	63
Figura 7 <i>Dosis Vs Nivel de Turbiedad, Tratamiento 1</i>	65
Figura 8 <i>Dosis Vs Concentración de DQO, Tratamiento</i>	67
Figura 9 <i>Dosis Vs Concentración de DBO, Tratamiento 2</i>	69
Figura 10 <i>Dosis Vs Nivel de Turbiedad, Tratamiento 2</i>	70
Figura 11 <i>Dosis Vs Concentración de DQO, Tratamiento 3</i>	72
Figura 12 <i>Dosis Vs Concentración de DBO, Tratamiento 3</i>	74
Figura 13 <i>Dosis Vs Nivel de Turbiedad, Tratamiento 3</i>	75
Figura 14 <i>Dosis Vs Concentración de DQO, Tratamiento 4</i>	77
Figura 15 <i>Dosis Vs Concentración de DBO, Tratamiento 4</i>	79
Figura 16 <i>Dosis Vs Nivel de Turbiedad, Tratamiento 4</i>	81
Figura 17 <i>Prueba de normalidad de la información obtenida en la investigación respecto a los parámetros analizados</i>	96
Figura 18 <i>Prueba de normalidad de la información obtenida en la investigación respecto a los parámetros analizados</i>	97
Figura 19 <i>Análisis de Homogeneidad de las Varianzas en los resultados de la investigación a los parámetros analizados</i>	98
Figura 20 <i>Análisis de Homogeneidad de las Varianzas en los resultados de la investigación a los tratamientos aplicados</i>	99

Figura 21	<i>Resultados de la prueba Kruskal-Wallis aplicada a los parámetros analizados.</i>	100
Figura 22	<i>Resultados de la prueba Kruskal-Wallis aplicada a los tratamientos aplicados</i>	101
Figura 23	<i>Prueba de comparación Tukey para parámetros.....</i>	101
Figura 24	<i>Comparación de parámetros con mayor mejora por los tratamientos aplicados</i>	102
Figura 25	<i>Prueba de comparación Tukey para los tratamientos aplicados.....</i>	103
Figura 26	<i>Comportamiento de Tratamientos Aplicados.....</i>	103

Resumen

Esta investigación experimental se llevó a cabo con la finalidad de mejorar la calidad de este lixiviado mediante la aplicación de un método de tratamiento que le permite encontrarse dentro de los límites máximos permisibles. Por ello, el objetivo formulado fue: aplicar un tratamiento por oxidación avanzada para el lixiviado del relleno sanitario El Zapallal de Carabayllo. Para cumplir con este propósito, el procedimiento utilizado se basó en la prueba de jarras así como tratar la muestra con diferentes dosis de H₂O₂ al 25 y 50%, y un catalizador de Fe⁺² de 10 g/l en dos medios: uno en medio alcalino con pH 7.6 y otro en medio ácido con pH 3.5, con el motivo de encontrar la máxima eficiencia en la remoción de la DQO, DBO y Turbiedad. De los resultados obtenidos se concluye que las máximas eficiencias se alcanzaron con H₂O₂ al 50%, a pH 3.5 en medio ácido con porcentajes de remoción máxima del 91.8% para la DQO, 72.4% para la DBO, y 91.6% para la Turbiedad, mientras que en medio alcalino se alcanzaron porcentajes de remoción máxima de DQO, DBO y Turbiedad del 62.4, 54.9 y 71.1% respectivamente.

Palabras claves: Lixiviado, Relleno sanitario, Prueba de jarras.

Abstract

This experimental research was carried out with the aim of improving the quality of this leachate by applying a treatment method that allows it to be within the maximum permissible limits. Therefore, the formulated objective was to apply an advanced oxidation treatment for the leachate from El Zapallal de Carabayllo landfill. To fulfill this purpose, the procedure used was based on the jar test as well as treating the sample with different doses of H₂O₂ at 25 and 50%, and a Fe⁺² catalyst of 10 g/l in two media: one in alkaline medium with pH 7.6 and another in acidic medium with pH 3.5, all of this with the end of finding the maximum efficiency in the removal of COD, BOD and Turbidity. From the results obtained, it is concluded that the maximum efficiencies were achieved with 50% H₂O₂ at pH 3.5 in an acidic medium with maximum removal percentages of 91.8% for COD, 72.4% for BOD, and 91.6% for Turbidity, while in alkaline medium maximum removal percentages of COD, BOD and Turbidity of 62.4, 54.9 and 71.1% respectively were reached.

Keywords: Leachate, Landfill, Jar test.

I. INTRODUCCIÓN

La problemática de gestión de la basura es una problemática que ha incrementado a lo largo de los años en el Perú, y que parece ser cada vez un tema de preocupación para las autoridades ambientales responsables de establecer leyes y responsabilidades de las empresas con estos residuos. Es así como, algunos datos estadísticos demuestran que, de las 21 toneladas de basura producidas en el territorio, 54% son ubicados en rellenos sanitarios (pueden estar o no aclimatados según la normativa ambiental), 45% terminan encontrándose en calles aledañas, cuerpos de agua o zonas públicas, y, únicamente el 1% logra ser recuperado como energía (Sociedad LR, 2021).

En ese sentido, los rellenos sanitarios se estructuran como una de las alternativas más viables para la recuperación de estas zonas y evitar la contaminación de cuerpos de agua aledaños a los puntos de acopio de esta. No obstante, existen diversos problemas que estos deben de afrontar: 1. Recibir una cantidad de residuos mucho mayor a lo que pueden contener, 2. Encontrarse en zonas no adecuadas que pueden incrementar la probabilidad de enfermedades y contaminación a los alrededores, y 3. La basura que llega suele estar mezclada con residuos tóxicos lo cual reduce la duración de la infraestructura e incrementa los costos de mantenimiento (Akino, 2023).

Es por el último problema mencionado, el cual es considerado por autoridades como la Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2023) como uno de los más graves, que la oxidación avanzada termina constituyéndose como una opción sumamente importante para purificar los efluentes contaminados por estos desechos; ya que, esta logra degradar elementos orgánicos que difícilmente podrían ser biodegradados con otras técnicas tradicionales pues suelen ser altamente efectivos con mezclas como pesticidas, productos farmacéuticos, surfactantes, entre otros en cuanto a la eliminación de olores, sabores y color así como la desinfección y reducción de compuestos orgánicos (Ainia, 2013; Andina, 2019).

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Descripción del problema

Desde hace mucho tiempo se sabe que la descomposición de la materia orgánica genera gases o líquidos dependiendo de las condiciones existentes y microorganismos presentes, en este sentido si los volúmenes de materia orgánica son elevados, los fluidos y gases generados serán de la misma forma. Es en este contexto en el cual surgen los botaderos controlados o rellenos sanitarios, que, al contrario de los botaderos informales, permiten la disposición segura de los residuos sólidos confinándolos en la menor superficie posible y reduciendo su volumen al mínimo; además, pueden llegar a albergar cientos de toneladas de residuos sólidos al año (La República, 2022). No obstante, esto no significa que en la ejecución del uso de estos rellenos sanitarios no se presenten problemas o irregularidades que puedan no converger con las normas ambientales.

Por ello, resulta importante estudiar el tratamiento de los lixiviados del relleno sanitario “El Zapallal”; puesto que, este alberga los residuos domésticos y hospitalarios de más de 10 distritos en la provincia de Lima y ya presenta críticas por parte del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental por motivos tales como: atentar contra la salud pública, permitir la propagación de focos infecciosos, no recubrir la basura y dejarla al aire libre por meses, incumplir con los indicadores de calidad de aire y ruido, entre otras (Zevallos, 2023). A esto se le añade el hecho de que los lixiviados generados por los botaderos o rellenos sanitarios contienen diversas sustancias como producto de la descomposición de los residuos sólidos almacenados, los mismos que van desde la presencia de materia orgánica, patógenos, nutrientes hasta elementos como metales pesados, siendo su composición final una mezcla de sustancias orgánicas principalmente e inorgánicas en menor medida (Torres et. al, 2014).

Roque y Mendoza (2003) mencionan que el distrito en el cual se encuentra este relleno sanitario destaca por las siguientes características: 1. pertenece a una zona caracterizada por un

clima árido y semi-árido, 2. sus suelos son categorizados como aluviales, aluvio-coluviales y eólicos, 3. la agricultura es limitada mientras que la avicultura es abundante y 4. tiene una tasa de crecimiento poblacional de 5.15% (mayor al promedio de otros distritos de la misma zona). De igual manera, estos autores mencionan que existen diversas fuentes de contaminación debido a las características mencionadas anteriormente, estas pueden ser divididas en las siguientes categorías: elementos que afectan la calidad del aire (ladrilleras, quema de desechos, segregación de residuos, falta de vías asfaltadas), elementos que afectan la calidad del suelo (vertido de aguas servidas), y elementos que afectan la calidad del agua (presencia de coliformes fecales).

Considerando la información comentada en los párrafos previos y, a fin de contribuir a la mejora de la calidad de las aguas naturales que se encuentran dentro del área de influencia del botadero controlado, y que vienen siendo impactadas por los lixiviados, se ha planteado desarrollar un trabajo de investigación que permita un tratamiento efectivo que asegure su inocuidad para ser vertido a un cuerpo receptor. Como se sabe que el principal componente de los lixiviados es la materia orgánica, se utilizará un agente oxidante que permita su completa transformación en sustancias más simples como dióxido de carbono y agua, el cual será cuantificado a través de los parámetros fisicoquímicos como la DBO y DQO, quienes serán el indicativo por utilizar para poder apreciar la efectividad antes y después del tratamiento. El método por utilizar es considerado altamente efectivo por su elevado poder oxidante y de rápida acción, a diferencia de otros sistemas de tratamiento biológicos que requieren mucho mayor tiempo de actuación para alcanzar cierto grado de eficiencia.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema principal

¿Cómo será el tratamiento de lixiviados por Procesos de Oxidación Avanzada del relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo, 2023?

1.1.2.2 Problemas secundarios

- ¿Cómo será la caracterización de los parámetros fisicoquímicos en el lixiviado del relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo?
- ¿Cuál será la dosis óptima del oxidante que asegure el mejor tratamiento del lixiviado generado por el relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo?
- ¿Cuál es la eficiencia del oxidante que asegure el mejor tratamiento del lixiviado generado por el relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo?

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes nacionales

Baldeón (2020) en su estudio titulado “Oxidación avanzada de aguas residuales del relleno sanitario Naranjito Del Cantón San José De Chimbo, Provincia De Bolívar” decidió plantear como objetivo principal el diseño de un procedimiento de remediación de origen físico-químico de lixiviados en este relleno sanitario, para ello algunos de los objetivos complementarios que se establecieron fueron la caracterización del agua residual, la determinación de las condiciones físicos-químicas y la aplicación de procedimientos de oxidación química avanzada. Es así que para la metodología se estableció que esta fuera de carácter exploratorio y experimental en la cual se aplicarían tres diseños de tratamiento: 1. Coagulación policloruro de aluminio y dosis constante de polímero, 2. Coagulación de Cloruro Férrico y dosis constante de polímero poliacrilamida y 3. Oxidación avanzada, carbón activado y dosis de peróxido de hidrógeno. En ese sentido los hallazgos principales fueron los siguientes: en relación al policloruro de aluminio el tratamiento la solución al 15% demostró la mayor remoción de turbidez con 95,38%, en relación al cloruro férrico la solución al 15% demostró la mayor remoción de turbidez con un 97%, con relación a los sólidos suspendidos el aluminio logró una remoción de 56,75% mientras que el hierro removió 89,06%. Es así como el autor concluye que para la remoción de turbidez se obtuvo con el policloruro de aluminio al 15%

mientras que la remoción de sólidos disueltos óptima se alcanzó con el peróxido de hidrógeno al 50%.

He et al. (2019) en su investigación denominada “Municipal solid waste (MSW) landfill: A source of microplastics? -Evidence of microplastics in landfill leachate” tuvieron como objetivo identificar la presencia de microplásticos en los rellenos sanitarios. Para ello se tomaron muestras de lixiviados de seis vertederos municipales de residuos sólidos de las ciudades de Shanghai, Wuxi, Suzhou y Changzhou en China. El método aplicado para extraer e identificar los microplásticos en los lixiviados fue una modificación de los métodos de laboratorio de la Administración nacional oceánica y atmosférica. Por esta razón, la muestra fue filtrada a través de una pila de tamices de acero inoxidable con mallas descendentes de 150, 75, 45 y 25 mm, para luego enjuagar los sólidos en un vaso de precipitados de 500 ml con agua destilada. Después se realizó la oxidación húmeda con peróxido para eliminar los materiales orgánicos naturales, se añadieron al vaso de precipitados 40 ml de solución de Fe (II) 0,05 M y 40 ml de peróxido de hidrógeno al 30% para ser filtrada mediante un filtro de membrana de 0,45 mm. Para concluir con este proceso se llevó a cabo una separación de doble densidad para eliminar el material inorgánico y el material orgánico natural restante. Los resultados principales fueron los siguientes: se converge con otros estudios con relación a la presencia de microplásticos mayor al promedio en los lixiviados de los rellenos sanitarios, con el aumento de la concentración de microplásticos esto afecta la biodisponibilidad en las muestras y hace falta llevar una mayor cantidad de estudios para encontrar la manera más eficiente de reducir la presencia de estos en los lixiviados.

Chen et al. (2021) en su estudio “Landfill leachate treatment by persulphate related advanced oxidation technologies” se planteó como objetivo principal llevar a cabo una revisión de procesos de oxidación con persulfato para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios, esto con el fin de poder resumir el rendimiento y el mecanismo de cada una de estas técnicas.

Las conclusiones fueron las siguientes: (1) existe un vacío en tanto a la aplicación de procesos de oxidación con persulfato en no radicales pertenecientes a los lixiviados; pues son menos afectadas por las sustancias coexistentes, (2) el sistema acoplado de oxidación con persulfato y la electrocoagulación tiene algunos problemas (costo, vida útil, requerimiento de concentración de electrolitos, etc.), (3) el DQO, NH_4 , $+\text{-N}$ y otros metales pesados en los vertederos pueden ser erradicados de manera eficiente por la oxidación con persulfato y la activación UV, (4) la luz visible es más atrayente durante la fotocatalisis lo cual logra la eliminación exitosa de colorantes orgánicos, antibióticos, bisfenol A y otros contaminantes por separado, y (5) en el tratamiento de los lixiviados de los vertederos se debe tener en cuenta los posibles efectos tóxicos de los subproductos, lo cual es clave para futuros estudios.

Asaithambi et al. (2019) llevaron a cabo una investigación denominada “Removal of color, COD and determination of power consumption from landfill leachate wastewater using an electrochemical advanced oxidation processes”, la cual estableció como objetivo principal encontrar que tratamiento (proceso UV, electro-Fenton y foto-electro-Fenton) lograría reducir de manera más efectiva el % de color, la DQO y el consumo de energía de las aguas lixiviadas de los vertederos. Para ello, se tomó como muestra las aguas residuales de los lixiviados de los vertederos se recogieron de sólidos de vertederos municipales vertedero en Selangor, Malasia. Estas aguas fueron transferidas a botellas de muestra de plástico limpias, sus características fueron pH de 8,6 a 8,8; DQO de 4850 a 5150 ppm; DBO de 2650 a 2950 ppm, color marrón brillante, FAU de 280 a 310, STS de 145 a 160 ppm y temperatura de 27 a 31 °C. Con relación a los hallazgos principales, estos fueron los siguientes: el proceso de foto UV logró una reducción de color de 20% y de DQO al 13% aproximadamente, el proceso de electro-Fenton tuvo una reducción de color de 85% y de DQO al 70% aproximadamente, finalmente, el proceso de foto-electro-Fenton logró una eficiencia de eliminación de color al 100% y de DQO al 97% con un consumo de energía de 3,10 kWh/m³. Por lo cual, se concluyó que el proceso de foto-

electro-Fenton resulta ser el más eficiente y efectivo para la remoción de contaminantes de las aguas residuales.

Mahtab et al. (2021), llevaron a cabo un estudio sobre “Optimization of the process variables for landfill leachate Treatment using Fenton based advanced oxidation technique” con la finalidad de evaluar la factibilidad del proceso Fenton para el tratamiento de lixiviados y explorar el efecto en el pH, el tiempo de reacción y la dosis de los productos químicos que se utilizaron en los mismos. Las muestras que se emplearon fueron lixiviados del vertedero de Ghazipur en la India, estas fueron tres, las cuales fueron enviadas a un laboratorio para ser categorizadas (pH, nitrógeno total, DQO, TDS y DBO5) y enfriadas. Luego, se realizó una prueba de jarra para la experimentación, cabe resaltar que esta fue llevada a cabo a temperatura y presión ambiente; por lo cual, primero se hizo una mezcla rápida de dos a tres minutos, seguido de una mezcla lenta, para la reacción adecuada. Asimismo, se permitió que los reactivos reaccionaran por la cantidad de tiempo que se requería para el diseño, después de lo cual una cantidad apropiada de NaOH 0,1 N se añadió a la mezcla de reacción para extinguir los radicales hidroxilos restantes. Los resultados principales fueron los siguientes: las condiciones óptimas para la remoción de DQO del 61% se obtuvieron a pH 3.1, dosis de H₂O₂ de 0.075 mol L⁻¹, dosis de Fe²⁺ de 0.04 mol L⁻¹ y tiempo de reacción de 36 min, cabe resaltar que la dosis de Fe²⁺ aumentó la respuesta hasta cierto punto, la dosis de H₂O₂ incrementó el porcentaje de remoción y el tiempo de aplicación tuvo un papel dominante cuando se permitió que la reacción prosiguiera durante períodos más cortos.

Ateş y Argun (2021) en su estudio “Advanced oxidation of landfill leachate: Removal of micropollutants and identification of by-products”, tuvieron como finalidad los microcontaminantes emergentes de los lixiviados de un relleno sanitario. Por ello, se empleó el lixiviado del vertedero de la ciudad de Konya en Turquía para poder llevar a cabo el estudio experimental. Los principales resultados fueron los siguientes: la remoción del DQO varió entre

el 30% al 77%, la relación de DBO5/DQO del lixiviado incrementó de 0,01 a 0,17 por el proceso de oxidación Fenton, el color se eliminó por casi el 95% en casi todas las condiciones experimentales, las relaciones entre el color y el DQO fueron significativas, las variables de tiempo afectaron de manera significativa la eficiencia de eliminación del DQO, y la biodegradabilidad aumentó entre 8 a 17 veces por ambos procesos de oxidación. En conclusión, se encontró que los procesos Fenton y de ozonización pueden lograr mayores eficiencias de eliminación que los procesos de tratamiento consecutivos en un solo paso de tratamiento.

En su artículo científico Méndez et al. (2010), desarrollaron un estudio sobre “Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton”, donde muestran los resultados de aplicar el proceso Fenton a los lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Mérida, donde aplican un tratamiento a la carga contaminante con una combinación de H₂O₂ y FeSO₄ en condiciones ácidas. En el proceso se calcula el tiempo óptimo de reacción, los valores óptimos de pH y dosis de reactivo Fenton, así como también las dosis ideales para el postratamiento de coagulación y floculación. Los resultados finales mostraron que las condiciones y dosis óptimas en este proceso de oxidación fueron: para un tiempo de contacto de 20 minutos, un pH=4, y los valores de las concentraciones de H₂O₂=600 mg/l y Fe⁺²=1,000 mg/l. Se concluye que se logró alcanzar una remoción promedio de materia orgánica, medida como DQO, de 78%, y medida como COT, del 87%.

1.2.2 Antecedentes internacionales

Ticona (2023) en su artículo de investigación denominado “Tratamiento de los lixiviados de residuos sólidos en las celdas de Huanuyo mediante oxidación avanzada foto-fenton” decidieron tener como objetivo principal el contribuir con una propuesta de tratamiento de lixiviados que cumpla con características de efectividad y optimización por las características de la zona en la cual se decidió realizar el estudio, algunos de los objetivos secundarios fueron determinar la eficiencia de esta técnica, determinar las características físico-

químicas de los lixiviados y evaluar cuales eran las condiciones óptimas (relación fenton, pH y tiempo del tratamiento). Es así como los hallazgos principales fueron los siguientes. En primer lugar, con relación a la caracterización fisicoquímica de los lixiviados se obtuvieron datos tales como parámetros de campo (pH – 6.8, temperatura – 20.6 °C, conductividad eléctrica 29000 μ S/cm y oxígeno disuelto – 0.21 mg/L) y parámetros fisicoquímicos (DBO – 51.40 mg/L, DQO – 61.300 mg/L, nitrógeno amoniacal – 2220.81 mg/L, ST – 84413 mg/L, alcalinidad mg/L y turbiedad – 105 mg/L). En segundo lugar, el índice de biodegradabilidad del lixiviado crudo fue de 0.084. Finalmente, en relación a las condiciones óptimas del proceso de oxidación avanzada mostraron una remoción máxima de 83.29% y una remoción mínima de 64.04 %, siendo estas una dosis de 15 ml/L de H₂O₂ y 2000 mg/L de Fe²⁺, un pH de 4 y tiempo de contacto UV de 30 minutos.

Santiago (2023) en su trabajo de investigación titulado “Remoción de nitrógeno total por oxidación avanzada en lixiviados del relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo, 2022” decidió establecer como objetivo principal de su estudio establecer una y verificar la efectividad de una técnica basada en el uso combinado del Proceso de Oxidación Avanzada con el Jar Test para remover las concentraciones de Nitrógeno Total. Es así como se decidió optar por una metodología aplicada y experimental con un procedimiento dividido en las siguientes secciones: la caracterización de los parámetros, la preparación del oxidantes (H₂O₂ al 15, 25, 35 y 50% y el catalizador de FeSO₄ de 5 g/l), el desarrollo de los experimentos (cuatro en medio alcalino con un pH de 8.1 y cuatro en medio ácido con un pH de 3.5), la obtención de las eficiencias y el análisis de datos. Es así como este autor concluye lo siguiente: para los experimentos en medio alcalino (considerando todas las concentraciones) la remoción no fue significativa encontrándose entre 0.18 y 26.6% mientras que para los experimentos en medio ácido la remoción fue significativa siendo la mínima de 72.9% y la mayor de 84.1%.

