

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO FENTON PARA EL TRATAMIENTO DE
LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO ITAPALLUNI – PUNO 2023**

PRESENTADA POR:

JOSE GUILLERMO ALAVE CASTILLO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO - PERÚ

2024



Repositorio Institucional ALCIRA by Universidad Privada San Carlos is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



7.85%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 8 AUG 2024, 12:28 PM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
1.08%

● CHANGED TEXT
6.76%

Report #22378847

JOSE GUILLERMO ALAVE CASTILLO // OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO FENTON PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO ITAPALLUNI – PUNO 202

3 RESUMEN La investigación plantea como objetivo principal : Optimizar el proceso fenton para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno., siendo una investigación de tipo aplicada, diseño experimental, método hipotético deductivo. La muestra fue hallada en 3 recipientes de 25 litros de las pozas de almacenamiento del relleno sanitario Itapalluni, luego trabajados en tres reactivos con distintas dosis en 3 tiempos de medición, en los cuales se obtuvo un total de 9 muestras cada uno con 2 réplicas sumando 27 muestras tomadas. La técnica de recolección de datos fue la observación cuyo instrumento es una guía de observación. El diseño estadístico se realizó mediante prueba de análisis ANOVA (Tukey) para lo cual se utilizó el programa Minitab 18, demostrando en los resultados que la dosis óptima de los reactivos en el proceso fenton fue de 16 ml/L de Hidróxido de Potasio (KOH), 20 ml/L de Sulfato férrico (FeSO₄), 53 ml/L de Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂) alcanzando un índice de biodegradabilidad de 0.4689. Concluyendo que: El proceso fenton para el tratamiento de lixiviados se optimizó con una dosis 3 a los 28 días como elementos óptimos en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno. Palabras clave: Hidróxido de potasio, peróxido de hidrógeno, proceso fenton, sulfato férrico

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO FENTON PARA EL TRATAMIENTO DE
LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO ITAPALLUNI – PUNO 2023**

PRESENTADA POR:

JOSE GUILLERMO ALAVE CASTILLO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

PRIMER MIEMBRO

: 
M.Sc. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS

: 
Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

Área: Ingeniería ,Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Línea de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 13 de agosto del 2024

DEDICATORIA

Con mucho amor y respeto a Dios por concederme la vida, por guiar mis pasos a cada momento, por darme sabiduría y protección durante la realización de este proyecto de investigación y por seguir permitiéndole gozar de vida y salud.

Con infinito agradecimiento a mis padres Juan y Agustina por todo el apoyo prestado durante este proceso de investigación por guiarme a cada momento, por alentarme a seguir adelante celebrando cada logro en mi vida profesional, y su apoyo emocional y económico durante el transcurso de mi carrera profesional.

Con mucho amor a mi compañera de vida Maricielo y mi hijo Jhosep Leonel por ser un soporte durante todo este proceso, por brindarme su apoyo incondicional durante la ejecución de tesis.

Con inmenso afecto a toda mi familia, Hermanos, sobrinos, amigos por alentarme en los momentos más difíciles por guiarme; les estoy eternamente agradecido a cada uno de ustedes.

José Guillermo Alave Castillo

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud y reconocimiento:

A la Universidad Privada San Carlos- Puno por formarme profesionalmente y haberme acogido durante los cinco años de estudio.

Con profundo cariño a mi Asesora: Mg. Elvira Anani Durand Goyzueta por su constante orientación, apoyo, comprensión y acertados consejos durante el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

Un profundo agradecimiento a los miembros del jurado: Mg Katia Elizabeth Andrade Linarez, M.Sc. Julio Wilfredo Cano Ojeda, M.Sc Marlene Cusi Montesinos. Por brindarme su valioso tiempo, sus acertadas correcciones, orientación y consejos para el desarrollo de mi tesis.

José Guillermo Alave Castillo

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. Problema General	14
1.1.2. Problemas Específicos	15
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. Antecedentes Internacionales	15
1.2.2. Antecedentes Nacionales	17
1.2.3. Antecedentes Locales	19
1.3. OBJETIVOS	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	21
2.1.1. Relleno Sanitarios	21
	3

2.1.2. Generación de Lixiviados	21
2.1.3 Composición de Lixiviados	22
2.1.4. Parámetros de Lixiviados	23
2.1.5. Proceso de Lixiviación de rellenos sanitarios	25
2.1.6. Tratamiento de Lixiviados de rellenos sanitarios	25
2.1.7. Procesos de oxidación avanzada (Poas)	26
2.1.8. Proceso fenton	27
2.1.9. Ventajas y desventajas del proceso fenton	28
2.1.10. Dosificación del fenton	28
2.1.11. LMP para efluentes de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas	29
2.1.12. Influencia de la concentración del agente oxidante y catalítico	29
2.1.13. Influencia del tiempo con el reactivo	30
2.1.14. Influencia del Potencial de hidrógeno (pH)	30
2.1.15. Influencia de la temperatura	31
2.1.16. Reactivos para el proceso fenton	31
2.2. MARCO CONCEPTUAL	32
2.3. MARCO LEGAL	33
2.4. HIPÓTESIS	35
2.4.1. Hipótesis general	35
2.4.2. Hipótesis específicas	35
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	36
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	38
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	39
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	40
3.4.1. Operacionalización de variables	40