Tito y Ore (2020) en su artículo de investigación denominado “Degradación de la carga orgánica de lixiviado maduro mediante proceso de oxidación avanzada H₂O₂/UV/TiO₂ en reactor anular, Junín – Perú” tuvieron como objetivo determinar la degradación de la carga orgánica del lixiviado del relleno sanitario de la Municipalidad Provincial de Concepción. La metodología fue experimental con un diseño de compuesto central, para poder evaluar la degradación de la carga orgánica y la simulación CFD se decidió construir un reactor experimental, así como emplear la técnica de tratamiento térmico para la inmovilización. Es así como los resultados principales fueron los siguientes. En primer lugar, con relación a la determinación de los parámetros fisicoquímicos del lixiviado se obtuvieron datos tales como oxígeno disuelto de 5.60 mg/L, índice de permanganato de 2666.67 mg/L y pH 7.6. En segundo lugar, para la modelación y optimización de este proceso se dieron cuatro etapas: se determinó el porcentaje de degradación de materia orgánica (mínimo de 83.96% y máximo de 94.60%), se estableció el modelo de regresión y análisis de varianza (que logró coincidir con los resultados que se observaron), el análisis gráfico del modelo y la simulación de la distribución de flujo y radiación incidente. Finalmente se encontró que la dosis óptima para lograr una degradación de 95.92% se logró con los datos de concentraciones de H₂O₂ de 2600 mg/L, pH de 3.3 y tiempo de 20 minutos. Es así como los autores concluyen que el tratamiento de oxidación avanzada resulta eficiente para el propósito de la investigación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Aplicar un método por procesos de oxidación avanzada para el tratamiento de lixiviados generado por el relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo, 2023.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos en el lixiviado del relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo.

- Determinar la dosis óptima del reactivo oxidante que asegure el mejor tratamiento del lixiviado generado por el botadero controlado relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo.
- Determinar la eficiencia del reactivo oxidante que asegure el mejor tratamiento del lixiviado generado por el relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo, 2023.

1.4 Justificación

Los botaderos controlados o rellenos sanitarios al pasar por un proceso de descomposición generan lixiviados con un elevado grado de toxicidad, los mismos que pueden afectar a los diferentes ecosistemas terrestres, en ese sentido el presente estudio plantea el uso de un método combinado de un oxidante más un precipitante químico que aseguren 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 uso de la técnica a utilizar permitirá asegurar una degradación completa de los compuestos más recalcitrantes que están presentes en los lixiviados, transformándolos en compuestos más sencillos como agua y dióxido de carbono, inofensivos para el medio ambiente. Los reactivos químicos utilizados serán de mínima cantidad, ya que se desarrollará una prueba de jarras a fin de alcanzar su nivel óptimo en el tratamiento y no generar gastos excesivos, asimismo, la presente investigación pretende obtener un efluente que cumpla con los Límites Máximos Permisibles para vertimientos de acuerdo a la norma ecuatoriana para descargas a cuerpos receptores, asegurando de esta manera el cumplimiento normativo-ambiental.

1.4.1 Hipótesis General

La aplicación del método por procesos de oxidación avanzada permitirá tratar eficientemente el lixiviado del relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo, 2023.

1.4.2 Hipótesis Específica

- Los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los límites máximos permisibles en el lixiviados del relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo.
- El reactivo oxidante presenta una dosis óptima de acuerdo a su concentración en el tratamiento del lixiviado generado por el relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo.
- El reactivo oxidante actúa con una elevada eficiencia en el tratamiento del lixiviado generado por el relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo, 2023.

II.MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1 *Lixiviados*

El lixiviado es un producto de estado líquido que surge cuando la humedad se incorpora en los residuos sólidos de los vertederos; además, esta humedad puede surgir ya sea por el propio líquido de los desechos antes de ubicarlos en el vertedero, al extraer los mismos y ser expuestos a la precipitación, o mediante la entrada del agua subterránea (Farquhar, 1988). De igual manera, este producto suele estar caracterizado por poseer una carga orgánica alta, compuestos orgánicos solubles y constituyentes inorgánicos, y, su composición depende necesariamente de la cantidad de humedad y nivel de compactación que posea (Chávez, 2011).

Según Orozco (2018), la degradación de los desechos residuales producidos por los lixiviados es sometidos a dos etapas biológicas: aeróbica y anaeróbica. En la primera faceta, el lixiviado se conforma principalmente por la humedad producida durante la etapa de compactación y construcción de las casillas de los rellenos sanitarios; por lo cual, se encuentra conformada por partículas, sales disueltas y especies orgánicas en un nivel mínimo. En la segunda faceta, destaca la fermentación ácida, lo que ocasiona que se obtenga un lixiviado con pH bajo y gran concentración de ácidos volátiles e iones inorgánicos.

2.1.2 *Características y Composición del Lixiviado*

La composición del lixiviado depende del lugar, esto se debe principalmente a las diferencias de los siguientes elementos: a) configuración, particularidades y clase de residuos que se pueden encontrar en estos rellenos sanitarios, b) la medida de la precipitación así como la proporción de humedad en la zona, c) los cambios climáticos así como la hidrología de la zona en la cual el relleno se encuentra ubicado, d) la compactación de residuos y la interacción estos con el ambiente, e) las diligencia de descomposición química, f) la edad del relleno y las singularidades del material de cobertura, g) las cualidades del cerramiento final del relleno y

el mantenimiento a largo plazo del relleno sanitario. Es por todo lo mencionado anteriormente que, antes de determinar qué sistema de tratamiento se pretenderá usar en estos rellenos sanitarios, se debe llevar a cabo un análisis al respecto de todos los elementos comentados previamente; ya que, esto permite identificar que operaciones podrán ser consideradas en la categoría de adecuadas y cuales en la de inadecuadas.

Los lixiviados tienen como característica general un olor poco agradable que muchas veces es considerado como agresivo así como un color que puede ser café-pardo-grisáceo en un estado fresco mientras que en un estado ajado será de color negro. Además, estos compuestos pueden exhibir una composición química variable, ello como consecuencia del traslado de una alta carga orgánica de elementos tales como materiales disueltos, en suspensión, en estado fijo o volátil. Siguiendo esta línea, estos compuestos también se caracterizan por tener unas concentraciones altas de amoníaco-nitrógeno ($\text{NH}_3\text{-N}$), como sulfuro, bario, borato, arseniato, litio, cobalto y mercurio; es así por lo que, al permitir que estos elementos se mantengan en las cantidades en las cuales se presentan; es decir, sin llevar a cabo un tratamiento previo, puede conllevar a la contaminación y daño permanente de las aguas superficiales y/o subterráneas así como de los acuíferos.

Es por todo lo comentado en los párrafos anteriores que se establece la necesidad en cuanto a la búsqueda e instalación de sistemas de recolección y tratamiento de lixiviados que se acomoden tanto a las características de la zona en la cual se encuentra el relleno sanitario que será tomado como parte de este sistema, cumplan con la finalidad de reducir todo aquel impacto ambiental que puede ser derivado de este, y, adherirse a la normativa legal ambiental vigente en lo que la descarga en aguas naturales respecta (Orozco, 2018). Los lixiviados presentan una gran cantidad de contaminantes los cuales son clasificados en 4 categorías principales: materia orgánica disuelta, compuestos inorgánicos, metales pesados y sustancias orgánicas xenobióticas:

2.1.2.1 Materia Orgánica (MOD)

Es la combinación heterogénea de macromoléculas que suele ser producida por la desintegración del material biológico proveniente de animales, plantas y microorganismos, sus componentes agrupan restos vegetales y animales, así como los productos de su putrefacción, sustancias húmicas del proceso de síntesis y muchos otros organismos vivos (Porta et al., 2010). Además, es señalada como uno de los indicadores más importantes dentro del campo de la calidad del suelo, ello debido a las consecuencias que puede tener por sus cualidades físicas, químicas y biológicas en este (Aguilar, 2019).

Asimismo, es importante mencionar que la acumulación de materia orgánica disuelta en los efluentes se logra mediante la medición directa del carbono orgánico total (COT) así como de la medición indirecta la aptitud de reducción del carbono que ya se encuentra en estas con la DQO y DBO. Siguiendo esta línea, la proporción de DBO / DQO es considerada como relevante; ya que, esta es categorizada como aquella que cumple con los estándares en relación a la representación de la edad de lixiviados de vertederos porque, ello pues, esta proporción se encuentra naturalmente relacionada con la biodegradabilidad (Orozco, 2018).

2.1.2.2 Compuestos Inorgánicos

Este término se les brinda a aquellos compuestos que se caracterizan por las siguientes particularidades: no exhibir un enlace carbono-hidrógeno, usualmente ser compuestos minerales, y, mayormente incluyen un metal. Además, los compuestos inorgánicos principales que se encuentran en los lixiviados son los que se presentarán a continuación: las sales inorgánicas como los carbonatos (ej. azurita, calcita, etc), sulfatos (ej. sulfato de cobre, sulfato de aluminio, etc.), nitratos (ej. nitrato de sodio, nitrato de amonio, etc.), cloruros (ej. cloruro sódico, cloruro cálcico, etc.) y fosfatos (ej. monacita, piromorfita, etc.) (Orozco, 2018).

2.1.2.3 Metales pesados

Los metales pesados, como ya se conoce ampliamente, son todos aquellos elementos cuyo peso es cinco veces mayor que la del agua, suelen ser extraídos de yacimientos mineros y usualmente son considerados tóxicos, teniendo así consecuencias fatales para todos los seres vivos y el medio ambiente. Siguiendo esta línea, se pueden encontrar diluidos o en mayor concentración por medio de la formación de coloides liofilicos o liofóbicos, y, los metales que habitualmente se exhiben en los lixiviados son: Pb, Ni, Cr, Ag, Cd, Ba y Hg, Zn, Cu, Es así como el monitoreo de los metales pesados en lixiviados se ha establecido por las autoridades y se realiza constantemente por los operadores de vertederos. Además, es importante relevante señalar que estos compuestos no poseen la característica de biodegradabilidad; por lo cual, suelen conglomerarse en los seres vivos lo que finalmente tiene consecuencias perjudiciales; puesto que, como se mencionó previamente, muchos de estos compuestos son tóxicos o cancerígenos (Orozco, 2018).

2.1.2.4 Sustancias orgánicas xenobióticas

Este término hace referencia a compuestos químicos que, si bien pueden interactuar con un organismo, no logran originarse de manera original en este; por lo cual, su principal característica es ser sintéticos (creados en un laboratorio), cuya posibilidad de ser perjudicial se encuentra íntimamente ligada a la concentración de estos y muestran una resistencia total a la biodegradación. Es así como algunos de estos son los solventes, PCBs, plásticos, detergentes, explosivos, plaguicidas, gases de los frigoríficos, de los aerosoles, entre otros (Orozco, 2018).

2.1.2.5 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es un factor importante que se debe considerar en la composición de un lixiviado; ello se debe a que, este se encuentra naturalmente relacionado a los niveles de concentración de los ácidos que se exhiben en estos, así como de la presión parcial del CO₂ en el gas del vertedero. En ese sentido, los hallazgos con relación al pH pueden determinar si es que los

lixiviados exhiben encontrarse posterior a la etapa metanogénica, lo cual resulta relevante debido a que permita identificar a elementos tales como la edad del relleno, la precipitación y la clase de residuos como los elementos primordiales que influyen en la composición del lixiviado. Siguiendo esta línea, diversos investigadores han llegado al consenso de que, la geomembrana en el suelo del relleno sanitario puede influenciar en los valores del pH detectados; por ejemplo, al no existir una el lixiviado estaría en contacto directo con el suelo del relleno sanitario.

En general, se considera que la edad del relleno sanitario también es un elemento determinante en relación al pH; ya que, al ser este joven sus lixiviados suelen tener una acidez mayor lo cual refleja valores de pH ácidos (3,7) mientras que durante la operación estos valores pueden llegar a ser alcalinos (8,5). Siguiendo esta línea, la cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas suele mantenerse de manera relativamente estable de acuerdo al elemento de la edad; es decir, cuando un lixiviado es joven las concentraciones suelen ser bajas. De igual manera, Orozco (2018) señala que, aunque el relleno sanitario sea clausurado, la edad de este seguiría siendo una variable de suma importancia; puesto que, esta puede determinar la carga contaminante o composición química, lo cual, permite evaluar qué tipo de tratamiento se empleará.

2.1.3 *Relleno Sanitario*

Este término hace referencia a una técnica/método que se creó con la finalidad de brindar una disposición final a desechos sólidos al compactarlos al menor tamaño posible para así poder controlar las consecuencias del manejo de estos y reducir la probabilidad de consecuencias adversas de salud, daño y contaminación al medio ambiente. Ahora, este proceso suele darse de la siguiente manera: en un primer momento se trata de confinar la basura en áreas ceñidas, luego se le cubre con tierra (arena u otros materiales) que normalmente presenta un espesor de 40 cm para finalmente compactarla de tal manera que ocupen el menor volumen

que se pueda lograr mediante este proceso, cabe resaltar que estas operaciones se repiten hasta que el relleno sanitario este en el límite de su capacidad.

De acuerdo a Arbeláez y García (2010) el relleno sanitario debe contener los siguientes elementos: una depresión en el terreno protegido por una membrana inferior, un sistema de recolección de líquidos lixiviados así como uno de recolección de gases y, en algunos casos, de un sistema de cubierta superior. Estos autores señalan que la membrana inferior usualmente se encuentra creada por polietileno de alta densidad, generalmente fortalecida con arcilla, esta composición se realiza debido a que las probabilidades de que la membrana pueda ser alterada o dañada por el proceso de descomposición de los residuos es sumamente alta. De igual manera, mencionan que el sistema de recolección de líquidos debe estar compuesto por caños que se encontraran en el fondo del relleno y trasladaran los líquidos a la planta de tratamiento mientras que en relación a la confinación de los residuos se utilizarán chimeneas para expulsar las emisiones originadas por la gran cantidad de reacciones de tipo químico, físico y biológico.

2.1.4 Selección de Tratamientos de Lixiviados

Debido al hecho de que los lixiviados suelen trasladarse fuera del relleno sanitario (debido a condiciones tales como el diseño de este último), lo cual, como se ha mencionado a lo largo de esta sección, termina siendo perjudicial para el medio ambiente por la alta posibilidad de contaminación de aguas superficiales y subterráneas así como del medio ambiente en general, se ha creado la necesidad de recolectar, categorizar y brindar tratamiento a los lixiviados para que estos no se constituyan como una amenaza latente.

En ese sentido, el tratamiento de los lixiviados se basa en llevar a cabo procedimientos que tienen como objetivo principal remover la mayor cantidad de contaminantes posibles previo a la disposición de estos en un cuerpo receptor. Es por ello por lo que acciones tales como indagar sobre características tales como la concentración y nivel contaminante de los lixiviados, la composición y especificaciones de estos, así como de las características del lugar

y la disponibilidad de recursos (físicos como tecnología y humanos como personal capacitado) resultan importantes para llevar a cabo la selección, el diseño, el dimensionamiento y el aprovechamiento adecuado de un sistema de tratamiento de los lixiviados (Orozco, 2018).

Es así como algunos de los procedimientos de tratamiento más empleados y conocidos en el medio son los que serán descritos a continuación:

- La recirculación de lixiviados
- Evaporación de lixiviados
- Tratamiento biológico aeróbico
- Tratamiento biológico anaeróbico
- Precipitación química
- Oxidación química
- Adsorción con carbón activado
- Sistemas naturales como lagunas y humedales artificiales

2.1.5 Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios mediante Procesos de Oxidación Avanzada

Los procesos de oxidación avanzada son considerados como los más eficientes en la degradación de compuestos refractarios que poseen los lixiviados estabilizados. En ese sentido, en el tratamiento de lixiviados estos componentes orgánicos son transfigurados por la acción del radical hidroxilo en CO₂ y H₂O o son transformados en compuestos menos peligrosos de fácil eliminación al emplear tratamientos biológicos. Los tratamientos de lixiviados de vertedero por Oxidación avanzando vienen dados principalmente bajo los procesos Fenton y foto-Fenton (Primo, 2008).

2.1.6 *Procesos de Oxidación Avanzada*

Los procesos de oxidación avanzada [POA] son procesos fisicoquímicos capaces de modificar la estructura química de los contaminantes, este proceso consiste en generar variedades cuya característica es ser fuertemente oxidantes para que estos puedan iniciar este procedimiento, un ejemplo de estas variedades son los radicales hidroxilos (OH). Siguiendo esta línea, diversos investigadores han llegado al consenso de que la producción del OH ha sido aquel proceso con mayor éxito para optimizar los POAs. Algunas de las razones por las cuales esto ha sucedido es por las siguientes características: ser no selectivo lo que le permite una reacción rápida ante un gran volumen de compuestos orgánicos, capacidad de absorción de hidrogeno y generación de radicales orgánicos libres (R.), y, la alta probabilidad que tienen para producir la completa mineralización del contaminante (Mayorca, 2016).

Los procesos de oxidación avanzada son procesos fisicoquímicos capaces de modificar la estructura química de los contaminantes. Estos procesos de Oxidación avanzada implican el uso y producción de especies transitorias, fundamentalmente el radical hidroxilo (HO), el cual se produce por medios fotoquímicos o por otras formas de energía, produciendo gran eficiencia para la oxidación de materia orgánica. Algunos Procesos de Oxidación Avanzada POAs, como es el caso de la fotocatalisis heterogénea, radiolisis u otras técnicas avanzadas, acogen a reductores químicos que tienen como fin transformar los contaminantes tóxicos vulnerables a la oxidación, como son los iones metálicos o compuestos halogenados. Es así como los POAs son procesos fisicoquímicos que desarrollan especies sumamente oxidantes. Por otro lado, existen también otras especies oxidantes reactivas EOR, como el O_2^- / H_2O^* o el H_2O_2 , que también se generan en estos procesos y contribuyen a la eliminación de contaminantes.

Según el proceso fisicoquímico utilizado para la generación de estas especies oxidantes, los POA pueden clasificarse en procesos no fotoquímicos o fotoquímicos (De la Cruz, 2013). Sin embargo, algo que se mantiene permanentemente es el hecho de que los procesos de

oxidación avanzada, sea cual sea su clasificación, logran la destrucción de una gran variedad y cantidad de compuestos caracterizados por ser tóxicos y peligrosos pese a encontrarse en bajas concentraciones. Es así como Mayorca (2016) señala que los principales efectos de esta técnica son los siguientes:

- Oxidación de contaminantes orgánicos,
- Reducción de la toxicidad,
- 19 reducción de la dco,
- Reducción de la dco5, y
- Eliminación de color y olor.

Tabla 1

Procesos de Oxidación Avanzada

Procesos fotoquímicos		
Procesos no fotoquímicos	Tipo de proceso	Rango de longitudes de onda de radiación (nm)
Ozonización en medio alcalino (O ₃ /HO)	Fotólisis del agua con ultravioleta de vacío (UVV)	<190
Ozonización con peróxido de hidrógeno (O ₃ /H ₂ O ₂)	UV/ peróxido de hidrógeno (UV/ H ₂ O ₂)	<280
Fenton y procesos relacionados (Fe ²⁺ / H ₂ O ₂)	UV/ozono (UV/ O ₃)	280-315
Oxidación electroquímica	Foto-Fenton y procesos relacionados	UV – Visible hasta 450
Radiolisis y tratamiento con haces de electrones	Hierro cero-valente y UV	UV

Procesos fotoquímicos		
Procesos no fotoquímicos	Tipo de proceso	Rango de longitudes de onda de radiación (nm)
Plasma no térmico	Fotocatálisis heterogénea con TiO ₂	UV hasta 380-400
Ultrasonido, electrohidráulica	descarga	
Oxidación con aire húmedo		
Oxidación con agua sub/ y supercrítica		
Hierro cero-valencia		
Ferrato		

Nota. Tomado de *Procesos de Oxidación Avanzada*, por De la Cruz, 2013, https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/308120/NDLCO_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

2.1.7 Eliminación de Contaminantes por Procesos de Oxidación Avanzada

Los contaminantes una vez que están en el medio pueden sufrir diversos procesos:

- El compuesto se puede mineralizar a dióxido de carbono y agua
- El compuesto no se degrada por su carácter lipofílico y se queda parcialmente retenido en los lodos de sedimentación

Las existencias de estos compuestos en las aguas ocasionan problemas ya que no son biodegradables y en muchos casos producen toxicidad en los organismos vivos.

Tabla 2*Procesos de Oxidación Avanzada y su eficiencia*

Proceso	Eficiencia	Estado de desarrollo
H ₂ O ₂	baja	---
H ₂ O ₂ / hv	alta	Producción
H ₂ O ₂ / catalizador	alta	Producción
H ₂ O ₂ / catalizador/ hv	alta	Piloto
O ₃	media	Producción
O ₃ / pH	media	Producción
O ₃ / hv	media	Piloto
H ₂ O ₂ / O ₃	alta	Piloto
H ₂ O ₂ / O ₃ / hv	alta	Piloto
TiO ₂ / hv	baja-media	Piloto
VUV fotólisis	media	Investigación/ Piloto

Nota. Tomado de *Procesos de Oxidación Avanzada y su eficiencia*, por De la Cruz, 2013,

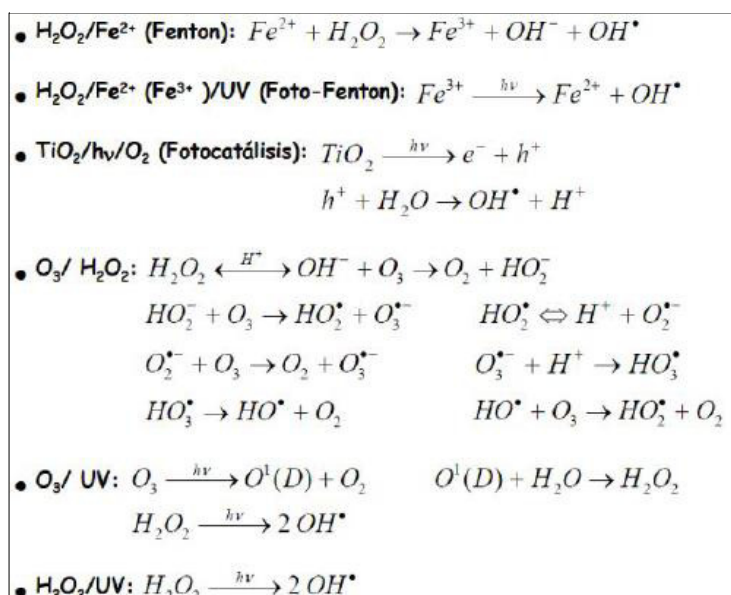
https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/308120/NDLCG_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

2.1.8 Reacciones de Oxidación Avanzada

Los procesos de Oxidación Avanzada se emplean mucho por su gran eficiencia para eliminar y reducir diferentes componentes químicos peligrosos a límites permisibles, que a su vez no formen otros subproductos nocivos que necesiten más tratamientos.

Figura 1

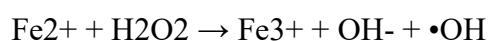
Reacción de Oxidación Avanzada



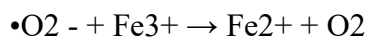
Nota. Tomado de *Reacción de Oxidación Avanzada*, por Farfán, 2017, https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/9928/Farf%C3%A1n_AAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

2.1.9 Reacción Fenton

El proceso de oxidación Fenton consiste en el degradamiento del Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) con la participación de un catalizador como el Hierro (II). Luego este reacciona para así poder llevar a cabo la formación de los radicales hidroxilos. De igual manera, resulta importante que este procedimiento se ha destacado al ser empleado últimamente gracias a sus diversas aplicaciones en aguas residuales. A continuación se presenta esta primera reacción:



La reacción Fenton puede darse en sistemas homogéneos con hierro ferroso disuelto o en sistemas heterogéneos con la presencia de hierro complejo tal como goetita (FeOOH). El subproducto, hierro férrico, a su vez termina brindando una reacción con peróxido o superóxido radical (O₂⁻) para así poder originar el hierro ferroso como se observa en la siguiente reacción.