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	40
3.5.1. Técnicas de Análisis	40
3.5.2. Procedimiento por objetivo específico	41
CAPÍTULO IV	
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1 RESULTADOS GENERALES	43
4.2 RESULTADOS POR OBJETIVO ESPECÍFICO	46
4.2.1 Determinación de la dosis óptima de los reactivos en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.	46
4.2.2 Determinación del tiempo óptimo de contacto del reactivo en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.	50
4.2.3 Identificar el valor óptimo del pH en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.	53
4.2.4 Cálculo del índice de biodegradabilidad en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno. La biodegradabilidad en aguas residuales se refiere a la capacidad de los compuestos orgánicos presentes en el agua de degradarse mediante procesos biológicos. Es fundamental para evaluar la posibilidad de tratamiento biológico. Los compuestos biodegradables pueden ser descompuestos por microorganismos, mientras que los no biodegradables persisten en el medio ambiente.	56
4.3 DISCUSIÓN	57
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	71

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas Residuales Domésticas o Municipales	29
Tabla 02: Coordenadas georeferenciales del lugar de estudio	37
Tabla 03: Muestra de tratamientos	39
Tabla 04: Resultados de las propiedades fisicoquímicas del primer tratamiento	43
Tabla 05: Resultados de las propiedades fisicoquímicas del segundo tratamiento	45
Tabla 06: Resultados de las propiedades fisicoquímicas del tercer tratamiento	46
Tabla 07: Análisis de varianza de la dosis óptima de los reactivos en las propiedades fisicoquímicas	47
Tabla 08: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 99% de la dosis óptima en las propiedades fisicoquímicas	48
Tabla 09: Análisis de varianza del tiempo óptimo de los reactivos en las propiedades fisicoquímicas	50
Tabla 10: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 99% del tiempo óptimo en las propiedades fisicoquímicas	51
Tabla 11: Comportamiento de promedios pH en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados según el tiempo.	53
Tabla 12: Análisis de varianza del tiempo óptimo de los reactivos en el pH de aguas residuales en el proceso fenton	54
Tabla 13: Cálculo de Índice de biodegradabilidad del proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Generación de lixiviados	22
Figura 02: Clasificación de los procesos de oxidación avanzada	27
Figura 03: Ubicación del relleno sanitario del sector Itapalluni	38
Figura 04: Gráfica de intervalos de índice de biodegradabilidad con la dosis óptima en el proceso fenton	49
Figura 05: Comportamiento de dosis y tiempo en el proceso de obtención del índice de biodegradabilidad del proceso fenton	52
Figura 06: Gráfica de intervalos de pH de aguas residuales con el tiempo óptimo en el proceso fenton	54
Figura 07: Comportamiento de dosis y tiempo en el proceso de obtención de pH óptimo del agua residual del proceso fenton	55
Figura 08: Mejora del índice de biodegradabilidad según el tiempo y dosis en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni	57

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia.Optimización del Proceso Fenton para el Tratamiento de Lixiviados en el Relleno Sanitario Itapalluni – Puno 2023	72
Anexo 02: Instrumento de recolección de datos	73
Anexo 03: Fichas técnicas de los reactivos	73
Anexo 04: Resultados de laboratorio	80
Anexo 05: Datos recolectados con guía de observación a los informes de ensayo	87
Anexo 06: Procesamiento de datos en Minitab 18	90

RESUMEN

La investigación plantea como objetivo principal : Optimizar el proceso fenton para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno., siendo una investigación de tipo aplicada, diseño experimental, método hipotético deductivo. La muestra fue hallada en 3 recipientes de 25 litros de las pozas de almacenamiento del relleno sanitario Itapalluni, luego trabajados en tres reactivos con distintas dosis en 3 tiempos de medición, en los cuales se obtuvo un total de 9 muestras cada uno con 2 réplicas sumando 27 muestras tomadas. La técnica de recolección de datos fue la observación cuyo instrumento es una guía de observación. El diseño estadístico se realizó mediante prueba de análisis ANOVA (Tukey) para lo cual se utilizó el programa Minitab 18, demostrando en los resultados que la dosis óptima de los reactivos en el proceso fenton fue de 16 ml/L de Hidróxido de Potasio (KOH), 20 ml/L de Sulfato férrico (FeSO_4), 53 ml/L de Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) alcanzando un índice de biodegradabilidad de 0.4689. Concluyendo que: El proceso fenton para el tratamiento de lixiviados se optimizó con una dosis 3 a los 28 días como elementos óptimos en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.

Palabras clave: Hidróxido de potasio, Peróxido de hidrógeno, Proceso fenton, Sulfato férrico

ABSTRACT

The general objective of the research is to optimize the fenton process for leachate treatment in the Itapalluni Puno sanitary landfill, being an applied research, experimental design, hypothetical deductive method. The sample was found in three containers of twenty-five liters from the storage ponds of the Itapalluni sanitary landfill, then worked in three reagents with different doses in three measurement times, in which a total of 9 samples were obtained each one with 2 replicates totaling 27 samples taken. The data collection technique was observation, the instrument of which was an observation guide. The statistical design was carried out by means of ANOVA analysis test (Tukey) for which the Minitab 18 program was used, demonstrating in the results that the optimum dose of the reagents in the fenton process was 16 ml/L of Potassium Hydroxide (KOH), 20 ml/L of Ferric Sulfate (FeSO_4), 53 ml/L of Hydrogen Peroxide (H_2O_2) reaching a biodegradability index of 0.4689. Conclusion: the fenton process for leachate treatment was optimized with a dose of three at 28 days as optimal elements in the treatment of leachate in the Itapalluni - Puno sanitary landfill.

Keywords: Fenton process, Ferric Sulfate, Hydrogen Peroxide, Potassium Hydroxide

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de lixiviados de vertedero, una corriente de aguas residuales altamente compleja que contiene una variedad de compuestos orgánicos recalcitrantes y metales pesados, ha sido un reto de larga data para los investigadores y profesionales del medio ambiente (Wang et al., 2009). La gestión eficaz de los lixiviados es crucial para mitigar el impacto ambiental de los vertederos y garantizar la protección de los recursos hídricos superficiales y subterráneos cercanos (Martinho & Santos, 2011)

El tratamiento adecuado de los lixiviados, que son los líquidos generados por la descomposición de residuos en vertederos, es crucial para minimizar su impacto ambiental. La tesis titulada “Optimización del Proceso Fenton para el Tratamiento de Lixiviados en el Relleno Sanitario Itapalluni – Puno 2023” se centra en mejorar la eficiencia del proceso Fenton para tratar estos efluentes en el relleno sanitario Itapalluni, ubicado en Puno. El objetivo general de esta investigación es optimizar el proceso Fenton, un método avanzado de oxidación química, para reducir la carga contaminante de los lixiviados. Para lograrlo, se emplearon tres reactivos clave, los cuales son el Hidróxido de Potasio (KOH): A una concentración de 16 ml/L, el KOH se utilizó como catalizador para activar el proceso Fenton y mejorar la degradación de los contaminantes orgánicos. Sulfato Férrico (FeSO_4): Con una dosis de 20 ml/L, el FeSO_4 actúa como fuente de iones de hierro (Fe^{2+}) que participan en la formación de radicales hidroxilos ($\bullet\text{OH}$) durante la reacción Fenton. Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2): A una concentración de 53 ml/L, el H_2O_2 proporciona los radicales OH necesarios para la oxidación de los compuestos orgánicos presentes en los lixiviados. El índice de biodegradabilidad alcanzado, que se sitúa en 0.4689, es un indicador clave del éxito del proceso. Este estudio contribuye al manejo sostenible de los lixiviados y a la protección del medio ambiente local.

Un enfoque prometedor para el tratamiento de lixiviados de vertedero es el proceso Fenton, una técnica de oxidación avanzada que utiliza una combinación de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) e iones ferrosos (Fe^{2+}) para generar radicales hidroxilos altamente reactivos capaces de degradar una amplia gama de contaminantes orgánicos (Bautista et al., 2008). Varios estudios han demostrado la eficacia del proceso Fenton para reducir la demanda química de oxígeno (DQO), mejorar la biodegradabilidad y eliminar compuestos recalcitrantes y tóxicos de los lixiviados de vertedero (Singa et al., 2018)

Basado en el reglamento de investigación se presenta bajo la estructura siguiente:

Capítulo I: Planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación

Capítulo II: Marco teórico, conceptual e hipótesis de la investigación

Capítulo III: Metodología de la investigación

Capítulo IV: Exposición y análisis de los resultados según objetivos del estudio

Finalmente, se presenta las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento poblacional y económico, ha conllevado a la generación de grandes cantidades de residuos sólidos municipales dispuestos en lugares inadecuados. Así mismo su disposición final en la etapa en la gestión de los residuos sólidos municipales, representa un desafío cada vez más complejo y creciente a nivel internacional.