Las tres reacciones mostradas anteriormente, hacen que el Fe pase de estado de oxidación ferrosa y férrica hasta que el H₂O₂ se consuma completamente, lo cual termina originando OH durante este procedimiento. 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 de Fenton se destaca por la generación de radicales hidroxilos en medio ácido (3 - 3,5 de ph), con temperatura y presión ambiente y utilizando peróxido de hidrógeno, catalizado por Fe⁺². Esto se puede resumir en la reacción:



El proceso Fenton necesita fundamentalmente del pH en la solución, es así como, se considera que el valor óptimo para este procedimiento es de 3 a 3,5 independientemente del sustrato. Este procedimiento ha permitido garantizar la eficiencia del tratamiento de lixiviados; puesto que, se le ha determinado como un proceso óptimo en lo que respecta a la degradación de gran cantidad de compuestos como alifáticos y aromáticos clorados, policloruro de vinilos (PCB), nitroaromáticos, clorobenceno, fenoles, fenoles clorados, octacloro-pdioxina y formaldehído.

Para realizar la adición de reactivos se debe ajustar el pH de la muestra a tratar a un nivel ácido o básico, por lo cual, el reactivo neutralizador debe ser incorporado de manera paulatina ello como el motivo de evitar cambios en la temperatura interna y así poder acertar con una dosis óptima. Luego de esperar el tiempo de reacción determinado, y verificar el

alcanzar una degradación óptima, esta muestra será trasladada 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 (Lapeyre y Pequeño, 2016).

2.1.10 Dosificación de Fenton

La dosis del reactivo peróxido de hidrógeno influye de manera innegable en la efectividad del procedimiento, mientras que la concentración de hierro afecta a la cinética. Es importante mencionar que tanto elementos tales como la efectividad como la velocidad de la reacción se aumenta con el volumen de los reactivos. No obstante, la abundancia de hierro pueda generar una reducción de la efectividad debido a la activación de reacciones secundarias no deseadas, como el caso de la formación de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ que puede precipitar, mientras que en exceso de peróxido de hidrógeno daría lugar a la degradación de este por los radicales hidroxilos (Lapeyre y Pequeño, 2016).

2.1.11 Factores que afectan el Proceso Fenton

2.1.11.1 Producción de lodos: es considerado como el principal inconveniente; puesto que, este proceso hace referencia a la creación de un precipitado coloidal de color rojizo que debe ser separado de la mezcla líquida, ello debido a que este sedimento debe ser tratado como residuo sólido.

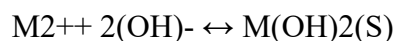
2.1.11.2. Control de pH: cualquier sistema que se trabaje con peróxido y haya presencia de metales, se debe trabajar con pH de 9 – 10, con el fin de evitar la liberación de gases.

2.1.11.3. Consumo de reactivo: el consumo de H_2O_2 puede ser muy elevado para grandes caudales de aguas residuales; no obstante, esta situación se puede optimizar empleando un catalizador de Hierro para acelerar la reacción.

2.1.12 Precipitación Química

Es un procedimiento que se basa en añadir agentes coagulantes y floculantes tales como cal, alúmina, cloruros, etc., que tengan la característica de incrementar las probabilidades de eliminación de metales pesados y sólidos en suspensión primordialmente (Arbeláez y García, 2010). El término precipitación es empleado para describir procedimientos tales como como la formación de sales insolubles, o la transformación química de un ión en otro con mayor o menor estado de oxidación que genere la formación de un compuesto insoluble.

De igual manera, este procedimiento es usualmente utilizado para el tratamiento 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. Además, es importante señalar que el precipitado metálico de la solución es un hidróxido como se muestra en la siguiente 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 (Apaza, 2015).

2.1.13 Relleno Sanitario “El Zapallal”

El relleno sanitario “El Zapallal”, está ubicado a la altura del kilómetro 34 de la Panamericana Norte del distrito de Carabayllo en la provincia de Lima, entre los cerros Campana y Cabrera; colindando con el río Chillón: además, sus coordenadas son $11^{\circ}49'22.0''S$ $77^{\circ}03'34.8''O$ (Alcores S.A.C, s.f.).

De acuerdo al OEFA (2023) este relleno sanitario se encuentra bajo la gestión de la empresa Innova Ambiental S.A.C., tiene una extensión de 440 ha y se encuentra bajo seguimiento del OEFA desde noviembre de 2022 por las cuatro multas que presenta la empresa encargada de la administración de este relleno sanitario.

Figura 2

Ubicación del relleno sanitario “El Zapallal”



Nota. Tomado de *Ubicación del relleno sanitario “El Zapallal”*, por Alcores S.A.C, s.f.

<https://alcoressac.com.pe/servicios-d.html>

De acuerdo a Zuloaga (2017), en la entrada del relleno sanitario se aprecian diversas formas de sectores que contribuyen a la segregación informal de residuos; ya que, algunos camiones descargan los residuos en estas locaciones antes de ingresar a la zonificación del relleno. De igual manera, esta autora señala que existe una gran falta de vegetación; pudiendo esta ser apreciada únicamente en la entrada y cerca a las oficinas administrativas, se permite que los camiones puedan descargar residuos peligrosos en la zona de residuos domésticos, además, el relleno sanitario está rodeado por viviendas y se realizan actividades como quema de llantas; pese a que esto puede poner en riesgo la salud de los habitantes.

Figura 3

Entrada al relleno sanitario “El Zapallal”



Nota. Tomado de *Municipalidad de Lima adoptó medida tras constatar que el tratamiento de los residuos sólidos se realiza negligentemente*, por Perú21, 2023. <https://peru21.pe/lima/cierran-relleno-sanitario-el-zapallal-por-30-dias-contaminacion-relleno-sanitario-residuos-solidos-municipalidad-de-lima-oeфа-noticia/>

Asimismo, la OEFA (2023) también menciona cómo en este relleno se reciben alrededor de 4000 toneladas de residuos sólidos (municipales) y 1000 toneladas de residuos peligrosos (centros de salud) diarios. Los distritos que hacen uso de este relleno son Los Olivos, Carabaylo, Puente Piedra, La Molina, La Victoria, Lince, Santa Anita, Breña, San Miguel, San Luis, Surquillo, Comas, Puente Piedra, El Rímac, Santa Rosa de Quives, San Martín de Porres y Lima Metropolitana, de estos; de acuerdo al MINAM, la mayoría son distritos con un nivel de recolección de residuos sólidos municipales de entre 50% y 100% y tienen la presencia de puntos de acumulación de residuos sólidos municipales en espacios públicos (puntos críticos de 1m³). Según Marelli (2020), en el año 2019, se estimó que este relleno sanitario recibió 752,813 toneladas de residuos sólidos municipales.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Definición de Términos

2.2.1.1. Residuos Sólidos: son aquellas sustancias que se caracterizan por estar compuestos por material orgánico con volumen sólido de 10 a 40% y pueden categorizarse; de acuerdo a su origen, en: desechos domésticos y/o municipales, desechos industriales y desechos hospitalarios (Segura et al., 2020).

2.2.1.2. Relleno Sanitario: son un tipo de método para disponer de manera final a los desechos sólidos municipales que consta de una zonificación estructurada bajo los requisitos sanitarios y ambientales; de acuerdo a la normativa peruana, es el único método empleado por su capacidad de no ser riesgosa para la salud, reducir el impacto ambiental y minimizar la contaminación (Jaramillo, 2002).

2.2.1.3. Lixiviados: líquidos que se generan por la liberación del exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación de agua pluvial a través de los estratos de residuos sólidos que se encuentran en las fases de composición (Lapeyre y Pequeño, 2019).

2.2.1.4. Contaminación: hace referencia a la distribución de un agente o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo); además, también es considerada como la alteración perjudicial de condiciones naturales (salud, higiene, bienestar) en cuerpos receptores (Palacios y Moreno, 2022).

2.2.1.5. Eficiencia: se refiere a la disposición de conseguir lo deseado con el mínimo de recursos; es decir, hacer uso de algo para conseguir lo que queremos (Real Academia Española, s.f., definición 2).

2.2.1.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO: es un parámetro que permite indicar la cantidad de contaminantes que pueden ser biodegradados; es decir, manifiesta la cantidad de oxígeno que necesitarán los organismos para consumir la materia orgánica presente en el agua (Aquanova, 2020).

2.2.1.7. Demanda Química de Oxígeno DQO: es un parámetro que permite manifestar la cantidad de elementos contaminantes producidos en el agua y que pueden atravesar por el proceso de oxidación; es decir, mide todo contaminante aunque puede ser sensible ante algunos compuestos orgánicos (Aquanova, 2020).

2.2.1.8. Reacción Fenton: Se conoce como Fenton a la reacción realizada con peróxido de hidrógeno, y sal de hierro (II) (Román y Martínez, 2017).

2.2.1.9. Peróxido de Hidrogeno (H₂O₂): compuesto químico con características de un líquido altamente polar, asociado con el hidrógeno, se presenta como un líquido viscoso. Es conocido por ser un poderoso oxidante (Delgado y Santander, 2017).

2.2.1.10. Tratamiento: Métodos, técnicas o procesos diseñados para la remoción de sólidos y/o contaminantes de efluentes o emisiones (MINAM, 2010).

2.3 Marco Legal Ambiental

- *La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales.* En esta sección de la Constitución Política del Perú de 1993 se menciona cómo todo aquel nacido en el territorio peruano tiene derecho a disfrutar de un ambiente puro, equilibrado y apropiado para poder así desarrollarse personal y socialmente. De igual manera, en esta se establece cómo el Estado debe promover la sostenibilidad de los recursos naturales renovables y no renovables (Constitución Política del Perú, 1993).
- *Decreto Legislativo N°635, Código Penal del año 1991; Título XIII sobre delitos ambientales.* En este se hace mención sobre las penas privativas de libertad a las personas que descarguen, comercialicen o viertan desechos industriales o domésticos en zonas no autorizadas, con mayor sanción si el causante es funcionario o servidor público (Decreto Legislativo N°635, 1991).

- *Ley General de Salud N° 26842, del año 1997.* Establece la responsabilidad que tiene el Gobierno del Perú con el medio ambiente, así como las medidas que deben de ser dispuestas para la distribución de sustancias tóxicas y reducir daños posibles al medio ambiente, animales y seres humanos. Asimismo, compromete a los organismos públicos y personas jurídicas a no llevar a cabo descargas de sustancias contaminantes en la superficie terrestre, acuática y en la atmósfera (Ley N° 26842, 1997).
- *La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611,* Conforme al artículo N°1. Señala principalmente como todo peruano tiene el derecho de vivir en un ambiente equilibrado y saludable para poder desarrollarse en las mejores condiciones posibles, así como también los deberes y responsabilidades que cada ciudadano como autoridad tiene para con el medio ambiente y sus recursos (Ley N° 28611, 2005).

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 (Ley N° 28611, 2005).

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 N° 28611, 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 (Ley N° 28611, 2005).

- *Ley 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 (Ley N° 27314, 2000).

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 que pongan en riesgo la salud de las personas (Ley N° 27314, 2000).

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 (Ley N° 27314, 2000).

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 en los sectores económicos y actividades vinculadas con su generación (Ley N° 27314, 2000).

- *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 (- Decreto Supremo N° 057-2004-PCM, 2004)
- *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 (Decreto Supremo N° 057-04, 2004).

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 (Decreto Supremo N° 057-04, 2004).

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 (Decreto Supremo N° 057-04, 2004).

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación de acuerdo con el objetivo y enfoque planteado es de tipo aplicada, debido a que se pretende generar nuevos conocimientos de manera que ayuden en la resolución de problemas. El diseño metodológico desde un enfoque cuantitativo es experimental, y debido a su grado de manipulación bajo un ambiente controlado de las variables se clasificó dentro de los experimentales puros; puesto que, se manipuló intencionalmente la variable independiente “Procesos de oxidación avanzada” las veces que sea necesario, con la finalidad de observar cambios en el comportamiento de la variable dependiente “Tratamiento de lixiviado”.

3.2 Ámbito temporal y espacial

3.2.1 *Ámbito temporal*

Como toda investigación de tipo aplicada con un diseño experimental tuvo un tiempo de desarrollo, el cual se inició en mayo del 2023 con la definición del tema y búsqueda de información bibliográfica comprendida entre los años 2016 al 2021. La fase experimental o desarrollo de los ensayos se realizó entre agosto y setiembre del año 2023; y este fue concluido con el informe final para octubre del 2023.

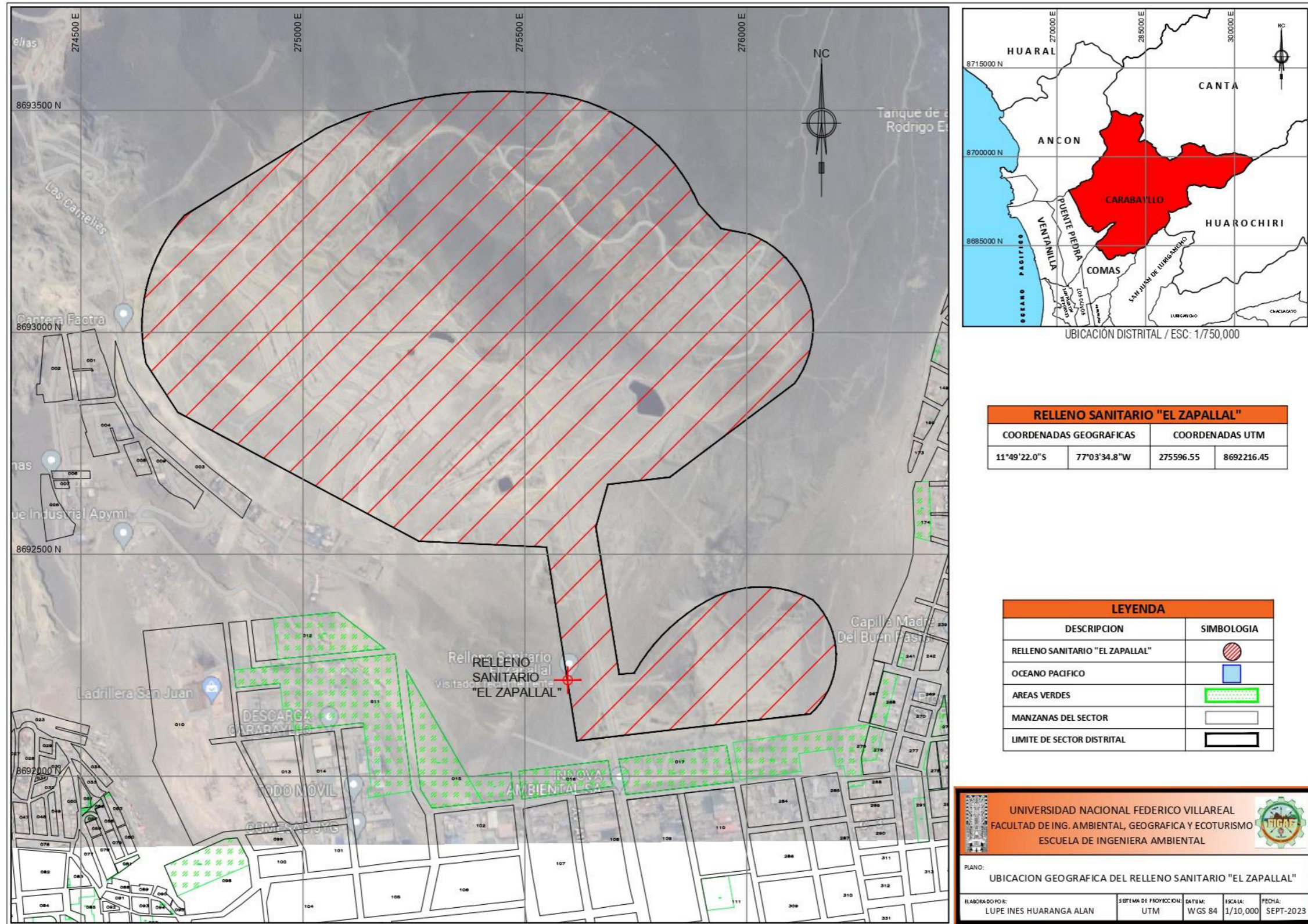
3.2.2 *Ámbito espacial*

El desarrollo de la presente investigación se trabajó en dos espacios geográficos, el primero corresponde al lugar donde se tomó la muestra del lixiviado, el cual fue el relleno sanitario “El Zapallal” en el distrito de Carabayllo, el cual se encuentra ubicado a la altura del kilómetro 34 de la Panamericana Norte y cuyas coordenadas son $11^{\circ}49'22.0''S$ $77^{\circ}03'34.8''W$. Por su parte, el segundo ambiente corresponde al lugar donde se realizaron los ensayos de laboratorio, esto debido a que las particularidades del tipo y diseño considerado, que corresponden a un tipo de investigación pura, siendo el ambiente de trabajo en este caso el

laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica,
Ambiental y Ecoturismo de la UNFV.

Figura 4

Ubicación Geográfica del Relleno Sanitario "El Zapallal"



Las muestras de lixiviado fueron tomadas en campo y posteriormente trabajadas en un floculador programable, en el laboratorio bajo un ambiente manejado y controlado por el investigador. La ubicación geográfica del lugar de estudio corresponde al Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Ecoturismo-UNFV, el cual presenta las coordenadas siguientes UTM: 277097 E y 8 667 468 N.

3.3 Variables

3.3.1 *Variable Independiente*

- Procesos de Oxidación Avanzada.

3.3.2 *Variable Dependiente*

- Tratamiento de Lixiviado.

Tabla 3

Operacionalización de variables de investigación

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<p>Variable Independiente</p> <p>Proceso de Oxidación Avanzada.</p>	<p>La Oxidación Avanzada son procesos fisicoquímicos capaces de modificar la estructura química de los contaminantes, este proceso consiste en generar especies fuertemente oxidantes como los radicales (OH.) que actúan como iniciadores de oxidación. (Mayorca, 2017)</p>	<p>La oxidación avanzada se evaluará de acuerdo a un proceso de tratamiento de lixiviados reduciendo la concentración de agentes contaminantes presentes, en el cual se emplea una sustancia oxidante (H₂O₂) y una sal (FeSO₄) para lograr un eficiente tratamiento, esto está en función a la dosificación, tiempo, velocidad de reacción.</p>	<p>PARÁMETROS DE CONTROL</p>	<p>Concentración (mg/l)</p> <p>Dosis (ml)</p> <p>Tiempo (min)</p> <p>Velocidad de Agitación (rpm)</p> <p>Volumen (L)</p>
<p>Variable Dependiente</p> <p>Tratamiento de Lixiviado</p>	<p>El tratamiento de los lixiviados consiste en realizar operaciones o procesos para lograr remover la mayoría de los contaminantes antes de su disposición en un cuerpo receptor. Para esto es indispensable saber el volumen y poder contaminante de los lixiviados, su composición y características. (Orozco, 2018)</p>	<p>Los lixiviados serán evaluados en función de sus parámetros fisicoquímicos quienes presentan una gran cantidad de contaminantes los cuales son clasificados en 4 categorías principales: materia orgánica disuelta, compuestos inorgánicos, metales pesados y sustancias orgánicas xenobióticas.</p>	<p>PARÁMETROS FISICOQUIMICOS</p>	<p>DQO (mg/l)</p> <p>DBO (mg/l)</p> <p>pH</p> <p>NT (mg/l)</p> <p>PT (mg/l)</p> <p>SST (mg/l)</p> <p>CE (uS/cm)</p> <p>AyG (mg/l) Eficiencia (%)</p>

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

En nuestro estudio se trabajó con muestras de lixiviado, las cuales fueron tomadas del relleno sanitario “El Zapallal”, quien recibe un promedio de 4000 TN diarias de residuos sólidos, de las cuales se tomó un volumen determinado para la investigación, para luego ser trabajadas en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la UNFV. La población de estudio corresponde a un volumen total aproximado de 2500-3000 m³/mes de lixiviado, del cual se tomaron para los ensayos experimentales de laboratorio 15 litros, donde se incluyeron dos repeticiones.

3.4.2 Muestra

La muestra inicialmente fue tomada en campo para luego ser trasladada al laboratorio, para el caso de nuestro trabajo de investigación y por tratarse de un trabajo experimental puro, fue de 15 litros. De acuerdo al procedimiento planteado para el estudio, éste se desarrolló en el floculador programable, considerando para el tratamiento un volumen de 250 ml por muestra, donde cada corrida fue de 1.25 litros, el cual incluyó dos repeticiones, haciendo un total de 3.75 litros por tratamiento. Para los ensayos fueron considerados 4 tratamientos, haciendo un volumen total de 15 litros.

3.5 Instrumentos

3.5.1 Técnicas

- Manual de bioseguridad de laboratorio.
- Métodos estandarizados de análisis de aguas.
- Protocolo de monitoreo de efluentes.

3.5.2 Instrumentos

- Fichas de recolección de datos.
- Ficha de observación.

- Fichas textuales, resúmenes de informes, otros.

3.5.3 Fuentes

- Informes, trabajos anteriores, estadísticas, etc.
- El propio investigador se encargó de realizar los ensayos de laboratorio.

3.6 Procedimientos

El procedimiento para el desarrollo de la presente investigación se consideraron cuatro etapas secuenciales: Toma de muestras en campo, corridas experimentales con el floculador programable, determinación de Parámetros Fisicoquímicos (pH, Conductividad Eléctrica, DQO, DBO, Turbiedad y Sólidos Suspendidos), y Análisis final de datos.

3.6.1 Toma de muestras

La toma de muestra del lixiviado fue tomada en campo, por lo cual se realizó un viaje hacia el distrito de Carabayllo, ubicado en la provincia de Lima, para luego dirigirnos al relleno sanitario “El Zapallal”, las muestras fueron recolectadas en 4 bidones de 20 litros de capacidad cada uno. Para las mediciones de los parámetros de campo del lixiviado, estos fueron tomados en un recipiente de 2 litros de capacidad y se medirá la Temperatura, pH y Conductividad Eléctrica. El procedimiento de la toma de muestra se desarrolló tomando en cuenta el protocolo de monitoreo para efluentes del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, RM N° 273-2013-VIVIENDA.

3.6.2 Corridas Experimentales

En el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente (LAGEMA) de la FIGAE, se realizó el acondicionamiento de las muestras, donde se inició con la preparación del oxidante a partir de Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) al 25 y 50% y Sulfato Ferroso ($FeSO_4$) al 1%, bajo un ambiente controlado por el investigador. El proceso comenzó con la preparación del oxidante químico a partir de H_2O_2 al 25 y 50% de concentración, y del catalizador de $FeSO_4$ al 1%, los cuales sirvieron como patrón o estándar de referencia para la preparación de las dosis que

fueron utilizadas en cada una de las jarras a ensayar. Las dosis que se utilizaron de reactivos para los ensayos de oxidación fueron de 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 ml., y una dosis única de catalizador de 5 ml.