A pesar de destinar mayores presupuestos económicos, es insuficiente la inversión en reducir la generación de residuos sólidos y evitar la contaminación de suelos, ríos y mares por su inadecuado manejo, más aún en las ciudades y centros poblados el aglomeramiento de residuos sólidos en sitios no apropiados, que no tienen autorización y ponen en riesgo la salud y calidad ambiental, principalmente aguas subterráneas y medio acuático, por la presencia de lixiviados.

El inadecuado manejo da pase a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas (acuíferos) ocasionado por los lixiviados se centra en el transporte de los contaminantes en el ambiente obedece a las propiedades físicas y químicas del lixiviado, a la permeabilidad del suelo y demás propiedades hidrogeológicas del área afectada (Cadavid et al., 2022).

La ciudad de Puno no es ajena a este problema de residuos sólidos la cual se desarrolla a orillas del lago Titicaca, tiene una población estimada de 135 288 habitantes y una densidad poblacional de 60,8 habitantes/km² . Rodeada de geoformas positivas y

negativas con cotas que van desde los 3 812 a 4050 m.s.n.m., lo cual dificulta en cierta manera el manejo de los residuos sólidos (Tumi, 2016)

La cuantía de generación de los residuos sólidos en la ciudad de Puno, son vertidos de una manera creciente y sin control al relleno sanitario de Puno que se encuentra ubicado en la zona Suroeste del cerro Cancharani – PUNO y debido al líquido contenido en los residuos orgánicos y a las lluvias es que se produce al líquido conocido como lixiviado, quedando de esa manera altamente contaminada. Este agua se denomina lixiviado, y es uno de los líquidos más contaminados y contaminantes que se conozcan. De no recogerse adecuadamente y luego tratar, el lixiviado puede contaminar a su vez aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos. Por esta razón, y para evitar que esto ocurra, los rellenos sanitarios se impermeabilizan, se drenan apropiadamente y los lixiviados recogidos por estos drenajes, se deben tratar.

El impacto ambiental sobre el medio físico en el componente hídrico que los lixiviados que se generan en los sitios de disposición de desechos sólidos urbanos, se debe a las altas concentraciones de contaminantes orgánicos, nitrógeno amoniacal, ácidos orgánicos, sales metálicas y metales pesados que posee el líquido contaminante, que al ser introducidos a la naturaleza afectan y modifican el normal funcionamiento de micro y macro ecosistemas, alterando el ciclo de la vida trófica, cadena que se basa en las relaciones alimenticias.

La ciudad de Puno se desarrolla a orillas del lago Titicaca, tiene una población estimada en 111 722 habitantes y una densidad poblacional de 60,8 habitantes/km² . Rodeada de geoformas positivas y negativas con cotas que van desde los 3812 a 4050 m.s.n.m., lo cual dificulta en cierta manera el manejo de los residuos sólidos.

1.1.1. Problema General

¿Cómo es el proceso fenton para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno?

1.1.2. Problemas Específicos

¿Cuál es la dosis óptima de los reactivos en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno?

¿Cuál es el tiempo óptimo de contacto del reactivo en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno?

¿Identificar el valor óptimo del pH en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Puno?

¿Cuál es el índice de biodegradabilidad en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. Antecedentes Internacionales

Díaz, et al. (2021), realizó un estudio denominado “Tratamiento del lixiviado de un relleno sanitario utilizando oxidaciones avanzadas combinadas” cuyo objetivo fue describir los resultados de un una serie de tratamientos de los lixiviados procedentes del relleno sanitario del CEMIRE Querétaro a través de la oxidación fenton, desarrollado de la metodología experimental, donde se recolectó tres muestras de cuatro lagunas, los cuales fueron analizaron considerando la norma NMZ – AA – 003 – 1980, llegando a resultados siguientes: se encontró que las lixiviaciones estabilizados, es decir lo que demostraron tener pH superior a 8 poseen una composición con complejidad mayor, debido que poseen lo que es requerido emplear oxidaciones fuertes como es el caso del proceso Fenton, en la cual se evidencia en el caso de los lixiviados de este estudio tuvieron eficiencia en un 80%, posterior a la oxidación a través del proceso de Fenton se desarrolló un proceso en solo paso combinando ozono y UV, resultando tener un rendimiento adecuado debido que se completó la degradación del material orgánico de los lixiviados, concluyendo que se realizó oxidaciones de lixiviados del relleno sanitario que en primer instante fue a través de la reacción Fenton y se completó la degradación combinando Ozono-UV, logrando disminución de 14,421.63 mg/L desde la oxidación del lixiviado crudo hasta la oxidación O3-UV, alcanzado un 96.50% de eficiencia.

León, et al. (2020), realizaron un estudio donde “determinó la eficiencia del proceso fenton en el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario Porlón de la ciudad de Riobamba Ecuador” estudio elaborado desde la metodología analíticos y cuasiexperimental, donde evaluaron muestras compuestas por un periodo de 6 horas continuas desde el efluente de lixiviados del relleno sanitario y además se ejecutaron valoración socioeconómicas y el muestreo se caracterizó mediante las pruebas físico – químicas, llegando a resultados de que se alcanzó condiciones óptima del proceso de Fenton 400 mg/L de peróxido de hidrógeno o con 1000 mg/L de sulfato de hierro a pH de 3, donde el porcentaje de remoción alcanzado de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en verano fue de 85,0% y en invierno de 86,4 %, asimismo respecto a la Demanda Química de Oxígeno en invierno fue 73,0% y en verano de 73,9%, la turbidez en 91,0% en invierno y 87,5% en verano, la reducción de color en 87,3% para verano y 84,6% en invierno. Obteniendo en 72,0% la conductividad y en porcentaje menor en relación con la alcalinidad en 33,3% en verano y 36,4% en invierno, concluyendo que el tratamiento tuvo eficiencia de grado alto, no obstante, sus características no fueron suficientes para el descargo del lixiviado a un cuerpo hídrico.

Guevara (2019), realizó una tesis donde diseñó un prototipo fenton coadyuvante de tratamiento biológicos para lixiviados en el Relleno Sanitario Porlón, elaborado desde la metodología de tipo experimental – analítico, donde se caracterizó la muestra del lixiviado empleando el análisis físico – químico determinando los parámetros siguientes: TDS, pH, turbidez, conductividad, color, alcalinidad, DBO5, DQO y tensoactivos, llegando a resultados siguientes: se logró diseñar que para 1 L de lixiviado a tratar con una velocidad inicial de 30 rpm a 0,77 hp y velocidad final de 100 rpm a 1,33 hp controlado por un variador sinamics G110, respecto a las condiciones laborales se encontró 120 min, pH de 3, 400 mg/L H_2O_2 y 1000 mg/L Fe^{2+} ; entre los % de remoción de materia orgánica medidas con turbidez y color fueron de 91% y 87% correspondientemente. En cambio, la remoción DBO5, DQO y TDS fueron 85%, 72% y 66% correspondientemente,

concluyendo que se logró diseñar un lixiviado duro de degradar dado a sus altas concentraciones en la mayoría de los parámetros.

Gutiérrez (2017), realizó un estudio donde analizó la eficiencia de remoción de proceso de tratamiento coagulación – floculación y foto – fenton en los lixiviados del relleno sanitario de Bacalar Quintana Roo” estudio elaborado desde la metodología experimental y analíticos, donde se consideró la muestra de del tubo del afluente que llena la laguna de lixiviados del relleno sanitario de Bacalar, llegando a conclusión siguientes: de que los lixiviados del relleno sanitario tienen una asociación de DBO5/DQO igual a 0.041 y un pH de 8.55, asimismo se evidencio que la dilución de agua destilada el lixiviado estabilizado y tratar a través coagulación – floculación y foto – Fenton alcanzando eficiencia del 100% para eliminar material orgánicas, demostrando que el tratamiento planteado en este estudio cumplió en los límites máximos permitidos.

1.2.2. Antecedentes Nacionales

Marreros y Meléndez (2021), realizaron una investigación donde evaluaron la eficiencia y viabilidad del proceso de oxidación avanzada Fenton empleado como tratamiento de aguas residuales industriales, desarrollado desde la metodología analítico, donde se consideró cinco muestras realizadas por diferentes autores, de los cuales se sistematizó y evaluó los resultados obtenidos de estos estudios, llegando a resultados de que se aplicó de manera óptima la remoción de DQO siendo $t=75$ min $H_2O_2= 600$ mg/l, $Fe+2=1000$ mg/L, $T= 20^\circ C$, $pH= 2.88$, $DQO/H_2O_2= 6.2$, Muestra= 600 ml. De igual manera, se valorizó su empleabilidad para tratamiento de Oxidación Avanzada Fenton convencional que se calculó que posee un coste de S/. 2,479.20, concluyendo que el proceso de Oxidación avanzada Fenton demostró tener resultados eficientes y con ello se afirma su viabilidad para poder emplear en aguas residuales e inclusive rellenos sanitarios.