Las pruebas para el tratamiento por procesos de oxidación Fenton, fueron desarrolladas mediante una prueba de jarras o Jar Test, donde se acondicionaron 5 jarras conteniendo las muestras de lixiviado con sus concentraciones iniciales, cuyos parámetros para efecto de análisis fueron la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Turbiedad (Tb), y un volumen de 250 ml por cada jarra.

Las pruebas se realizaron en el floculador programable, donde se consideró trabajar con una revolución rápida de 200 rpm, por un tiempo programado de 20 minutos hasta que se alcanzó una homogenización completa del oxidante, para posteriormente pasar a la etapa de precipitación y dar un tiempo de sedimentación de 30 minutos en todos los casos, y finalmente, proceder a la toma de muestra del sobrenadante.

Las pruebas en general pasaron por dos etapas, la primera de oxidación, donde cada jarra conteniendo las muestras tuvo una dosis estándar del reactivo catalizador de FeSO_4 (1.0 %) de 5 ml, y dos concentraciones para el tratamiento con el oxidante de H_2O_2 (25 y 50%). Los ensayos fueron llevados a cabo en cinco jarras de 2 litros de capacidad pero solo se consideró para el tratamiento 0.250 litros, y se hicieron adicionalmente dos repeticiones para cada corrida experimental haciendo un subtotal de 3.75 litros por las tres corridas, y considerando los 4 ensayos se obtuvo un total de 15 litros.

3.6.3 Determinación de Parámetros Fisicoquímicos

Una vez terminado el tiempo de sedimentación de cada ensayo proyectado en 30 minutos, se procedió a tomar un volumen de la muestra sobrenadante. La determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se realizó por el método colorimétrico, donde

previamente las muestras fueron llevadas a un digestor para luego después de haber desarrollado el color indicador poder ser cuantificadas en el colorímetro.

Para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), se tomó una alícuota de muestra y fue llevada a dilución con un caldo de cultivo para ser dejado posteriormente en la incubadora por un periodo de 5 días, donde culminado dicho tiempo se midió el oxígeno disuelto final y se cuantificó la DBO de la muestra.

La determinación y cuantificación de Turbiedad (Tb), se realizó mediante el método Nefelométrico, con el uso de estándares para la calibración del Turbidímetro de 0.1, 20, 200, 400 y 2000 NTU; y las mediciones finales de cada una de las muestras en sus celdas correspondientes.

3.6.4 *Análisis Final*

La etapa final del procedimiento consistió en evaluar los resultados finales obtenidos de los parámetros en estudio, los cuales fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles de la norma ecuatoriana para descargas de efluentes. Se evaluó el tratamiento en general, se procedió a analizar cuáles fueron las dosis óptimas en cada uno de los ensayos en relación a cada una de las concentraciones iniciales y finales de los parámetros en estudio. Así mismo, se evaluaron las eficiencias obtenidas de acuerdo a las dosis del oxidante y precipitante químico aplicado en cada una de las muestras, y con ello finalmente se procedió a elaborar las tablas y gráficas respectivas a fin de observar el comportamiento de cada dosis óptima registrada y sus respectivas eficiencias. Con los resultados finales obtenidos y analizados cuantitativamente se procedió a discutir de acuerdo con otras investigaciones, para finalmente llevar a cabo las conclusiones para nuestro trabajo de investigación y proceder a recomendar según sea el caso.

3.7 Análisis de datos

En el análisis de datos cuantitativos se tomó en cuenta los niveles de medición de las variables y se aplicó la estadística que permitió describir las características principales de las variables dependientes e independientes, tomadas individualmente. Se llevó a cabo un análisis y descripción cada una de las variables para lo cual se utilizó el programa Ms. Excel 2010; además se empleó para presentar la estadística descriptiva tablas y gráficas de datos y para presentar la distribución de los datos se realizó empleando gráficas lineales, todo esto con el propósito de conocer cuáles fueron las dosis más óptimas y determinar las eficiencias en la oxidación y precipitación química en el tratamiento del lixiviado, y contrastar nuestra hipótesis de investigación.

IV. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización del lixiviado antes de iniciar el tratamiento por Procesos de Oxidación Avanzada mediante el uso de un oxidante con Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) y un catalizador de Fe^{+2} , así como los resultados de las dosis óptimas y las eficiencias alcanzadas para cada uno de los tratamientos realizados.

4.1 Caracterización del Lixiviado:

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización de los parámetros físicoquímicos iniciales del lixiviado en estudio:

Tabla 4

Caracterización del Lixiviado

MUESTRA	T (°C)	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	PT (mg/l)	NT (mg/l)
M-1	22.6	7.6	862	4896	106	114

MUESTRA	SST (mg/l)	C.E (mS/cm)	A y G (mg/l)	Tb (NTU)
M-1	321	9.85	32.3	1790

En la cual:

- T: Temperatura
- pH: Potencial de Hidrógenos
- DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno
- DQO: Demanda Química de Oxígeno
- SST: Solidos Suspendidos Totales

- CE: Conductividad Eléctrica.
- PT: Fosforo Total
- NT: Nitrógeno Total
- Tb: Turbiedad

Reactivos utilizados:

- Concentración del primer oxidante de H₂O₂: 50 %
- Concentración del segundo oxidante de H₂O₂: 25%.
- Concentración del catalizador de Fe⁺²: 10 g/l
- Dosis del catalizador Fe⁺²: 5 ml.

4.2 Determinación de la dosis óptima en el tratamiento de lixiviado

A continuación, se muestran los resultados de las concentraciones finales luego de adicionar las dosis consideradas en el tratamiento del lixiviado, los cuales fueron trabajados en medio ácido y alcalino, únicamente para los parámetros de DQO, DBO y Turbiedad.

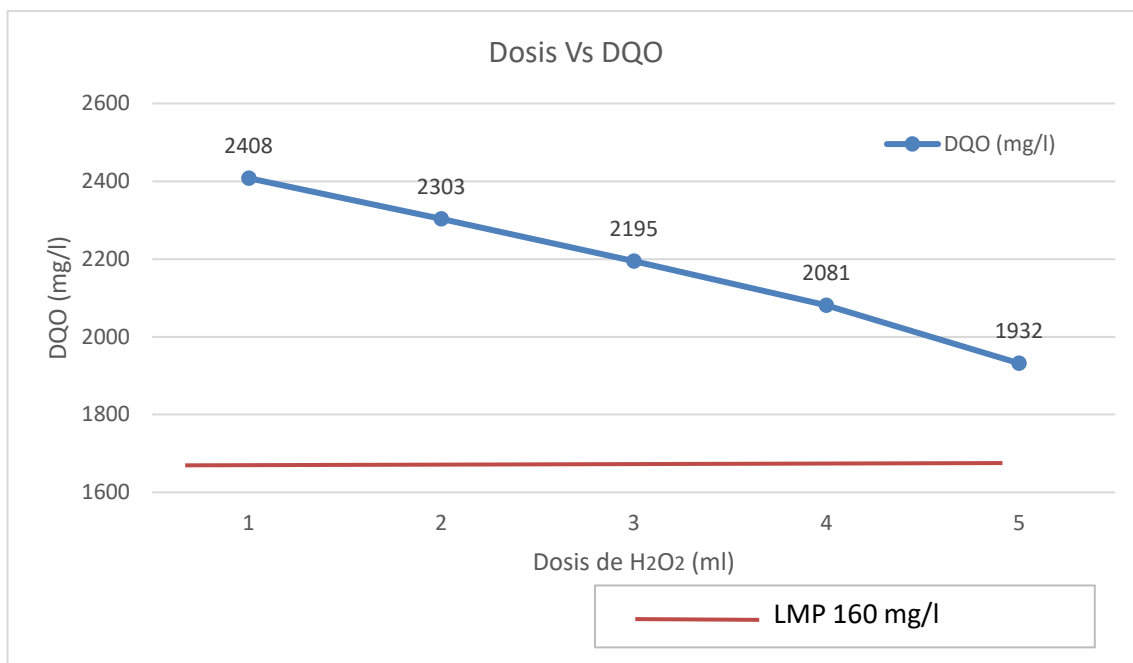
4.2.1 Primer ensayo

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del primer ensayo, el cual fue trabajado inicialmente con su pH original de campo, en condiciones alcalinas, para luego adicionar las dosis respectivas de H₂O₂ (25%) y Fe⁺² (10 g/l). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen de muestra: 250 ml
- Temperatura: 22.6° C
- Tiempo de contacto: 20 min
- pH inicial: 7.6
- Dosis Fe⁺²: 5 ml

Tabla 5*Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Tratamiento 1*

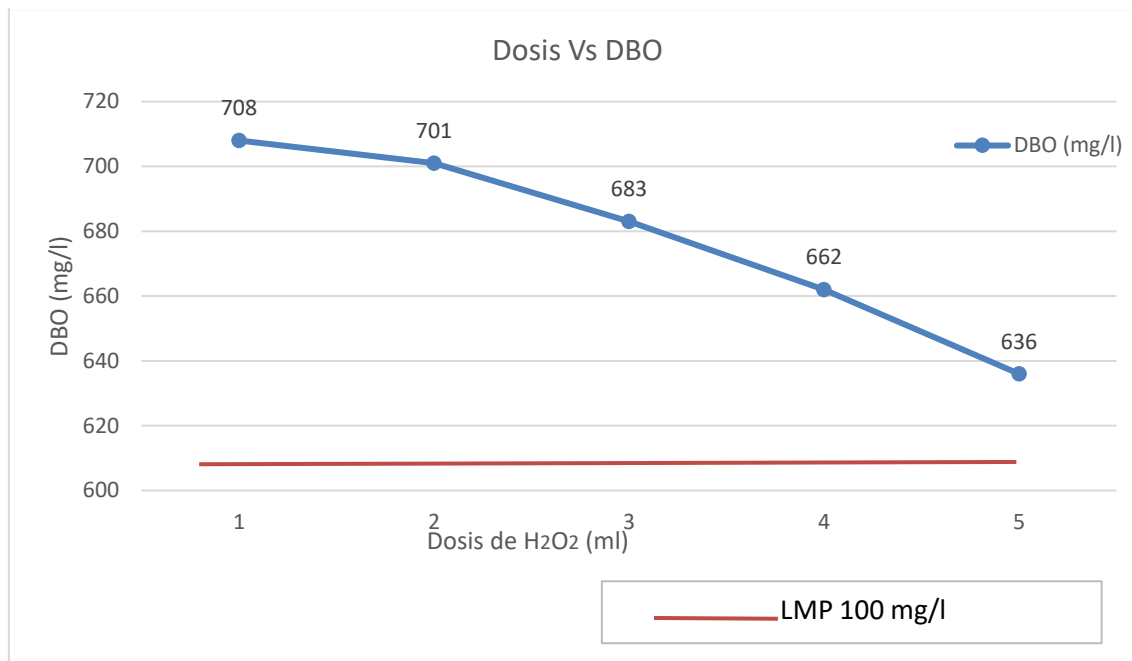
MUESTRA	TRATAMIENTO 1				
Concentración	4896				
Inicial (mg/l)					
Dosis H ₂ O ₂ al	1	2	3	4	5
25% (ml)					
pH Final	7.0	6.6	6.2	6.1	6.0
Concentración					
Final (mg/l)	2410	2305	2197	2086	1933
REPETICIONES					
1	2405	2308	2195	2079	1935
2	2409	2296	2193	2078	1928
PROMEDIO	2408	2303	2195	2081	1932

Figura 5*Dosis Vs Concentración de DQO, Tratamiento 1*

En la **Figura 4**, se aprecia que la concentración inicial de DQO (4896 mg/l), evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (1, 2, 3, 4 y 5 ml). El nivel más bajo obtenido fue de 1932 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el primer ensayo corresponde a la dosis de 5 ml, sin embargo, no se logra cumplir con el Límite Máximo Permissible de acuerdo con la normativa de descargas Líquidas a cuerpos de Agua o al Sistema de Alcantarillado Sanitario Ecuatoriana, que indica un valor de 160 mg/l. Los demás resultados finales con las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, tampoco logran alcanzar los límites establecidos en la norma

Tabla 6*Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Tratamiento 1*

MUESTRA	TRATAMIENTO 1				
Concentración	862				
Inicial (mg/l)					
Dosis H ₂ O ₂ al					
25% (ml)	1	2	3	4	5
pH Final	7.0	6.6	6.2	6.1	6.0
Concentración					
Final (mg/l)	705	702	677	659	635
REPETICIONES					
1	708	698	685	657	638
2	711	703	687	670	635
PROMEDIO	708	701	683	662	636

Figura 6*Dosis Vs Concentración de DBO, Tratamiento 1*

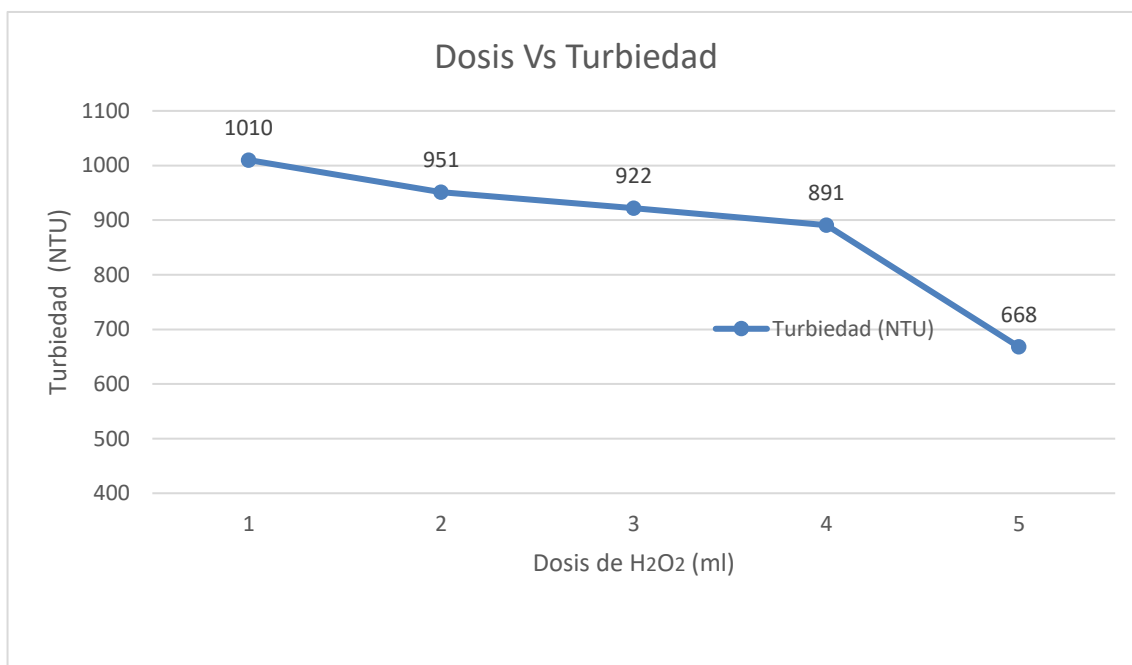
En la **Figura 5**, se aprecia que la concentración de DBO inicial (862 mg/l) muestra una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (1, 2, 3, 4 y 5 ml). El nivel más bajo que alcanzó fue de 636 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo obtenido en el primer ensayo corresponde a la dosis de 5 ml, sin embargo, no se logra cumplir con el Límite Máximo Permisible de acuerdo a la normativa de descargas Líquidas a cuerpos de Agua o Al Sistema de Alcantarillado Sanitario Ecuatoriana, que indica un valor de 100 mg/l. Los demás resultados finales con las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, tampoco logran alcanzar los límites establecidos en la norma.

Tabla 7*Resultados de Turbiedad (Tb), Tratamiento 1*

MUESTRA	TRATAMIENTO 1				
Concentración	1790				
Inicial (mg/l)					
Dosis H ₂ O ₂ al					
25% (ml)	1	2	3	4	5
pH Final	7.0	6.6	6.2	6.1	6.0
Concentración					
Final (NTU)	1012	950	919	892	673
REPETICIONES					
1	1015	956	922	893	668
2	1003	947	925	888	663
PROMEDIO	1010	951	922	891	668

Figura 7

Dosis Vs Nivel de Turbiedad, Tratamiento 1



En la **Figura 6**, se aprecia que la concentración inicial de la Turbiedad (1790 NTU), alcanza una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (1, 2, 3, 4 y 5 ml). El valor más bajo de Turbiedad fue de 668 NTU, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el primer ensayo corresponde a la dosis de 5 ml. Los demás resultados obtenidos con las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, sus niveles resultan ser menores al de 5 ml.

4.2.2 Segundo ensayo

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del segundo ensayo, el cual fue trabajado inicialmente con su pH original de campo, en condiciones alcalinas, para luego adicionar las dosis respectivas de H₂O₂ (50%) y Fe⁺² (10 g/l). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen de muestra: 250 ml

- Temperatura: 22.6°C
- Tiempo de contacto: 20 min
- pH inicial: 7.6
- Dosis Fe⁺²: 5 ml

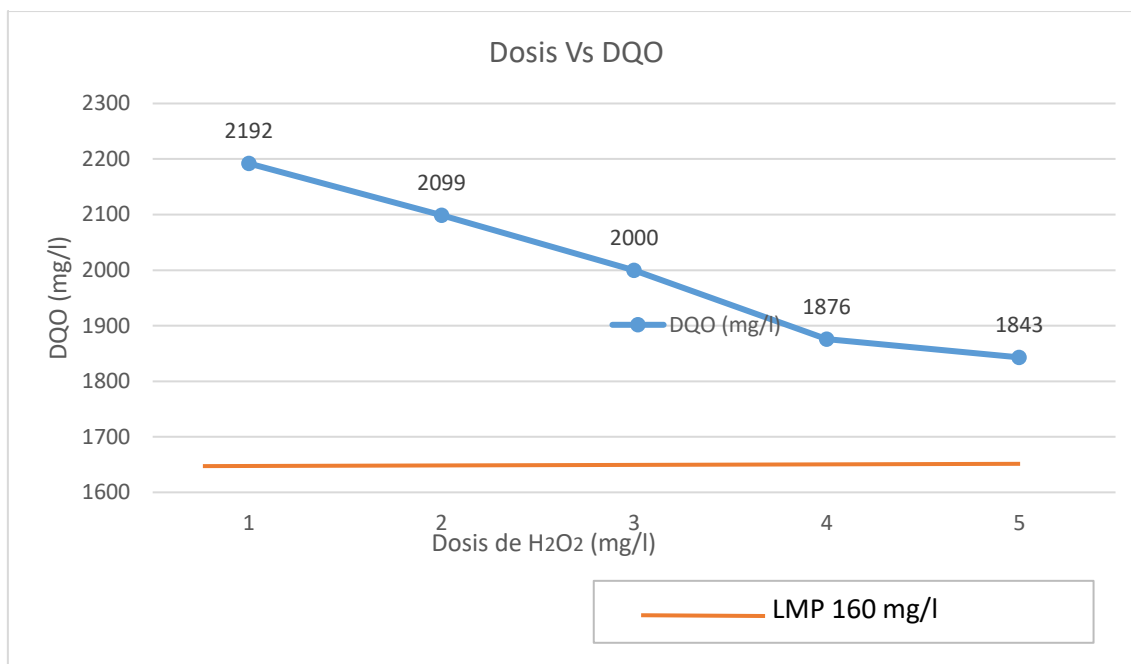
Tabla 8

Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Tratamiento 2

MUESTRA	TRATAMIENTO 2				
Concentración	4896				
Inicial (mg/l)					
Dosis H ₂ O ₂ al					
50% (ml)	1	2	3	4	5
pH Final	7.0	6.5	6.2	6.0	5.7
Concentración					
Final (mg/l)	2192	2097	2000	1879	1845
REPETICIONES					
1	2194	2098	2002	1875	1843
2	2190	2102	1998	1874	1841
PROMEDIO	2192	2099	2000	1876	1843

Figura 8

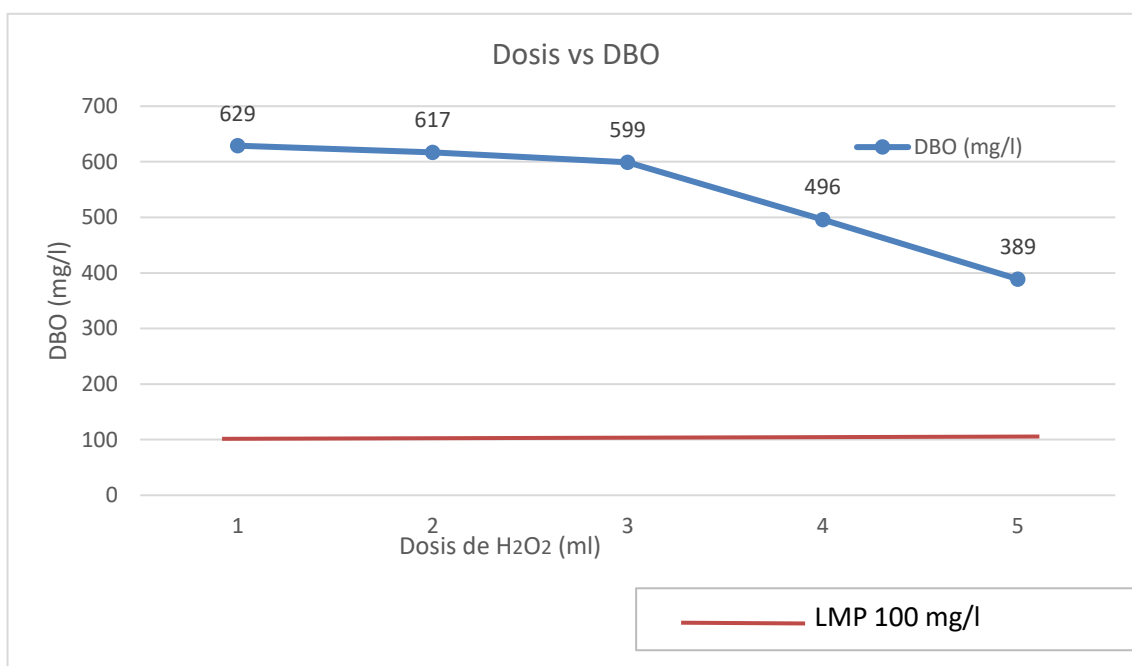
Dosis Vs Concentración de DQO, Tratamiento



En la **Figura 7**, se aprecia que la concentración de DQO inicial (4896 mg/l), evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (1, 2, 3, 4 y 5 ml). El nivel más bajo que alcanzó fue de 1843 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo obtenido en el segundo ensayo corresponde a la dosis de 5 ml, sin embargo, no se logra cumplir con el Límite Máximo Permissible de acuerdo con la normativa de descargas Líquidas a cuerpos de Agua o Al Sistema de Alcantarillado Sanitario Ecuatoriana, que indica un valor de 160 mg/l. Los demás resultados finales con las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, tampoco logran alcanzar los límites establecidos en la norma.