Lapayre y Pequeño (2019), realizaron un estudio donde analizaron el impacto de las oxidación Fenton sobre la materia orgánica de los lixiviados en la infraestructura y disposición final de residuos sólidos de Cajamarca. Estudio desarrollado desde la

metodología de tipo cuasi experimental, con diseño transaccional, para la evaluación se consideró los lixiviados producidos en la infraestructura de tratamiento y disposición final de Cajamarca, llegando a resultados de que se empleó el método efectivo de la oxidación química avanzada – Fenton, a través del uso de reactivos en periodo determinado evidenciando que hubo disminución de la demanda química de oxígeno para la poza 1: 1505.1, 718, 314, mg/L; para la poza 2: 1400.8, 739, 301 mg/L; para la poza 3: 1041.3, 1005, 346 mg/L y para demanda bioquímica de oxígeno en la poza 1: 254, 329, 166 mg/L; para la poza 2: 335, 252, 151 mg/L; para la poza 3: 266, 299, 144 mg/L correspondientemente, concluyendo que la oxidación química avanzada – Fenton demostró tener efectividad para tratar aguas residuales de lixiviados.

Ninan y Zambrano (2019), desarrolló una investigación donde analizaron el tratamiento de electrocoagulación en reactor monopolar batch de los lixiviados del relleno sanitario de Jaquira” estudio elaborado desde la metodología experimental, donde se analizó mediante los parámetros DBOs, DQO, TSS y MCQUIMICALAB, donde se desarrollaron ensayos preliminares, obteniendo que en 30 minutos se logró realizar remociones óptimos de DBO5 y TSS, respecto a DQO se demostró tener remoción constante en un determinada tiempo por lo que se requiere tiempo mayor de 120 minutos de esta forma obtener remoción óptima. Por otro lado, se realizó ensayo final donde se analizó la densidad de corriente y distancia entre electrodos, con tiempos de residencia de 30 minutos para la DBO5 y TSS, respecto a DQO para 120 minutos, concluyendo que el diseño experimental se obtuvo condiciones óptimas dado que fue determinado a través de la cinética de remoción de la DBO5 y DQO, estableciendo que la cinética de reacción de segundo orden para ambos casos.

Medina et al. (2017), realizaron un estudio donde determinó las características fisicoquímicas del lixiviado del RSAV mediante la calculación de biodegradabilidad para identificar la dosis adecuada de adición del reactivo Fenton y pH tanto para la época de lluvia como para la de estiaje, elaborado desde la metodología de tipo experimental, donde se desarrollaron dos muestras de pozas de almacenamiento de lixiviados en

temporada lluviosos y estiajes de los tres pozos, llegando a resultados de que se logró determinar valores óptimos en dos temporadas obteniendo un índice de biodegradabilidad de 0,568 y 0,329 en temporadas de lluvia y estiaje, correspondientemente, con una reducción al 42% de la DQO en los dos temporadas, concluyendo que el proceso Fenton es una de las alternativas que tienen eficacia para tratar sustancias constantes en lixiviados y puede ser empleado como post – tratamiento.

1.2.3. Antecedentes Locales

Jara (2019), en su tesis de posgrado donde analizó el riesgo ambiental y la aplicación del método de electro-Fenton para el tratamiento de las aguas residuales del matadero municipal” estudio elaborado desde la metodología explicativo y experimental, donde se determinó riesgo ambiental a través de la Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales del Ministerio del Ambiente (2010), el DQO, pH, corriente eléctrica de H₂O, llegando de que el nivel de riesgo encontrado en la evacuación de aguas residuales rojas es moderado, analizando el impacto de pH, H₂O y DQO se obtuvo concentración de 384.00, 256.00, 320.00 y 448.00 mg/L las localizando inferior a los Límite Máximo Permisible determinados en el Decreto Supremo 2009-MINAM; y en los tratamientos desarrollados a través del diseño experimental alcanzando un máximo porcentaje de remoción de la DQO del 94.70% a pH 5, densidad de corriente de 23.81 mA/cm², dosis de H₂O₂ de 10 mL/L y tiempo de tratamiento de 30 minutos observando que la información experimentado se ajustaron de manera satisfactoria.

Astorga (2018), realizó un estudio donde demostró la recuperación de hierro de los lixiviados provenientes del botadero de residuos sólidos de la ciudad de Puno, a través del uso de surfactante aniónico, elaborado desde la metodología de tipo analítico y experimental, llegando a resultados de que la caracterización de los lixiviados se establece la presencia de hierro con 45 mg/L, materia orgánica con 80,2 mg/L y DQO con 3000 mg/L. asimismo se obtuvo resultados óptimos en la recuperación de hierro, a través del proceso de coagulación-floculación para la recuperación del hierro del lixiviado producido en el botadero de la ciudad de Puno, se ha utilizado como coagulante el sulfato

de aluminio y como floculante el surfactante aniónico, concluyendo que el pH demostró tener significancia mayor en el proceso de coagulación-floculación

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Optimizar el proceso fenton para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno.

1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer la dosis óptima de los reactivos en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.
- Determinar el tiempo óptimo de contacto del reactivo en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.
- Identificar el valor óptimo del pH en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Puno.
- Calcular el índice de biodegradabilidad en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1.1. Relleno Sanitarios

También denominado vertedero que alude al espacio que se destina para las disposiciones finales de residuos sólidos, es decir, son espacios que se diseñan para no generar riesgos a la salud de las personas, garantizando la seguridad pública, además de que no causar efectos negativos en el ambiente en el periodo de operación o posterior a su cierre, por tanto, es comprendido como una tecnología en la cual se confina o deposita basura en un espacio de manera estrecha, compactado para minimizar su volumen para cubrir con capa de suelo de manera diaria (Torri, 2017). A ello, Guevara (2021), agrega que para determinar la ubicación del relleno o el espacio para las disposiciones de residuos sólidos es importante comprender aspectos generales y características como la población, ubicación, tipo de residuos sólidos, cantidad entre otros criterios, además para su diseño es importante que se considere aspectos como el área de infraestructura, vías de acceso, barreras sanitarias, celdas o plataformas, impermeabilización de la base, drenaje de lixiviados, gases, sistema de pesaje, dispositivos para el monitoreo ambiental, área de almacén de material de cobertura, instalaciones auxiliares, carteles de identificación, entre otras características.

2.1.2. Generación de Lixiviados

La generación de lixiviados en espacios de disposición final es considerada como una de las consecuencias de la digestión anaerobia debido a su concentración alta en materias orgánicas que poseen y del presupuesto elevado que requiere para su tratamiento,

generando un reto mayor en cuanto a su reducción o inhibición de la generación de lixiviados (Tello & Fernández, 2012).

Por otro lado, Jiménez (2021), agrega que la generación de lixiviados ocurre producto del relleno de residuos que poseen cierta humedad, el cual es mayor cuando llueve, dado que el agua se infiltra en los residuos conllevando a la acumulación de la misma, en caso de que la humedad es mayor superando un nivel determinado se denomina capacidad de campo, los residuos liberan el agua acumulado a los que se denomina generación de lixiviados, además resalta que por gravedad los lixiviados se juntan en el fondo de los vertederos.

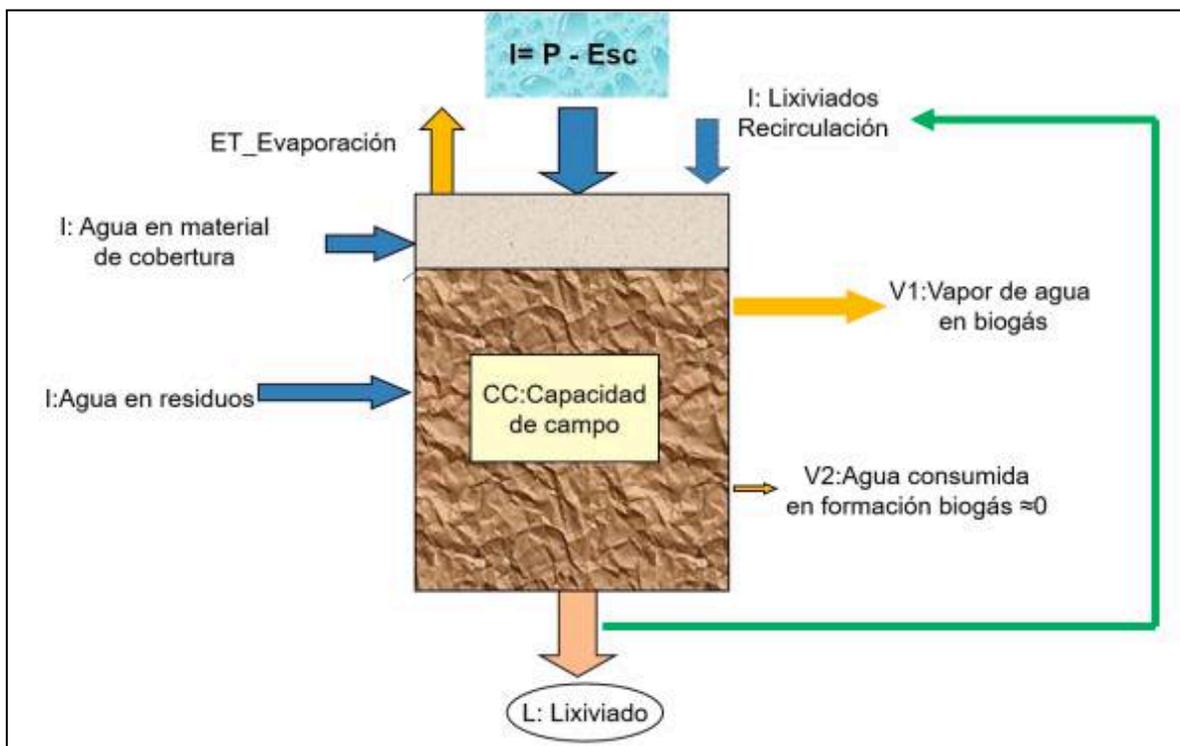


Figura 01: Generación de lixiviados

Fuente: (Jiménez, 2021)