Tabla 9*Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Tratamiento 2*

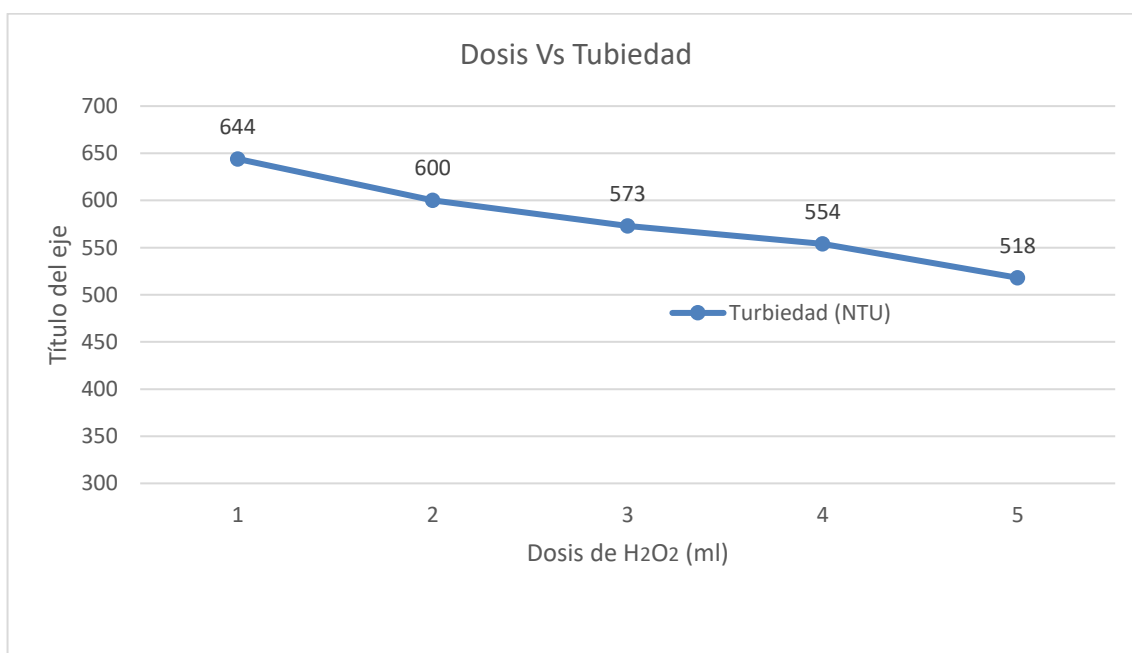
MUESTRA	TRATAMIENTO 2				
Concentración	862				
Inicial (mg/l)					
Dosis H ₂ O ₂ al					
50% (ml)	1	2	3	4	5
pH Final	7.0	6.5	6.2	6.0	5.7
Concentración					
Final (mg/l)	629	619	601	496	391
REPETICIONES					
1	628	615	599	497	389
2	630	617	597	495	387
PROMEDIO	629	617	599	496	389

Figura 9*Dosis Vs Concentración de DBO, Tratamiento 2*

En la **Figura 8**, se aprecia que la concentración inicial de DBO (862 mg/l), muestra una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (1, 2, 3, 4 y 5 ml). El nivel más bajo que alcanzó fue de 389 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo obtenido en el segundo ensayo corresponde a la dosis de 5 ml, sin embargo, no se logra cumplir con el Límite Máximo Permissible de acuerdo con la normativa de descargas Líquidas a cuerpos de Agua o Al Sistema de Alcantarillado Sanitario Ecuatoriana, que indica un valor de 100 mg/l. Los demás resultados finales con las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, tampoco logran alcanzar los límites establecidos en la norma.

Tabla 10*Resultados de Turbiedad (Tb), Tratamiento 2*

MUESTRA	TRATAMIENTO 2				
Concentración	1790				
Inicial (NTU)					
Dosis H ₂ O ₂ al 50% (ml)	1	2	3	4	5
pH Final	7.0	6.5	6.2	6.0	5.7
Concentración Final (NTU)	644	600	571	554	515
REPETICIONES					
1	645	602	573	555	518
2	643	598	575	553	521
PROMEDIO	644	600	573	554	518

Figura 10*Dosis Vs Nivel de Turbiedad, Tratamiento 2*

En la Figura 9, se aprecia que la concentración inicial de la Turbiedad (1980 NTU), alcanza una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (1, 2, 3, 4 y 5 ml). El nivel más bajo obtenido fue de 575 NTU, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el segundo ensayo corresponde a la dosis de 5 ml. Los demás resultados obtenidos con las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, sus niveles resultan ser menores al de 5 ml.

4.2.3 Tercer ensayo

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del tercer ensayo, el cual fue trabajado inicialmente con un pH ácido, llevado por el investigador, para luego adicionar las dosis respectivas de H₂O₂ (25%) y Fe⁺² (10 g/l). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen de muestra: 250 ml
- Temperatura: 22.6°C
- Tiempo de contacto: 20 min
- pH inicial: 3.5
- Dosis Fe⁺²: 5 ml

Tabla 11

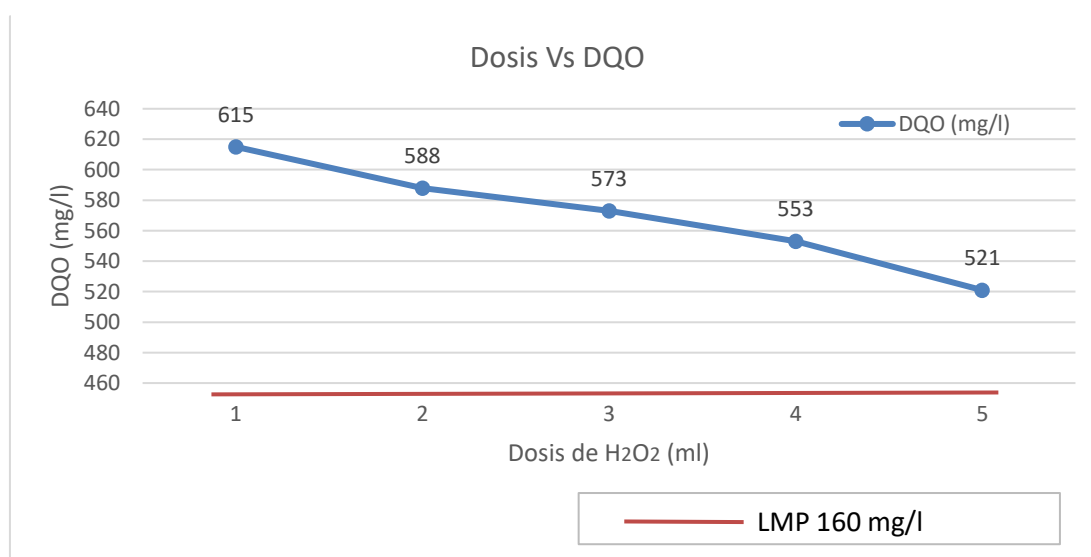
Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Tratamiento 3

MUESTRA	TRATAMIENTO 3				
Concentración	4896				
Inicial (mg/l)					
Dosis H ₂ O ₂ al					
25% (ml)	1	2	3	4	5

MUESTRA	TRATAMIENTO 3				
pH Final	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6
Concentración Final (mg/l)	615	587	573	549	521
REPETICIONES					
1	616	588	574	553	523
2	614	589	572	557	519
PROMEDIO	615	588	573	553	521

Figura 11

Dosis Vs Concentración de DQO, Tratamiento 3



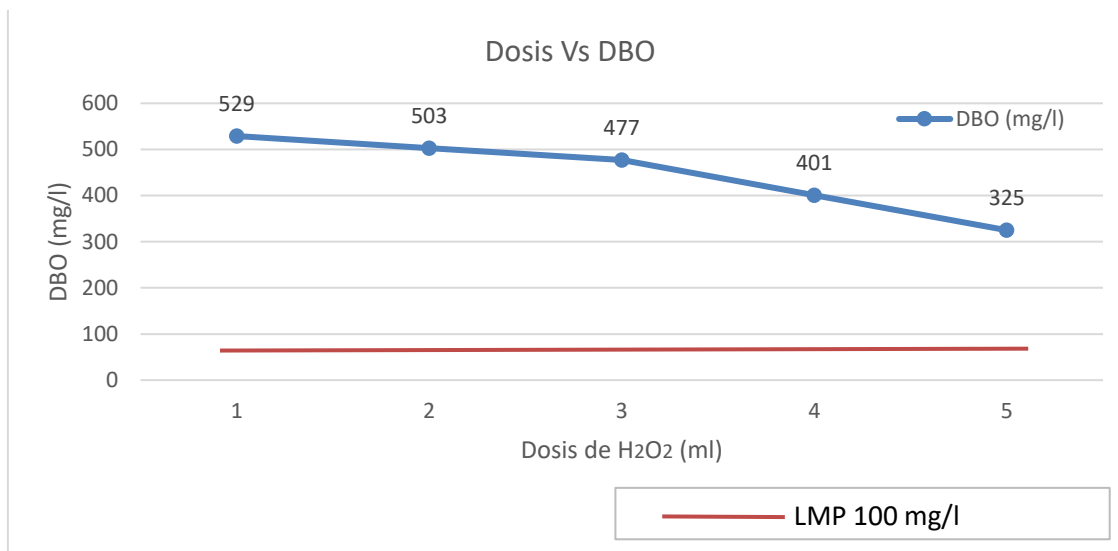
En la Figura 10, se aprecia que la concentración de DQO inicial (4896 mg/l), evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (1, 2, 3, 4 y 5 ml). El nivel más bajo que alcanzó fue de 521 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo obtenido en el tercer ensayo corresponde a la dosis de 5 ml, sin embargo, no se logra cumplir con el Límite Máximo Permissible de acuerdo con la normativa de descargas Líquidas a cuerpos de Agua

o Al Sistema de Alcantarillado Sanitario Ecuatoriana, que indica un valor de 160 mg/l. Los demás resultados finales con las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, tampoco logran alcanzar los límites establecidos en la norma.

Tabla 12

Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Tratamiento 3

MUESTRA	TRATAMIENTO 3				
Concentración	862				
Inicial (mg/l)					
Dosis H ₂ O ₂ al					
25% (ml)	1	2	3	4	5
pH Final	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6
Concentración					
Final (mg/l)	530	502	477	402	323
REPETICIONES					
1	529	504	478	400	325
2	528	503	476	401	327
PROMEDIO	529	503	477	401	325

Figura 12*Dosis Vs Concentración de DBO, Tratamiento 3*

En la **Figura 11**, se aprecia que la concentración inicial de DBO inicial (862 mg/l), muestra una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (1, 2, 3, 4 y 5 ml). El nivel más bajo que alcanzó fue de 325 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo obtenido en el tercer ensayo corresponde a la dosis de 5 ml, sin embargo, no se logra cumplir con el Límite Máximo Permissible de acuerdo a la normativa de descargas Líquidas a cuerpos de Agua o Al Sistema de Alcantarillado Sanitario Ecuatoriana, que indica un valor de 100 mg/l. Los demás resultados finales con las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, tampoco logran alcanzar los límites establecidos en la norma.

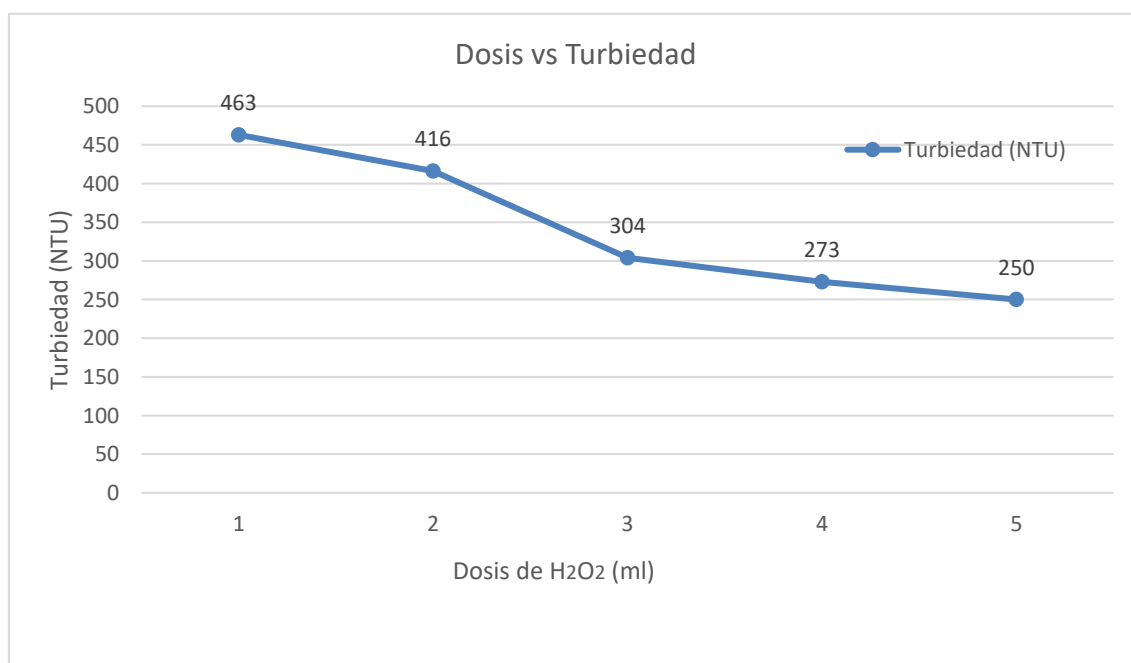
Tabla 13*Resultados de Turbiedad (Tb), Tratamiento 3*

MUESTRA	TRATAMIENTO 3
Concentración	
Inicial (BTU)	1790

MUESTRA	TRATAMIENTO 3				
Dosis H ₂ O ₂ al	1	2	3	4	5
25% (ml)					
pH Final	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6
Concentración					
Final (NTU)	463	417	305	272	250
REPETICIONES					
1	465	416	304	273	251
2	461	415	303	274	249
PROMEDIO	463	416	304	273	250

Figura 13

Dosis Vs Nivel de Turbiedad, Tratamiento 3



En la **Figura 12**, se aprecia que la concentración inicial de la Turbiedad (1790 NTU), alcanza una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis

del oxidante (1, 2, 3, 4 y 5 ml). El nivel más bajo obtenido fue de 250 NTU, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el tercer ensayo corresponde a la dosis de 5 ml. Los demás resultados obtenidos con las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, sus niveles resultan ser menores al de 5 ml.

4.2.4 Cuarto Ensayo

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los resultados del cuarto ensayo, el cual fue trabajado inicialmente con un pH ácido, llevado por el investigador, para luego adicionar las dosis respectivas de H₂O₂ (50%) y Fe⁺² (10 g/l). Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen de muestra: 250 ml
- Temperatura: 22.6°C
- Tiempo de contacto: 20 min
- pH inicial: 3.5
- Dosis Fe⁺²: 5 ml

Tabla 14

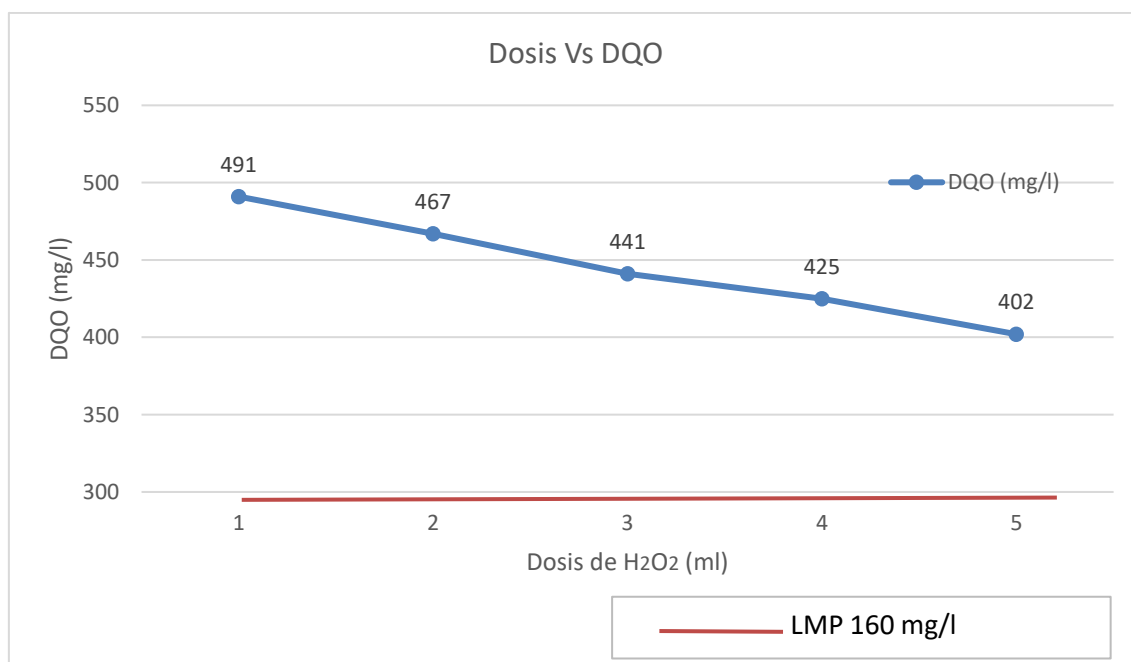
Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Tratamiento 4

MUESTRA	TRATAMIENTO 4				
Concentración	4896				
Inicial (mg/l)					
Dosis H ₂ O ₂ al					
50% (ml)	1	2	3	4	5
pH Final	3.3	2.9	2.7	2.5	2.3

MUESTRA	TRATAMIENTO 4				
Concentración					
Final (mg/l)	492	465	441	426	402
REPETICIONES					
1	491	467	440	425	400
2	490	469	442	424	404
PROMEDIO	491	467	441	425	402

Figura 14

Dosis Vs Concentración de DQO, Tratamiento 4



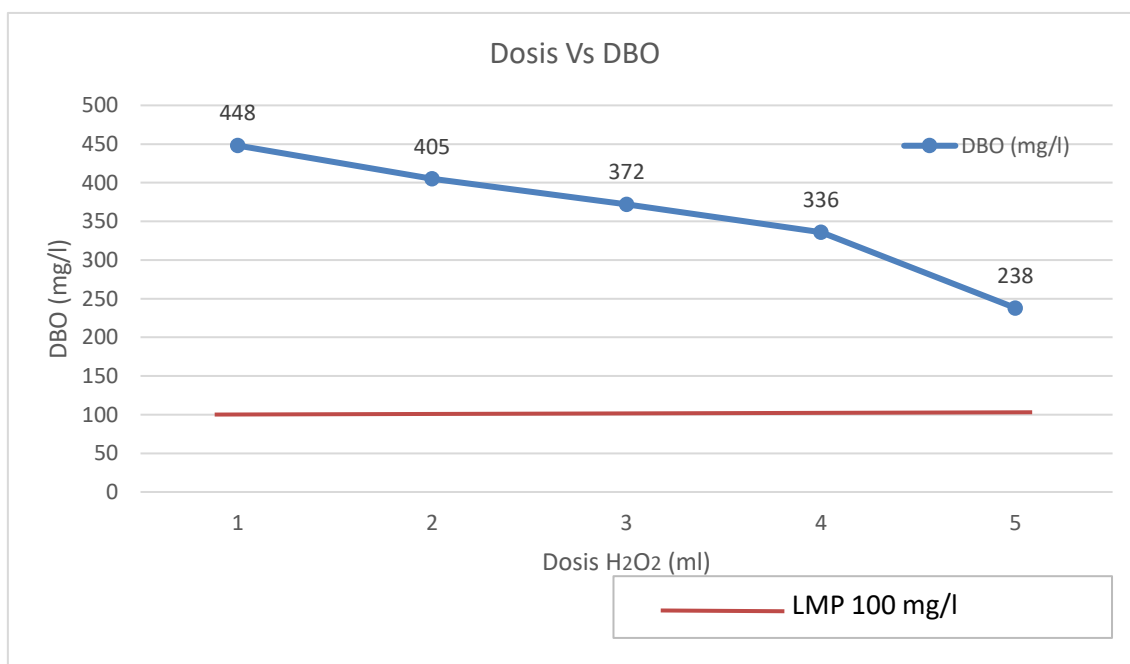
En la [Figura 14](#), se aprecia que la concentración inicial de DQO (4896 mg/l), evidencia una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (1, 2, 3, 4 y 5 ml). El nivel más bajo que alcanzó fue de 402 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo obtenido en el cuarto ensayo corresponde a la dosis de 5 ml, sin embargo, no se logra cumplir con el Límite Máximo Permissible de acuerdo con la

normativa de descargas Líquidas a cuerpos de Agua o Al Sistema de Alcantarillado Sanitario Ecuatoriana, que indica un valor de 160 mg/l. Los demás resultados finales con las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, tampoco logran alcanzar los límites establecidos en la norma.

Tabla 15

Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Tratamiento 4

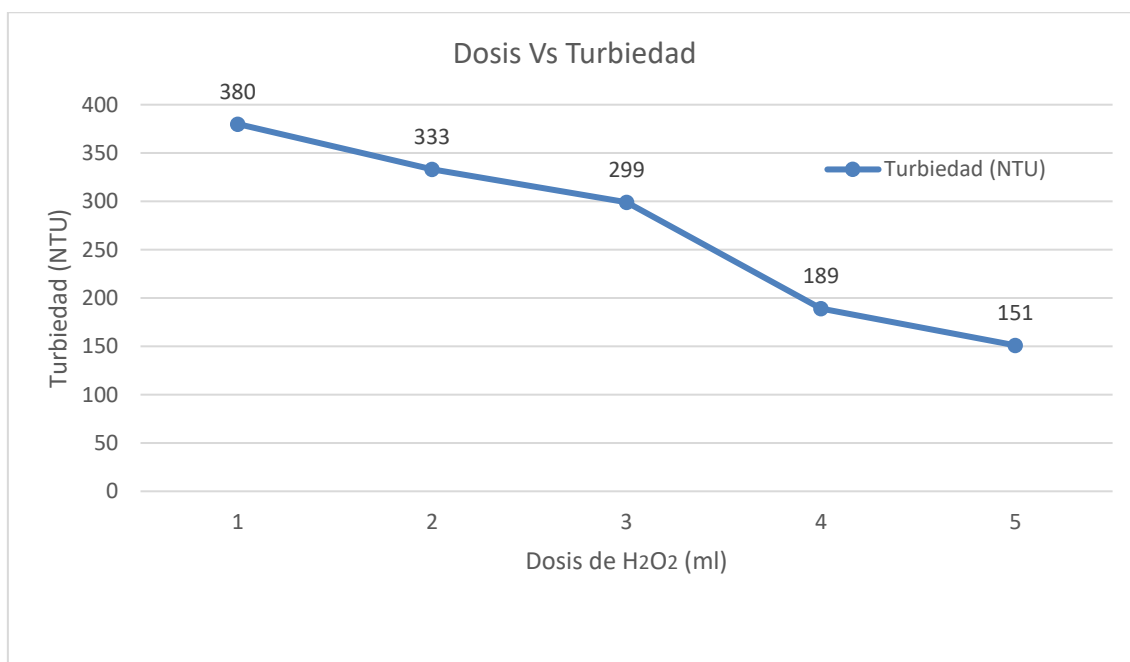
MUESTRA	TRATAMIENTO 4				
Concentración	862				
Inicial (mg/l)					
Dosis H ₂ O ₂ al	1	2	3	4	5
50% (ml)					
pH Final	3.3	2.9	2.7	2.5	2.3
Concentración					
Final (mg/l)	449	406	372	336	238
REPETICIONES					
1	448	405	373	335	239
2	447	404	371	337	237
PROMEDIO	448	405	372	336	238

Figura 15*Dosis Vs Concentración de DBO, Tratamiento 4*

En la **Figura 14**, se aprecia que la concentración inicial de DBO inicial (862 mg/l), muestra una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (1, 2, 3, 4 y 5 ml). El nivel más bajo que alcanzó fue de 238 mg/l, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo obtenido en el cuarto ensayo corresponde a la dosis de 5 ml, sin embargo, no se logra cumplir con el Límite Máximo Permisible de acuerdo con la normativa de descargas Líquidas a cuerpos de Agua o Al Sistema de Alcantarillado Sanitario Ecuatoriana, que indica un valor de 100 mg/l. Los demás resultados finales con las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, tampoco logran alcanzar los límites establecidos en la norma.

Tabla 16*Resultados de Turbiedad (Tb), Tratamiento 4*

MUESTRA	TRATAMIENTO 4				
Concentración	1790				
Inicial (mg/l)					
Dosis H ₂ O ₂ al					
50% (ml)	1	2	3	4	5
pH Final	3.3	2.9	2.7	2.5	2.3
Concentración					
Final (NTU)	380	333	299	190	150
REPETICIONES					
1	382	335	300	189	153
2	378	331	298	188	150
PROMEDIO	380	333	299	189	151

Figura 16*Dosis Vs Nivel de Turbiedad, Tratamiento 4*

En la **Figura 15**, se aprecia que la concentración inicial de la Turbiedad (1790 NTU), alcanza una disminución significativa después de la adición progresiva de las dosis del oxidante (1, 2, 3, 4 y 5 ml). El nivel más bajo obtenido fue de 151 NTU, en tal sentido podemos indicar que, de acuerdo con lo mostrado, el nivel óptimo alcanzado en el tercer ensayo corresponde a la dosis de 5 ml. Los demás resultados obtenidos con las otras dosis, si bien es cierto obtienen una remoción importante, sus niveles resultan ser menores al de 5 ml.

4.3 Determinación de la eficiencia en el tratamiento de lixiviado

De acuerdo con el tercer objetivo propuesto se determinaron las eficiencias finales de acuerdo con las dosis utilizadas de oxidante (H₂O₂), y considerando también los cuatro ensayos trabajados. A continuación, se muestran los resultados de los ensayos correspondiente al tratamiento del lixiviado:

4.3.1 Primer ensayo

En la Tabla 17, 18 y 19, se muestran los resultados obtenidos del primer ensayo para la DQO, DBO y Turbiedad, los cuales presentaron concentraciones iniciales de 4896 mg/l, 862 mg/l y 1790 NTU, con un pH de 7.6, en condiciones alcalinas.

Tabla 17

Eficiencias del primer ensayo para DQO

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración					
Inicial de DQO					
(mg/l)	4896				
Dosis de					
Oxidante (ml)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Concentraciones					
Finales de DQO					
(mg/l)	2408	2303	2195	2081	1932
Eficiencia (%)	50.8	52.9	55.2	57.4	60.5

Tabla 18

Eficiencias del primer ensayo para DBO

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración					
Inicial de DBO					
(mg/l)	862				

VARIABLES	MUESTRAS				
Dosis de Oxidante (ml)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Concentraciones Finales de DBO (mg/l)	708	701	683	662	636
Eficiencia (%)	17.8	18.7	20.8	23.2	26.2

Tabla 19

Eficiencias del primer ensayo para Turbiedad

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de Tb (NTU)	1790				
Dosis de Oxidante (ml)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Concentraciones Finales de Tb (NTU)	1010	951	922	891	668
Eficiencia (%)	43.5	46.8	48.5	50.2	62.6

4.3.2 Segundo ensayo

En la Tabla 20, 21 y 22, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo para la DQO, DBO y Turbiedad, los cuales presentaron concentraciones iniciales de 4896 mg/l, 862 mg/l y 1790 NTU, con un pH de 7.6, en condiciones alcalinas.

Tabla 20*Eficiencias del segundo ensayo para DQO*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración					
Inicial de DQO	4896				
(mg/l)					
Dosis de					
Oxidante (ml)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Concentraciones					
Finales de DQO	2192	2099	2000	1876	1843
(mg/l)					
Eficiencia (%)	55.2	57.1	59.1	61.7	62.4

Tabla 21*Eficiencias del segundo ensayo para DBO*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración					
Inicial de DBO	862				
(mg/l)					
Dosis de					
Oxidante (ml)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Concentraciones					
Finales de DBO	629	617	599	496	389
(mg/l)					
Eficiencia (%)	27.0	28.4	30.5	42.5	54.9

Tabla 22*Eficiencias del segundo ensayo para Turbiedad*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración					
Inicial de Tb (NTU)	1790				
Dosis de Oxidante (ml)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Concentraciones					
Finales de Tb (NTU)	644	600	573	554	518
Eficiencia (%)	64.0	66.5	68.0	69.1	71.1

4.3.3 Tercer ensayo

En la Tabla 23, 24 y 25, se muestran los resultados obtenidos del tercer ensayo para la DQO, DBO y Turbiedad, los cuales presentaron concentraciones iniciales de 4896 mg/l, 862 mg/l y 1790 NTU, con un pH de 3.5, en condiciones ácidas.

Tabla 23*Eficiencias del tercer ensayo para DQO*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración					
Inicial de DQO (mg/l)	4896				
Dosis de Oxidante (ml)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentraciones					
Finales de DQO (mg/l)	615	588	573	553	521
Eficiencia (%)	87.4	88.0	88.3	88.7	89.4

Tabla 24*Eficiencias del tercer ensayo para DBO*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración					
Inicial de DBO (mg/l)	862				
Dosis de Oxidante (ml)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Concentraciones					
Finales de DBO (mg/l)	529	503	477	401	325
Eficiencia (%)	38.6	41.7	44.7	53.5	62.3

Tabla 25*Eficiencias del tercer ensayo para Turbiedad*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración					
Inicial de Tb (NTU)	1790				

VARIABLES	MUESTRAS				
Dosis de Oxidante (ml)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Concentraciones Finales de Tb (NTU)	463	416	304	273	250
Eficiencia (%)	74.1	76.8	83.0	84.8	86.0

4.3.4 Cuarto ensayo

En la Tabla 26, 27 y 28, se muestran los resultados obtenidos en el cuarto ensayo para la DQO, DBO y Turbiedad, los cuales presentaron concentraciones iniciales de 4896 mg/l, 862 mg/l y 1790 NTU, con un pH de 3.5, en condiciones ácidas.

Tabla 26

Eficiencias del cuarto ensayo para DQO

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración Inicial de DQO (mg/l)	4896				
Dosis de Oxidante (ml)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Concentraciones Finales de DQO (mg/l)	491	467	441	425	402
Eficiencia (%)	90.0	90.5	91.0	91.3	91.8

Tabla 27*Eficiencias del cuarto ensayo para DBO*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración					
Inicial de DBO	862				
(mg/l)					
Dosis de					
Oxidante (ml)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Concentraciones					
Finales de DBO	448	405	372	336	238
(mg/l)					
Eficiencia (%)	48.0	53.0	56.8	61.0	72.4

Tabla 28*Eficiencias del cuarto ensayo para Turbiedad*

VARIABLES	MUESTRAS				
Concentración					
Inicial de Tb	1790				
(NTU)					
Dosis de					
Oxidante (ml)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Concentraciones					
Finales de Tb	380	333	299	189	151
(NTU)					
Eficiencia (%)	78.7	81.4	83.3	89.4	91.6

4.4 Análisis Estadístico Inferencial

Para agrupar y poder verificar la verosimilitud de los datos se tiene que desarrollar un desagregado ordenado de los tratamientos dosis aplicados esto es:

T1: Tratamiento con dosis respectivas de H₂O₂ (25%) y Fe⁺² (10 g/l) con pH 7.6

T2: Tratamiento con dosis respectivas de H₂O₂ (50%) y Fe⁺² (10 g/l) con pH 7.6

T3: Tratamiento con dosis respectivas de H₂O₂ (25%) y Fe⁺² (10 g/l) con pH 3.5

T4: Tratamiento con dosis respectivas de H₂O₂ (50%) y Fe⁺² (10 g/l) con pH 3.5

D1: Dosis H₂O₂ al 25 y 50% (ml) de 1ml

D2: Dosis H₂O₂ al 25 y 50% (ml) de 2 ml

D3: Dosis H₂O₂ al 25 y 50% (ml) de 3ml

D4: Dosis H₂O₂ al 25 y 50% (ml) de 4ml

D5: Dosis H₂O₂ al 50% (ml) de 5ml, con las respectivas repeticiones R1, R2, R3

Para lo cual se agrupo en la siguiente tabla:

Tabla 29

Datos agrupados para análisis estadístico

TRATA				CONCENTRACIÓN	CONCENTRACIÓN	EFICIEN
MIENT	PARÁMETRO	DOSIS	REPETICIÓN	INICIAL	FINAL	CIAS
O				mg/l	mg/l	%
T1	DQO	D1	R1	4896	2410	50.78
<i>T1</i>	<i>DQO</i>	<i>D1</i>	<i>R2</i>	<i>4896</i>	<i>2405</i>	<i>50.88</i>
T1	DQO	D1	R3	4896	2409	50.80
T1	DQO	D2	R1	4896	2305	52.92
T1	DQO	D2	R2	4896	2308	52.86
T1	DQO	D2	R3	4896	2296	53.10
T1	DQO	D3	R1	4896	2197	55.13
T1	DQO	D3	R2	4896	2195	55.17
T1	DQO	D3	R3	4896	2193	55.21
T1	DQO	D4	R1	4896	2086	57.39
T1	DQO	D4	R2	4896	2079	57.54

TRATA				CONCENTRACIÓN	CONCENTRACIÓN	EFICIEN
MIENT	PARÁMETRO	DOSIS	REPETICIÓN	INICIAL	FINAL	CIAS
O				mg/l	mg/l	%
T1	DQO	D4	R3	4896	2078	57.56
T1	DQO	D5	R1	4896	1933	60.52
T1	DQO	D5	R2	4896	1935	60.48
T1	DQO	D5	R3	4896	1928	60.62
T1	DBO	D1	R1	862	705	18.21
T1	DBO	D1	R2	862	708	17.87
T1	DBO	D1	R3	862	711	17.52
T1	DBO	D2	R1	862	702	18.56
T1	DBO	D2	R2	862	698	19.03
T1	DBO	D2	R3	862	703	18.45
T1	DBO	D3	R1	862	677	21.46
T1	DBO	D3	R2	862	685	20.53
T1	DBO	D3	R3	862	687	20.30
T1	DBO	D4	R1	862	659	23.55
T1	DBO	D4	R2	862	657	23.78
T1	DBO	D4	R3	862	670	22.27
T1	DBO	D5	R1	862	635	26.33
T1	DBO	D5	R2	862	638	25.99
T1	DBO	D5	R3	862	635	26.33
T1	TURBIDEZ	D1	R1	1790	1012	43.46
T1	TURBIDEZ	D1	R2	1790	1015	43.30
T1	TURBIDEZ	D1	R3	1790	1003	43.97
T1	TURBIDEZ	D2	R1	1790	950	46.93
T1	TURBIDEZ	D2	R2	1790	956	46.59
T1	TURBIDEZ	D2	R3	1790	947	47.09
T1	TURBIDEZ	D3	R1	1790	919	48.66
T1	TURBIDEZ	D3	R2	1790	922	48.49
T1	TURBIDEZ	D3	R3	1790	925	48.32
T1	TURBIDEZ	D4	R1	1790	892	50.17
T1	TURBIDEZ	D4	R2	1790	893	50.11
T1	TURBIDEZ	D4	R3	1790	888	50.39

TRATA				CONCENTRACIÓN	CONCENTRACIÓN	EFICIEN
MIENT	PARÁMETRO	DOSIS	REPETICIÓN	INICIAL	FINAL	CIAS
O				mg/l	mg/l	%
T1	TURBIDEZ	D5	R1	1790	673	62.40
T1	TURBIDEZ	D5	R2	1790	668	62.68
T1	TURBIDEZ	D5	R3	1790	663	62.96
T2	DQO	D1	R1	4896	2192	55.23
T2	DQO	D1	R2	4896	2194	55.19
T2	DQO	D1	R3	4896	2190	55.27
T2	DQO	D2	R1	4896	2097	57.17
T2	DQO	D2	R2	4896	2098	57.15
T2	DQO	D2	R3	4896	2102	57.07
T2	DQO	D3	R1	4896	2000	59.15
T2	DQO	D3	R2	4896	2002	59.11
T2	DQO	D3	R3	4896	1998	59.19
T2	DQO	D4	R1	4896	1879	61.62
T2	DQO	D4	R2	4896	1875	61.70
T2	DQO	D4	R3	4896	1874	61.72
T2	DQO	D5	R1	4896	1845	62.32
T2	DQO	D5	R2	4896	1843	62.36
T2	DQO	D5	R3	4896	1841	62.40
T2	DBO	D1	R1	862	629	27.03
T2	DBO	D1	R2	862	628	27.15
T2	DBO	D1	R3	862	630	26.91
T2	DBO	D2	R1	862	619	28.19
T2	DBO	D2	R2	862	615	28.65
T2	DBO	D2	R3	862	617	28.42
T2	DBO	D3	R1	862	601	30.28
T2	DBO	D3	R2	862	599	30.51
T2	DBO	D3	R3	862	597	30.74
T2	DBO	D4	R1	862	496	42.46
T2	DBO	D4	R2	862	497	42.34
T2	DBO	D4	R3	862	495	42.58
T2	DBO	D5	R1	862	391	54.64

TRATA				CONCENTRACIÓN	CONCENTRACIÓN	EFICIEN
MIENT	PARÁMETRO	DOSIS	REPETICIÓN	INICIAL	FINAL	CIAS
O				mg/l	mg/l	%
T2	DBO	D5	R2	862	389	54.87
T2	DBO	D5	R3	862	387	55.10
T2	TURBIDEZ	D1	R1	1790	644	64.02
T2	TURBIDEZ	D1	R2	1790	645	63.97
T2	TURBIDEZ	D1	R3	1790	643	64.08
T2	TURBIDEZ	D2	R1	1790	600	66.48
T2	TURBIDEZ	D2	R2	1790	602	66.37
T2	TURBIDEZ	D2	R3	1790	598	66.59
T2	TURBIDEZ	D3	R1	1790	571	68.10
T2	TURBIDEZ	D3	R2	1790	573	67.99
T2	TURBIDEZ	D3	R3	1790	575	67.88
T2	TURBIDEZ	D4	R1	1790	554	69.05
T2	TURBIDEZ	D4	R2	1790	555	68.99
T2	TURBIDEZ	D4	R3	1790	553	69.11
T2	TURBIDEZ	D5	R1	1790	515	71.23
T2	TURBIDEZ	D5	R2	1790	518	71.06
T2	TURBIDEZ	D5	R3	1790	521	70.89
T3	DQO	D1	R1	4896	615	87.44
T3	DQO	D1	R2	4896	616	87.42
T3	DQO	D1	R3	4896	614	87.46
T3	DQO	D2	R1	4896	587	88.01
T3	DQO	D2	R2	4896	588	87.99
T3	DQO	D2	R3	4896	589	87.97
T3	DQO	D3	R1	4896	573	88.30
T3	DQO	D3	R2	4896	574	88.28
T3	DQO	D3	R3	4896	572	88.32
T3	DQO	D4	R1	4896	549	88.79
T3	DQO	D4	R2	4896	553	88.71
T3	DQO	D4	R3	4896	557	88.62
T3	DQO	D5	R1	4896	521	89.36
T3	DQO	D5	R2	4896	523	89.32

TRATA				CONCENTRACIÓN	CONCENTRACIÓN	EFICIEN
MIENT	PARÁMETRO	DOSIS	REPETICIÓN	INICIAL	FINAL	CIAS
O				mg/l	mg/l	%
T3	DQO	D5	R3	4896	519	89.40
T3	DBO	D1	R1	862	530	89.17
T3	DBO	D1	R2	862	529	89.20
T3	DBO	D1	R3	862	528	89.22
T3	DBO	D2	R1	862	502	89.75
T3	DBO	D2	R2	862	504	89.71
T3	DBO	D2	R3	862	503	89.73
T3	DBO	D3	R1	862	477	90.26
T3	DBO	D3	R2	862	478	90.24
T3	DBO	D3	R3	862	476	90.28
T3	DBO	D4	R1	862	402	91.79
T3	DBO	D4	R2	862	400	91.83
T3	DBO	D4	R3	862	401	91.81
T3	DBO	D5	R1	862	323	93.40
T3	DBO	D5	R2	862	325	93.36
T3	DBO	D5	R3	862	327	93.32
T3	TURBIDEZ	D1	R1	1790	463	74.13
T3	TURBIDEZ	D1	R2	1790	465	74.02
T3	TURBIDEZ	D1	R3	1790	461	74.25
T3	TURBIDEZ	D2	R1	1790	417	76.70
T3	TURBIDEZ	D2	R2	1790	416	76.76
T3	TURBIDEZ	D2	R3	1790	415	76.82
T3	TURBIDEZ	D3	R1	1790	305	82.96
T3	TURBIDEZ	D3	R2	1790	304	83.02
T3	TURBIDEZ	D3	R3	1790	303	83.07
T3	TURBIDEZ	D4	R1	1790	272	84.80
T3	TURBIDEZ	D4	R2	1790	273	84.75
T3	TURBIDEZ	D4	R3	1790	274	84.69
T3	TURBIDEZ	D5	R1	1790	250	86.03
T3	TURBIDEZ	D5	R2	1790	251	85.98
T3	TURBIDEZ	D5	R3	1790	249	86.09

TRATA				CONCENTRACIÓN	CONCENTRACIÓN	EFICIEN
MIENT	PARÁMETRO	DOSIS	REPETICIÓN	INICIAL	FINAL	CIAS
O				mg/l	mg/l	%
T4	DQO	D1	R1	4896	492	89.95
T4	DQO	D1	R2	4896	491	89.97
T4	DQO	D1	R3	4896	490	89.99
T4	DQO	D2	R1	4896	465	90.50
T4	DQO	D2	R2	4896	467	90.46
T4	DQO	D2	R3	4896	469	90.42
T4	DQO	D3	R1	4896	441	90.99
T4	DQO	D3	R2	4896	440	91.01
T4	DQO	D3	R3	4896	442	90.97
T4	DQO	D4	R1	4896	426	91.30
T4	DQO	D4	R2	4896	425	91.32
T4	DQO	D4	R3	4896	424	91.34
T4	DQO	D5	R1	4896	402	91.79
T4	DQO	D5	R2	4896	400	91.83
T4	DQO	D5	R3	4896	404	91.75
T4	DBO	D1	R1	862	449	47.91
T4	DBO	D1	R2	862	448	48.03
T4	DBO	D1	R3	862	447	48.14
T4	DBO	D2	R1	862	406	52.90
T4	DBO	D2	R2	862	405	53.02
T4	DBO	D2	R3	862	404	53.13
T4	DBO	D3	R1	862	372	56.84
T4	DBO	D3	R2	862	373	56.73
T4	DBO	D3	R3	862	371	56.96
T4	DBO	D4	R1	862	336	61.02
T4	DBO	D4	R2	862	335	61.14
T4	DBO	D4	R3	862	337	60.90
T4	DBO	D5	R1	862	238	72.39
T4	DBO	D5	R2	862	239	72.27
T4	DBO	D5	R3	862	237	72.51
T4	TURBIDEZ	D1	R1	1790	380	78.77

TRATA				CONCENTRACIÓN	CONCENTRACIÓN	EFICIEN
MIENT	PARÁMETRO	DOSIS	REPETICIÓN	INICIAL	FINAL	CIAS
O				mg/l	mg/l	%
T4	TURBIDEZ	D1	R2	1790	382	78.66
T4	TURBIDEZ	D1	R3	1790	378	78.88
T4	TURBIDEZ	D2	R1	1790	333	81.40
T4	TURBIDEZ	D2	R2	1790	335	81.28
T4	TURBIDEZ	D2	R3	1790	331	81.51
T4	TURBIDEZ	D3	R1	1790	299	83.30
T4	TURBIDEZ	D3	R2	1790	300	83.24
T4	TURBIDEZ	D3	R3	1790	298	83.35
T4	TURBIDEZ	D4	R1	1790	190	89.39
T4	TURBIDEZ	D4	R2	1790	189	89.44
T4	TURBIDEZ	D4	R3	1790	188	89.50
T4	TURBIDEZ	D5	R1	1790	150	91.62
T4	TURBIDEZ	D5	R2	1790	153	91.45
T4	TURBIDEZ	D5	R3	1790	150	91.62

Nota. Elaborado en MINITAB versión 19.

Para realizar un análisis del mejor parámetro disminuido y tratamiento se ha efectuado la relación de mejora según un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) aplicado, para ello se aplica la metodología:

4.4.1 Prueba de normalidad.

Teniendo en cuenta la distribución de los datos se aplica los supuestos:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente

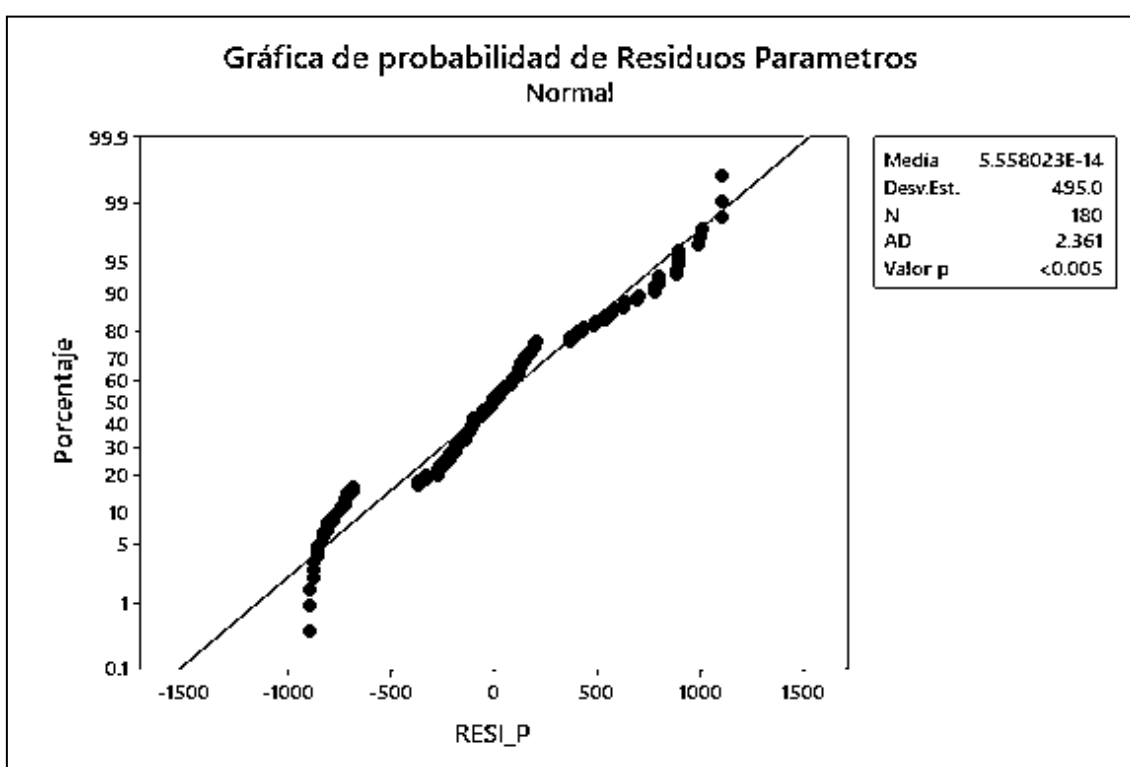
H_A : Los residuos no se distribuyen normalmente

Para ello se aplicó la prueba de normalidad a:

A. Para Los Parámetros Analizados. Teniendo en cuenta estos supuestos se comprueba aplicando la prueba de normalidad de Anderson Darling con un indicador de $AD = 2.361$ y un p-valor < 0.005 , indicando de que el p-valor es menor a 0.05 se acepta la hipótesis alterna por lo cual los residuos no se distribuyen normalmente.

Figura 17

Prueba de normalidad de la información obtenida en la investigación respecto a los parámetros analizados

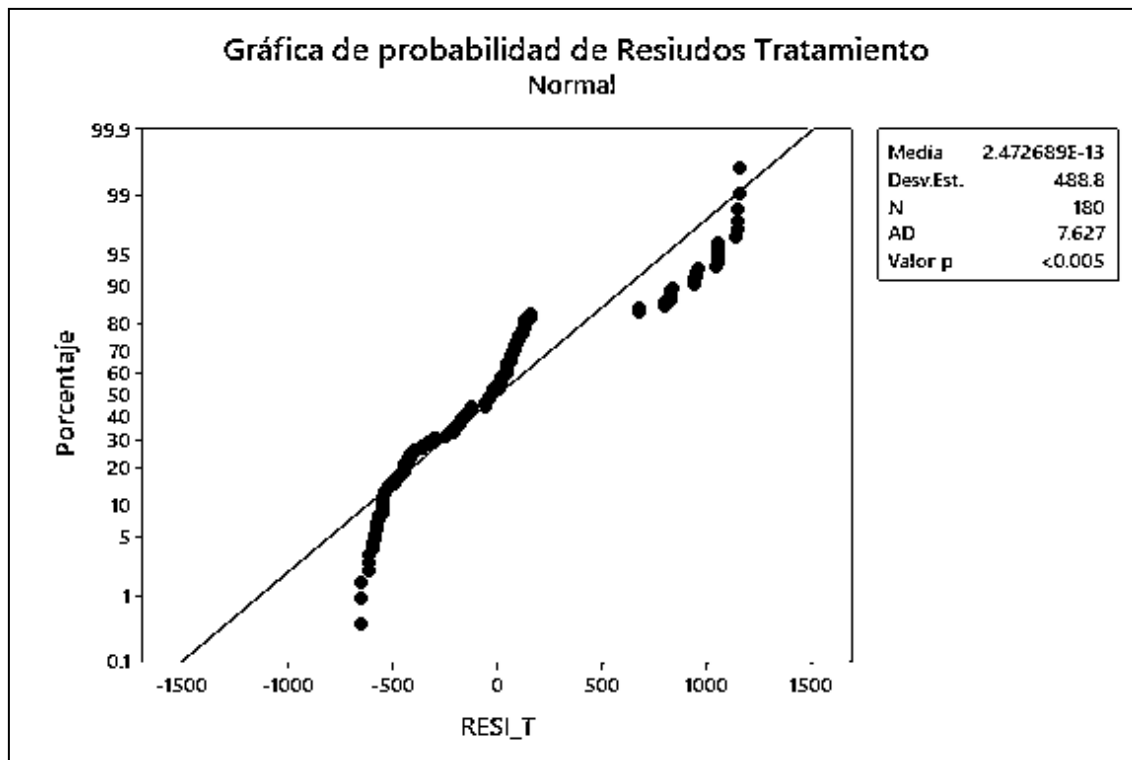


Nota. Se describe la distribución y agrupación de los residuos ajustados de los resultados en base a una tendencia normal de ajuste elaborado en MINITAB versión 19.

B. Para los Tratamientos Aplicados. Teniendo en cuenta estos supuestos se comprueba aplicando la prueba de normalidad de Anderson Darling con un indicador de $AD = 7.627$ y un p-valor < 0.005 , indicando de que el p-valor es menor a 0.05 se acepta la hipótesis alterna por lo cual los residuos no se distribuyen normalmente.

Figura 18

Prueba de normalidad de la información obtenida en la investigación respecto a los parámetros analizados



Nota. Se describe la distribución y agrupación de los residuos ajustados de los resultados en base a una tendencia normal de ajuste elaborado en MINITAB versión 19.

4.4.2 Prueba de Homogeneidad de Varianzas:

La prueba se desarrolló en base al estadístico de Levene el cual se postula en base a 2 supuestos:

H_0 : Las varianzas son iguales

H_A : Al menos una varianza es diferente

Por tanto, el resultado obtenido es:

Tabla 30

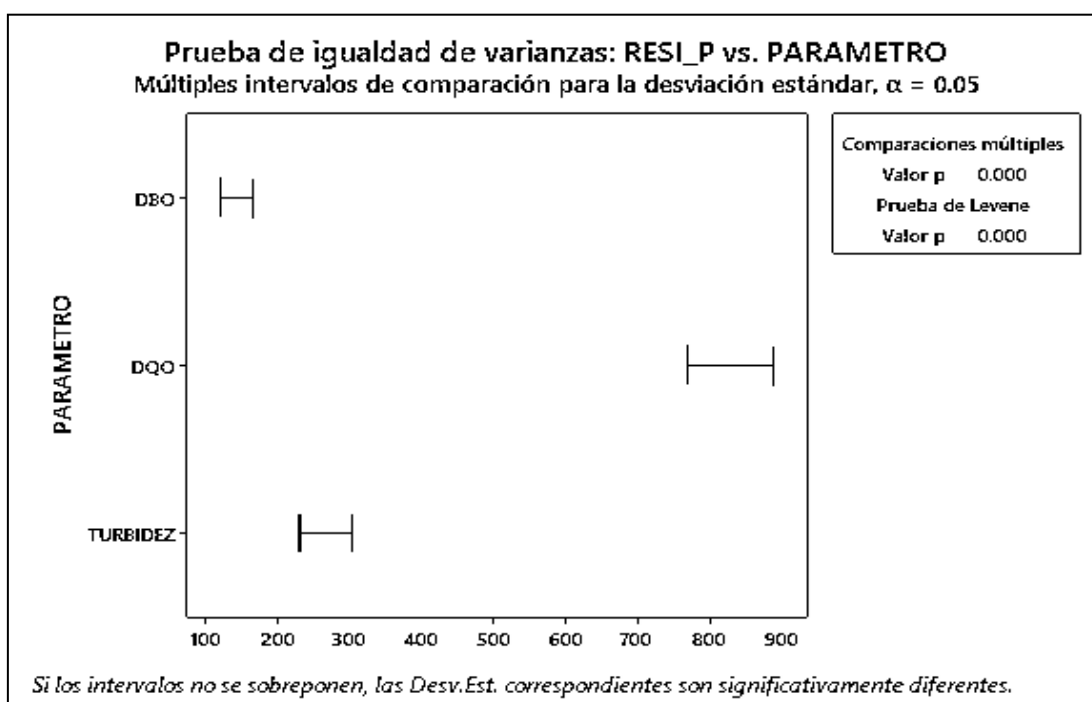
Resultados de la prueba de Homogeneidad de Varianzas en la investigación para los tratamientos aplicados y parámetros analizados

Método	Estadístico	Valor p
Levene (parámetros analizados)	481.59	0.000
Levene (tratamientos aplicados)	15.68	0.000

Nota. Elaborado en MINITAB versión 19.

Figura 19

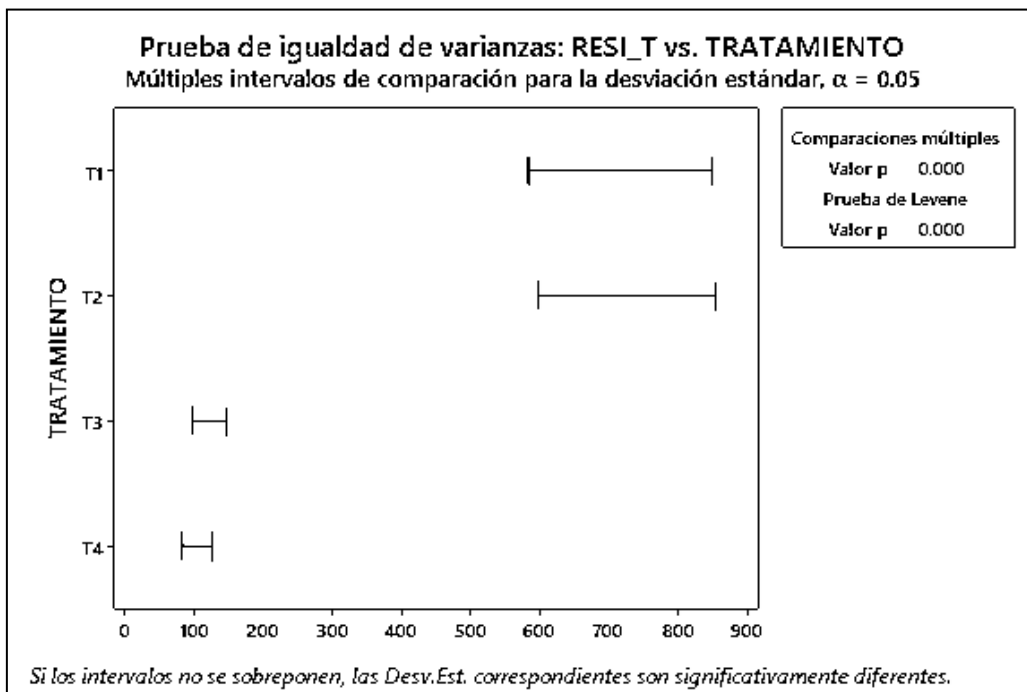
Análisis de Homogeneidad de las Varianzas en los resultados de la investigación a los parámetros analizados



Nota. Elaborado en MINITAB versión 19.

Figura 20

Análisis de Homogeneidad de las Varianzas en los resultados de la investigación a los tratamientos aplicados



Nota. Elaborado en MINITAB versión 19.

De lo expresado para los parámetros analizados con una significancia de 5% y estadístico de Levene de 481.59 y un p-valor de 0.000 que es menor al valor de 0.05 lo cual permite rechazar la hipótesis nula que afirma que existe homogeneidad de varianzas en la agrupación de los resultados, por lo cual se acepta la hipótesis alterna que define que por lo menos una varianza es diferente en los parámetros analizados.

De la misma manera se comprueba la homogeneidad de varianzas a los tratamientos aplicados lo cual resulta:

De lo expresado para los tratamientos aplicados con una significancia de 5% y estadístico de Levene de 15.68 y un p-valor de 0.000 que es menor al valor de 0.05 lo cual permite rechazar la hipótesis nula que afirma que existe homogeneidad de varianzas en la agrupación de los resultados, por lo cual se acepta la hipótesis alterna que define que por lo menos una varianza es diferente en los tratamientos aplicados

A. Al menos un parámetro analizado es removido eficientemente

H_0 : No hay diferencias significativas entre los parámetros analizados

H_A : Al menos un parámetro es removido eficientemente

B Al menos un tratamiento es eficiente para la remoción o estabilización de un parámetro base del agua

H_0 : No hay diferencias significativas entre los tratamientos aplicados

H_A : Al menos un tratamiento es diferente a las demás (es decir demuestra eficiencia a la hora de remover o estabilizar un parámetro del agua)

Para poder obtener la verificación de que un parámetro es removido eficientemente y un tratamiento es eficiente para tratar aguas residuales se aplica la prueba H en base a la prueba Kruskal-Wallis teniendo:

Figura 21

Resultados de la prueba Kruskal-Wallis aplicada a los parámetros analizados

Hipótesis nula	H_0 : Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H_1 : Al menos una mediana es diferente		
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	2	0.39	0.823
Ajustado para empates	2	0.39	0.823

De lo cual se arroja que con una significancia de un 5% y con $H= 0.39$ y un p-valor de 0.823 que es mayor que 0.05 se acepta hipotesis nula, es decir las medianas son iguales y los parámetros analizados presentan verosimilitud estadística por lo cual la remoción de mismo depende del tratamiento aplicado.

Figura 22

Resultados de la prueba Kruskal-Wallis aplicada a los tratamientos aplicados

Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales		
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente		
Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	3	14.96	0.002
Ajustado para empates	3	14.96	0.002

De lo cual se arroja que con una significancia de un 5% y con H= 14.96 y un p-valor de 0.002 que es menor a 0.05 se descarta la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna por lo cual al menos un tratamiento aplicado es diferente a las demás por la diferencia de medianas (es decir demuestra eficiencia a la hora de estabilizar un parámetro específico en el agua residual).

D. Que parámetro expresa la mejora de la calidad de las aguas residuales en estudio:

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_A: \mu_i \neq \mu_j$$

Para ello se utiliza la prueba de comparación de Tukey de lo cual se obtiene:

Figura 23

Prueba de comparación Tukey para parámetros

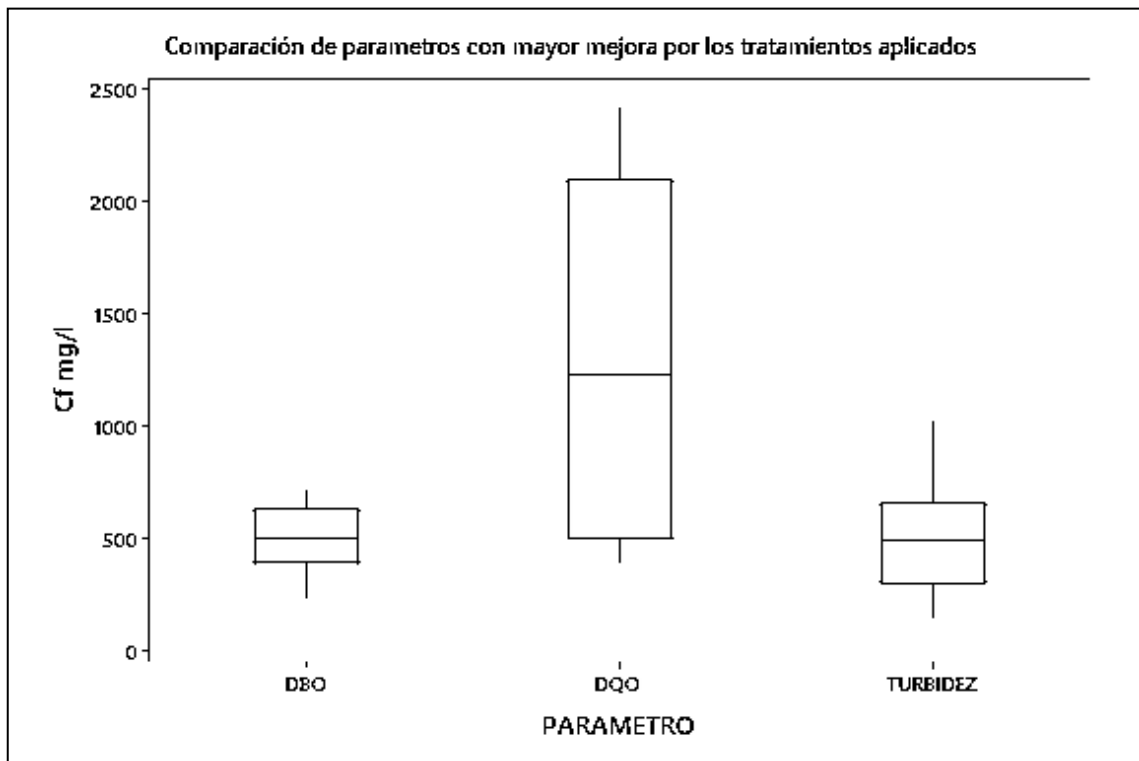
PARAMETRO	N	Media	Agrupación
DQO	60	1300.25	A
TURBIDEZ	60	519.45	B
DBO	60	507.70	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nota. Elaborado en MINITAB versión 19

Figura 24

Comparación de parámetros con mayor mejora por los tratamientos aplicados



Nota. Se observa que la DBO es el parámetro que presenta mejora en el agua aplicando los tratamientos respectivos seguido de la Turbidez, lo cual manifiesta de manera estadística que la aplicación del proceso de tratamiento es eficiente.

De la **Figura 23** se observa que la DBO es el parámetro que presenta mejora en el agua aplicando los tratamientos respectivos seguido de la Turbidez, lo cual manifiesta de manera estadística que la aplicación del proceso de tratamiento es eficiente.

E. Que tratamiento aplicado permite mejor la calidad de las aguas residuales en estudio:

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

$$H_A: \mu_i \neq \mu_j$$

Figura 25

Prueba de comparación Tukey para los tratamientos

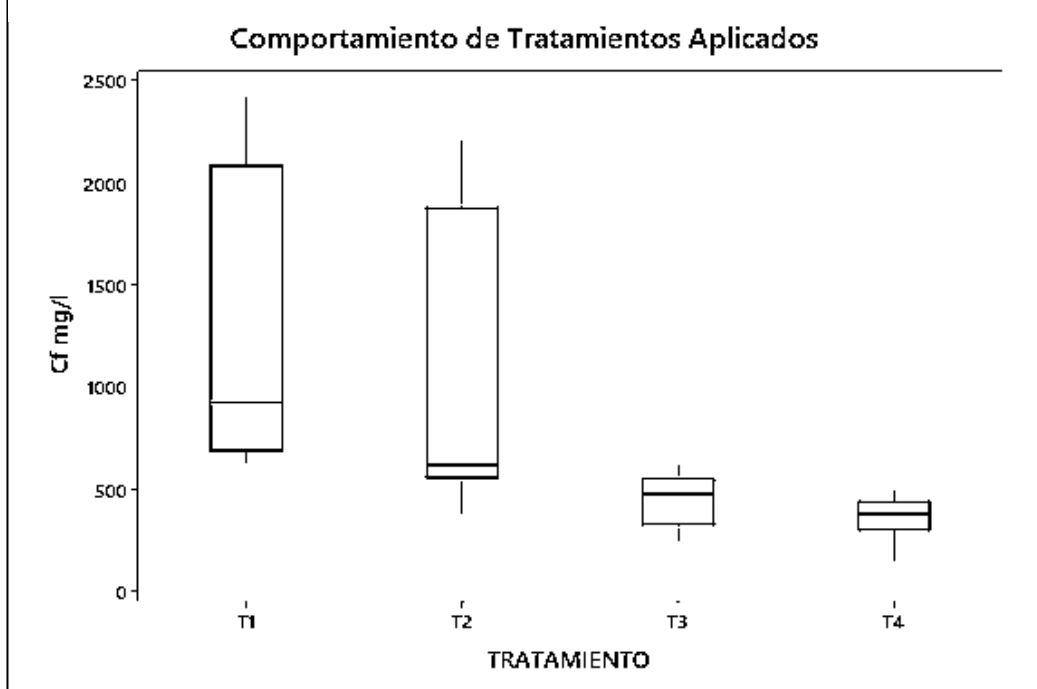
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T1	45	1250.07	A
T2	45	1041.93	A
T3	45	452.73	B
T4	45	358.47	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Nota. Elaborado en MINITAB versión 19

Figura 26

Comportamiento de Tratamientos Aplicados



Nota. Se observa que el T4 es el más eficiente en remover los parámetros respectivos seguido del T3 los cuales demuestran estadísticamente la eficiencia de la investigación.

De lo cual se desprende:

Tabla 31*Análisis de los mejores tratamientos y dosis aplicadas en la investigación*

Parámetro	Tratamiento	Dosis	Repetición	Concentración	Concentración	Eficiencia
				Inicial (mg/l)	Final (mg/l)	%
DQO	T4	D5	R2	4896	400	91.80
DBO	T3	D5	R1	862	323	72.40
TURBIDEZ	T4	D5	R3	1790	150	91.62

Nota. Donde: T1: Tratamiento con dosis respectivas de H₂O₂ (25%) y Fe⁺² (10 g/l) con pH 7.6, T2: Tratamiento con dosis respectivas de H₂O₂ (50%) y Fe⁺² (10 g/l) con pH 7.6, T3: Tratamiento con dosis respectivas de H₂O₂ (25%) y Fe⁺² (10 g/l) con pH 3.5, T4: Tratamiento con dosis respectivas de H₂O₂ (50%) y Fe⁺² (10 g/l) con pH 3.5.

De lo cual se desprende que el parámetro mejor tratado es el DBO en el cual aplicando el T3: tratamiento con dosis respectivas de H₂O₂ (25%) y Fe⁺² (10 g/l) con pH 3.5 y con D5: dosis H₂O₂ al 50% (ml) de 5ml con una eficiencia de remoción de 93.40%.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Asaithambi et al. (2019) llevaron a cabo una investigación denominada “*Removal of color, COD and determination of power consumption from landfill leachate wastewater using an electrochemical advanced oxidation processes*”, la cual estableció como objetivo principal encontrar que tratamiento (proceso UV, electro-Fenton y foto-electro-Fenton) lograría reducir de manera más efectiva el % de color, la DQO y el consumo de energía de las aguas lixiviadas de los vertederos. Con relación a los hallazgos principales, estos fueron los siguientes: el proceso de foto UV logró una reducción de color de 20% y de DQO al 13% aproximadamente, el proceso de electro-Fenton tuvo una reducción de color de 85% y de DQO al 70% aproximadamente, finalmente, el proceso de foto-electro-Fenton logró una eficiencia de eliminación de color al 100% y de DQO al 97% con un consumo de energía de 3,10 kWh/m³. Por lo cual, se concluyó que el proceso de foto-electro-Fenton resulta ser el más eficiente y efectivo para la remoción de contaminantes de las aguas residuales. En el caso de nuestra investigación trabajamos únicamente con un solo proceso de oxidación y precipitación química, bajo condiciones ácidas y alcalinas con pH de 3.5 y 7.6 respectivamente. Las concentraciones utilizadas de Peróxido de Hidrogeno fueron al 25 y 50%, y del catalizador de Hierro II, de 10 g/l, donde las dosis escogidas por el investigador para el caso del oxidante fueron de 1, 2, 3, 4 y 5 ml, y del catalizador una dosis estándar para todas las pruebas de 5 ml. Los mejores resultados obtenidos con el oxidante al 50%, en relación con la DQO en medio alcalino, mostraron eficiencias en el orden del 55.2, 57.1, 59.1, 61.7 y 62.4 %, mientras que en medio ácido se alcanzaron eficiencias del 90.0, 90.5, 91.0, 91.3 y 91.8 %. En el caso de remoción de la DBO en medio alcalino, mostraron eficiencias en el orden del 27, 28.4, 30.5, 42.5 y 54.9 %, mientras que en medio ácido se alcanzaron eficiencias del 48.0, 53.0, 56.8, 61.0 y 72.4 %.

En su artículo científico Méndez et al. (2010), desarrollan un estudio sobre: “*Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton*”, donde muestran los resultados de aplicar el proceso Fenton a los lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Mérida, donde aplican un tratamiento a la carga contaminante con una combinación de H_2O_2 y $FeSO_4$ en condiciones ácidas. En el proceso se calcula el tiempo óptimo de reacción, los valores óptimos de pH y dosis de reactivo Fenton, así como también las dosis ideales para el postratamiento de coagulación y floculación. Los resultados finales mostraron que las condiciones y dosis óptimas en este proceso de oxidación fueron: para un tiempo de contacto de 20 minutos, un $pH=4$, y los valores de las concentraciones de $H_2O_2=600$ mg/l y $Fe^{+2}=1,000$ mg/l. Se concluye que se logró alcanzar una remoción promedio de materia orgánica, medida como DQO, de 78%, y medida como COT, del 87%. Para obtener los resultados finales, en nuestra investigación se trabajó bajo dos condiciones, uno en medio alcalino y otro en medio ácido, de este último podemos indicar que a fin de conocer eficiencias comparativas se trabajó con concentraciones al 25 y 50% de H_2O_2 , y 10 g/l de Fe^{+2} , obteniendo resultados del 87.4, 88.0, 88.3, 88.7 y 89.4 % para los trabajados al 25% de oxidante, y del 90.0, 90.5, 91.0, 91.3 y 91.8 para los trabajados al 50%.

Ticona (2023) en su artículo de investigación denominado “*Tratamiento de los lixiviados de residuos sólidos en las celdas de Huanuyo mediante oxidación avanzada foto-fenton*” decidieron tener como objetivo principal el contribuir con una propuesta de tratamiento de lixiviados que cumpla con características de efectividad y optimización por las características de la zona en la cual se decidió realizar el estudio. Es así como el hallazgo principal fue el siguiente: las condiciones óptimas del proceso de oxidación avanzada mostraron una remoción máxima de 83.29% y una remoción mínima de 64.04 %, siendo estas una dosis de 15 ml/L de H_2O_2 y 2000 mg/L de Fe^{2+} , un pH de 4 y tiempo de contacto UV de 30 minutos. En contraste con nuestra investigación, los medios

considerados para los ensayos fueron desarrollados en condiciones alcalinas y acidas, en el medio alcalino se trabajó con un pH de 7.6 y concentraciones de peróxido de hidrogeno al 25 y 50%, obteniéndose una dosis óptima de 5 ml para ambos casos, llegando a remover niveles de DQO desde concentraciones iniciales de 4896 mg/l hasta valores finales de 1932 y 1843 mg/l, alcanzando eficiencias del 60.5 y 62.4% respectivamente. En el medio acido se trabajó con pH de 3.5, donde la dosis óptima de peróxido de hidrogeno con concentraciones al 25 y 50% fue de 5 ml para ambos casos, llegando a remover niveles de DQO desde concentraciones iniciales de 4896 mg/l hasta valores finales de 521 y 402 mg/l, alcanzando eficiencias del 89.4 y 91.8%.

VI. CONCLUSIONES

- a. De acuerdo con el primer objetivo planteado se concluye que los parámetros determinados inicialmente en el lixiviado se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles de acuerdo con la norma “Norma de Descargas Líquidas a cuerpos de Agua o al Sistema de Alcantarillado Sanitario” de Ecuador.
- b. Con relación al segundo objetivo planteado se concluye que la remoción de la DQO en medio alcalino con una concentración inicial de 4896 mg/l, se redujo hasta 1932 y 1843 mg/l utilizando una dosis de 5 ml de oxidante al 25 y 50%, mientras que en medio ácido se llegó hasta niveles máximos de reducción de 521 y 402 mg/l.
- c. Se concluye que la remoción de la DBO en medio alcalino con una concentración inicial de 862 mg/l, se redujo hasta 636 y 389 mg/l utilizando una dosis de 5 ml de oxidante al 25 y 50%, mientras que en medio ácido se llegó hasta niveles máximos de reducción de 325 y 238 mg/l.
- d. Del tercer objetivo se concluye que para una concentración de oxidante al 50% las máximas eficiencias alcanzadas para la remoción de la DQO en medio alcalino fueron en el orden del 55.2, 57.1, 59.1, 61.7 y 62.4 %, mientras que para el medio ácido fue del 90, 90.5, 91, 91.3 y 91.8 %.
- e. Se concluye que para una concentración de oxidante al 50% las máximas eficiencias alcanzadas para la remoción de la DBO en medio alcalino fueron en el orden del 27.0, 28.4, 30.5, 42.5 y 54.9 %, mientras que para el medio ácido fue del 48.0, 53.0, 56.8, 61.0 y 72.4 %.

VII. RECOMENDACIONES

- a. A fin de mejorar las dosis óptimas y obtener mayores eficiencias para remover concentraciones elevadas de DQO y DBO en los lixiviados, se recomienda realizar ensayos con otras concentraciones de oxidantes, diferentes a las trabajadas en la presente investigación.
- b. Se recomienda utilizar la técnica de la presente investigación para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios que contengan concentraciones elevadas de DQO y DBO y complementarlas a fin de alcanzar los Límites Máximos Permisibles.
- c. Se recomienda para futuras investigaciones modificar las variables de análisis como el tiempo, temperatura, pH, concentración y volumen, a fin de conocer posibles cambios en cuanto a la dosis óptima para la remoción de la DQO y DBO.
- d. Se recomienda al sector competente elaborar un límite máximo permisible para el caso de lixiviados de rellenos sanitarios, quien en elevadas concentraciones presenta cierto grado de toxicidad para la salud de las personas y medio ambiente.

VIII. REFERENCIAS

- Aguilar, S. (2019). *Validación del método de calcinación en la determinación del contenido de la materia orgánica del suelo*. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4154/aguilarsilva-sumiry-yuleysi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ainia (30 de diciembre de 2013). *Oxidación avanzada, alternativa para la eliminación de contaminantes emergentes en aguas*. Club Iagua. <https://www.iagua.es/blogs/ainia/oxidacion-avanzada-alternativa-para-la-eliminacion-de-contaminantes-emergentes-en-aguas>
- Akino, Y. (07 de junio de 2013). *¿A dónde van nuestros desechos?: El problema de la disposición de los residuos sólidos en el Perú*. RPP. <https://rpp.pe/campanas/valor-compartido/a-donde-van-nuestros-desechos-el-problema-de-la-disposicion-de-los-residuos-solidos-en-el-peru-noticia-1485240?ref=rpp>
- Alcores S.A.C. (s.f.). *Relleno Sanitario “El Zapallal”*. <https://alcoressac.com.pe/>
- Andina (14 de diciembre de 2019). Puno: expertos tratan alternativas para recuperación ambiental del lago Titicaca. *Andina*. <https://andina.pe/agencia/noticia-puno-expertos-tratan-alternativas-para-recuperacion-ambiental-del-lago-titicaca-778346.aspx>
- Apaza, D. (2015). *Remoción de metales plomo (Pb) y zinc (Zn) de las aguas del río T'oro Q'ocha por precipitación en la ciudad de Juliaca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional UNAP. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1774/Apaza_Asqui_Derly_Willer.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Aquanova (7 de abril de 2020). *¿Qué es la DBO y DQO?*. Aquanova: Tratamiento de aguas y análisis químicos. https://aquanova.es/que-es-el-dbo-y-dqo/#2_QUE_es_la_DBO_en_el_agua
- Arbeláez, M. y García, J. (2010). *Estudio de las Tecnologías Empleadas para el Manejo de Lixiviados y su Aplicabilidad en el Medio*. [Tesis de pregrado, Universidad Eafit]. Repositorio Institucional Eafit. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4284/ManuelaArbelaez_JuanGarcia_2010.pdf;jsessionid=E79A4D4BF4A27294F99C3B5430B81983?sequence=1
- Asaithambi, P., Govindarajan, R., Yesuf, M. y Alemayehu, E. (2020). Removal of color, COD and determination of power consumption from landfill leachate wastewater using an electrochemical advanced oxidation processes. *Separation and Purification Technology*, 233, p. 115935. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115935>
- Ateş, H., y Argun, M. (2021). Advanced oxidation of landfill leachate: Removal of micropollutants and identification of by-products. *Journal of Hazardous Materials*, 413, p. 125326. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125326>
- Baldeón, H. (2020). *Oxidación avanzada de aguas residuales del relleno sanitario Naranjito Del Cantón San José De Chimbo, Provincia De Bolívar* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio Institucional CIA. https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/BALDEON%20CAMACHO%20HUGO%20FERNANDO_opt_opt_compressed.pdf
- Chávez, W. (2011). *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario de la Cd. de Chihuahua, Méx.* [Tesis de maestría, Centro de Investigación en Materiales Avanzados]. Repositorio Institucional CIMAV.

<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/403/1/Tesis%20Wendy%20Margarita%20Ch%C3%A1vez%20Montes.pdf>

Chen, G., Wu, G., Li, N., Lu, X., Zhao, J., He, M., Yan, B., Zhang, H., Duan, X., y Wang, S. (2021). Landfill leachate treatment by persulphate related advanced oxidation technologies. *Journal of Hazardous Materials*, 418, p. 126355.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126355>

Constitución Política del Perú [Const] Art. 2, 29 de diciembre de 1993 (Perú).
<https://www.web.onpe.gob.pe/modElecciones/elecciones/MarcoLegal/constitucion-politica-peru-1993.pdf>

Decreto Legislativo N° 635. (3 de abril de 1991). Código Penal. Diario Oficial El Peruano.
https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/C7741E3A8C2FB92005257A77007FAD8D/%24FILE/CODIGO_PENAL.pdf

Decreto Supremo N° 057-2004-PCM. (24 de julio de 2004). Reglamento de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos. Diario Oficial El Peruano.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2310527/Decreto%20Supremo%20N%C2%BA%20057-2004-PCM.pdf?v=1635201061>

Delgado, D. y Santander, N. (2017). *Remoción de coloración de tintes de teñido en aguas residuales de la industria textil, utilizando Procesos de Oxidación Avanzada (POA)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Altiplano
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4227>

De la Cruz, N. (2013). *Estudio de la Eliminación de Contaminantes Emergentes en agua mediante procesos de Oxidación Avanzada*. [Tesis de doctorado, Universidad de Barcelona]. Repositorio Institucional de la Universidad de Barcelona.

https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/308120/NDLCLG_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Farfán, A. (2017) Tratamiento de aguas residuales de una empresa farmacéutica por oxidación avanzada-Lima 2017. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
Repositorio Institucional UCV.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/9928/Farf%C3%A1n_AAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Farquhar, G. (1988). Leachate: production and characterization. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 16(3), pp. 317-325. <https://doi.org/10.1139/189-057>

GilPavas, E. (2011). *Procesos avanzados de oxidación para el tratamiento de residuos líquidos peligrosos procedentes de los laboratorios de Ingeniería de Procesos*. [Tesis de pregrado, Universidad Eafit]. Repositorio Institucional Eafit.

<https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernos-investigacion/article/view/1348/1219>

He, P., Chen, L., Shao, L., Zhang, H., y Lü, F. (2019). Municipal solid waste (MSW) landfill: A source of microplastics? -Evidence of microplastics in landfill leachate. *Water Research*, 159, pp. 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.04.060>

Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>

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*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. Repositorio Institucional Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.

<http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1227/EFFECTO%20DE%20LA%20OXIDACION%20FENTON%20SOBRE%20LA%20MATERIA%20ORGANICA%20DE%20LOS%20LIXIVIADOS%20DE%20LA%20INFRAESTRUCTURA%20Y%20DISPOSICIONES%20FINALES%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS%20DE%20CAJAMARCA%20202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ley N° 26842. (9 de julio de 1997). Ley General de Salud. Diario Oficial El Peruano.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/284868/ley-general-de-salud.pdf?v=1572397294>

Ley N° 27314. Ley General de Residuos Sólidos. (20 de julio de 2000). Diario Oficial El Peruano.

<https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/1519.pdf>

Ley N.º 28611. Ley General del Ambiente (13 de octubre de 2005). Diario Oficial El Peruano.

https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ley_n-28611.pdf

Mahtab, M., Islam, D., y Farooqi, I. (2021) Optimization of the process variables for landfill leachate treatment using Fenton based advanced oxidation technique. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(2), pp. 428-435. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.08.013>

Marelli, P. (2020). *La gestión de los residuos sólidos del relleno sanitario “El Zapallo” como recurso sostenible de desarrollo social para Carabayllo, 2020* [Tesis de posgrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional 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

- Mayorca, N. (2016). *Diagnóstico rápido del Botadero Municipal San Juan de Tulumayo, distrito de San Ramón, Chanchamayo, Junín, Perú – 2015*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria de la Selva. https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/DIAGNOSTICO%20DE%20BOTADERO..pdf
- Méndez, R., García, R., Castillo, E. y Sauri, M. (2010). Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton. *Ingeniería e Investigación*, 30(1), pp. 80-85. <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a14.pdf>
- Ministerio del Ambiente [MINAM] (2010). *Compendio de la legislación ambiental peruana* (1ª ed., vol. 5). Dirección general de políticas, normas e instrumentos de gestión ambiental del Ministerio del Ambiente. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/compendio_05_-_calidad_ambiental_2.pdf
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (21 de febrero de 2023). El OEFA supervisa al relleno sanitario El Zapallal en Carabayllo. *Gobierno del Perú*. <https://www.gob.pe/institucion/oeфа/noticias/716171-el-oeфа-supervisa-al-relleno-sanitario-el-zapallal-en-carabayllo>
- Orozco, V. (2018). *Determinación de lixiviados de relleno sanitario de San Ramón y selección de su sistema de tratamiento*. [Tesis de pregrado, Universidad tecnológica de Costa Rica]. Repositorio Institucional Universidad Tecnológica de Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11164/determinacion_lxiv_iados_relleno_sanitario.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Palacios, Í. y Moreno, D. (2022). Contaminación. *Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 6(2), pp. 93-103.
<https://recimundo.com/index.php/es/article/view/1545/1979>
- Porta, J., López, M. y Roquero, C. (2010). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi Prensa.
- Primo, O. (2008). *Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de su mediante procesos de oxidación avanzada*. [Tesis de doctorado, Universidad de Cantabria]. Repositorio Institucional Universidad de Cantabria.
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10692/4de8.OPMcap.4.pdf?sequence=5>
- Real Academia Española (s.f.). *Eficiencia*. Diccionario de la lengua española. (23va edición). <https://dle.rae.es/eficiencia>
- Román, M. y Martínez, R. (2017). *Estudio del Proceso de Oxidación Avanzada por medio de la reacción Fenton en Aguas Residuales Provenientes de Plantas Extractoras de Oro*. [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional Universidad de Guayaquil.
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20469/1/401-1261%20pdf>
- Roque, L. y Mendoza, A. (2003). *Apuntes para un Diagnóstico Urbano Ambiental en Lomas de Carabayllo*. Centro de Investigación, Documentación y Asesoría Poblacional. <https://cidap.org.pe/wp-content/uploads/63148152-Apuntes-para-un-Diagnostico-Urbano-Ambiental-en-Lomas-de-Carabayllo-1.pdf>
- Salas, G. y Ale, N. (2008). Tratamiento de las Aguas Residuales de una Refinería de Petróleo por Oxidación Avanzada (AOX), usando el Reactivo Fenton (H₂O₂/Fe²⁺). *Revista Peruana Química e Ing. Química*. 11(2), pp. 12-18.

<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/download/4616/3721/0>

Santiago, J. (2023). *Remoción de nitrógeno total por oxidación avanzada en lixiviados del relleno sanitario "El Zapallal", Carabayllo, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/7520>

Segura, Á., Rojas, L. y Pulido, Y. (2020). Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos. *Espacios*, 41(17), pp. 1-9. <https://ww.revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p22.pdf>

Sociedad LR. (15 de octubre de 2021). La deuda pendiente del Perú con la gestión de la basura: 47% de residuos quedan en calles y ríos. *La República*. <https://larepublica.pe/sociedad/2021/10/15/la-deuda-pendiente-del-peru-con-la-gestion-de-la-basura-47-de-residuos-quedan-en-calles-y-rios-minam>

Ticona, J y Pineda, J. (2023). Tratamiento de los lixiviados de residuos sólidos en las celdas de Huanuyo mediante oxidación avanzada foto-fenton. *ÑAWPARISUN*, 4(3), pp. 1-8. <https://unaj.edu.pe/revista/index.php/vpin/article/view/268/168>

Tito, J. y Ore, L. (2020). Degradación de la carga orgánica de lixiviado maduro mediante proceso de oxidación avanzada H₂O₂/UV/TiO₂ en reactor anular, Junín – Perú. *Llamkasun*, 1(3), pp. 63-81. <https://llamkasun.unat.edu.pe/index.php/revista/article/view/22/28>

Torres, P., Barba, L., Ojeda, C., Martínez, J. y Castaño, Y. (2014). Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición fisicoquímica y su potencial de toxicidad. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1), pp. 245-255. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-

[42262014000100027#:~:text=Los%20lixiviados%20son%20subproductos%20de,su%20relaci%C3%B3n%20con%20la%20toxicidad.](#)

Valderrama, C., Montero, E. y Cruz, L. (2016). Optimización del proceso Fenton en el Tratamiento de lixiviados de Rellenos Sanitarios. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(4), 454 - 466.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n4/a07v82n4.pdf>

Zevallos, B. (26 de marzo de 2023). No va más: relleno sanitario “El Zapallal” es historia. *SUDACA*. <https://sudaca.pe/noticia/informes/benjamin-zevallos-no-va-mas-relleno-sanitario-el-zapallal-es-historia/>

Zuloaga, L. (2017). *Laboratorio N°02: Visita técnica a relleno sanitario “El Zapallal”*. Universidad Nacional de Ingeniería
<https://es.scribd.com/document/358561214/VISITA-A-RS-ZAPALLAL#>

IX. ANEXOS

Anexo A.

Matriz de consistencia

Tabla 32

Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo será el tratamiento de lixiviados por Procesos de Oxidación Avanzada del relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo, 2023?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>1.¿Cómo será la caracterización de los parámetros fisicoquímicos en el lixiviado del relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo?</p> <p>2.¿Cuál será la dosis óptima del oxidante que asegure el mejor tratamiento del lixiviado generado por el relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo?</p> <p>3.¿Cuál es la eficiencia del oxidante que asegure el mejor tratamiento del lixiviado generado por el relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Aplicar un método por procesos de oxidación avanzada para el tratamiento de lixiviados generado por el relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo, 2023.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La aplicación del método por procesos de oxidación avanzada permitirá tratar eficientemente el lixiviado del relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo, 2023.</p>	<p>Variable Independiente</p>	<p>La Oxidación Avanzada son procesos fisicoquímicos capaces de modificar la estructura química de los contaminantes, este proceso consiste en generar especies fuertemente oxidantes como los radicales (OH.) que actúan como iniciadores de oxidación (Mayorca, 2017)</p>	<p>La oxidación avanzada se evaluará de acuerdo a un proceso de tratamiento de lixiviados reduciendo la concentración de agentes contaminantes presentes, en el cual se emplea una sustancia oxidante (H2O2) y una sal (FeSO4) para lograr un eficiente tratamiento, esto está en función a la dosificación, tiempo, velocidad de reacción.</p>	<p>PARÁMETROS DE CONTROL</p>	<p>Concentración</p>	<p>mg/l</p>
	<p>Objetivos Específicos</p> <p>1.Caracterizar los parámetros fisicoquímicos en el lixiviado del relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo.</p> <p>2.Determinar la dosis óptima del reactivo oxidante que asegure el mejor tratamiento del lixiviado generado por el botadero controlado relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo.</p> <p>3.Determinar la eficiencia del reactivo oxidante que asegure el mejor tratamiento del lixiviado generado por el relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo, 2023.</p>	<p>Hipótesis Específicos</p> <p>1.Los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los límites máximos permisibles en el lixiviados del relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo.</p> <p>2.El reactivo oxidante presenta una dosis óptima de acuerdo a su concentración en el tratamiento del lixiviado generado por el relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo.</p> <p>3.El reactivo oxidante actúa con una elevada eficiencia en el tratamiento del lixiviado generado por el relleno sanitario “El Zapallal”, Carabayllo, 2023.</p>	<p>Proceso de Oxidación Avanzada.</p>	<p>Variable Dependiente</p>	<p>El tratamiento de los lixiviados consiste en realizar operaciones o procesos para lograr remover la mayoría de los contaminantes antes de su disposición en un cuerpo receptor. Para esto es indispensable saber el volumen y poder contaminante de los lixiviados, su composición y características (Orozco, 2018)</p>		<p>Los lixiviados serán evaluados en función de sus parámetros fisicoquímicos quienes presentan una gran cantidad de contaminantes los cuales son clasificados en 4 categorías principales: materia orgánica disuelta, compuestos inorgánicos, metales pesados y sustancias orgánicas xenobióticas.</p>	<p>DQO</p>
			<p>Tratamiento de Lixiviado</p>			<p>PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS</p>	<p>DBO</p>	<p>mg/l</p>
							<p>pH</p>	<p>Unidad de pH</p>
							<p>NT</p>	<p>mg/l</p>
							<p>PT</p>	<p>mg/l</p>
							<p>SST</p>	<p>mg/l</p>
							<p>CE</p>	<p>uS/cm</p>
							<p>AyG</p>	<p>mg/l</p>
							<p>Eficiencia</p>	<p>%</p>

Anexo B.
Panel Fotográfico

FOTOGRAFÍA N° 1



El proceso comenzó con la preparación del oxidante químico a partir de H_2O_2 al 25 y 50% de concentración, y del catalizador de $FeSO_4$ al 1%, los cuales sirvieron como patrón o estándar de referencia para la preparación de las dosis que fueron utilizadas en cada una de las jarras a ensayar.

FOTOGRAFÍA N° 2



Se muestra las pruebas en el floculador programable, trabajando a 200 rpm, por un tiempo de veinte minutos y toma de muestras del sobrenadante.

FOTOGRAFÍA N° 3



Determinación de los parámetros fisicoquímicos para el análisis final.