2.1.3 Composición de Lixiviados

Entre las composiciones de lixiviados se resaltan los materiales biológicos y químicos, que ocurren producto de la filtración de agua mediante residuos sólidos en proceso de descomposición, al respecto, Jiménez (2021), menciona que la composición común de lixiviados de 1 litro es lo siguiente:

- 985 a 998 g de agua
- 0,1 a 3 g de compuestos orgánicos
- 2 a 13 g de compuestos inorgánicos

Por otro lado, es importante resaltar a la Agencia de Medio Ambiente de Estado Unidos dado que evaluaron a profundidad la composición de lixiviados demostrando un total de 200 composiciones diferentes.

2.1.4. Parámetros de Lixiviados

Entre los parámetros comunes y resaltantes de lixiviados se encuentran los siguientes:

2.1.4.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es el parámetro que se emplea para realizar estimaciones del nivel de contaminación orgánica de las aguas residuales, además, es la demanda bioquímica de oxígeno que posee el agua, además alude a la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos, específicamente en bacterias, plancton, hongos en el periodo de degradación de materiales orgánicos, por lo que comúnmente es empleado para la medición del nivel de contaminación (Bazán - Suárez & Chiclla - Salazar, 2023). Al respecto, Jiménez (2021), agrega que el BDO es un aspecto delicado que demanda tiempo mayor, dado que es un proceso biológico, considerando que el proceso de descomposición dependerá de diversos factores como la temperatura.

2.1.4.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Alude a la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de materiales orgánicos a través de químicos y convertirla en H_2O y CO_2 , mientras mayor sean DQO el agua tendrá mayor contaminación, la DQO es considerado como una evaluación que se realiza por un promedio de 3 horas, por lo que los resultados se obtienen a tiempo menor de lo que se necesita para la evaluación de DBO (Lopez, 2022).

2.1.4.3. Sólidos Totales Disueltos (STD)

Es una medida de la materiales con muestras de agua, que tiene tamaño pequeña de 2 micrones el cual no puede ser removido por un filtro tradicional, al respecto, Jacomé (2014), agrega que “los sólidos disueltos son la suma de todos los minerales, metales y

sales disueltas en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua, dado que una elevada concentración de sólidos disueltos brinda al agua una apariencia turbia reduciendo el sabor de la misma, que individuos que no estén acostumbrados a consumir agua con contenido alto de sólidos disueltos que le genera malestares estomacales e inclusive puede interferir en los equipos de tratamiento”

2.1.4.4. Potencial de Hidrógeno (pH)

Alude a la alcalinidad o acidez existente en el agua, por lo que es una unidad de medida de acuerdo con ECA, que de acuerdo con los criterios establecidos establecen que éstas deben encontrarse en un rango de 6,5 – 8,5 demostrando que si son aguas superficiales que sirvan para reutilizar posterior a la desinfección, es importante para el incremento de la capacidad de absorción lo que a su vez incrementa la solubilidad de adsorbente (Lopez, 2022).

2.1.4.5. Temperatura (T°)

Es “otro de los parámetros importantes en las aguas residuales por su consecuencia acerca de las características del agua y el procedimiento de la disposición final, estas son más importantes en cuanto a calidad que las aguas de abastecimiento, es así que la temperatura afecta y perturba la vida acuática y varía las concentraciones de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana, es así que la tasa de sedimentación de sólidos en aguas cálidas es mayor que en aguas frías por el cambio en la viscosidad del agua y los tiempos de retención disminuyen a mayor temperatura es así que la temperatura óptima para la actividad bacteriana es de 25 °C a 35 °C” (Ccente & Huayllani, 2021).

2.1.4.6. Nitritos

Es otro de parámetros indicadores en cuanto a la contaminación de residuos, en aguas superficiales bien oxigenadas el grado del nitrito que comúnmente no puede superar el valor de 0,1 mg/l, resaltando que el nitrito se encuentra en un estado de oxidación intermedia entre el nitrito y el amoníaco. Al respecto, (Ccente & Huayllani, 2021) menciona que “los nitritos en concentraciones mayores tienen reacción dentro el

organismo con aminos y amidas secundarias y terciarias componiendo nitrosaminas de alto poder cancerígeno y tóxico”.

2.1.5. Proceso de Lixiviación de rellenos sanitarios

Para comprender a profundidad el proceso de lixiviación es importante definir, al respecto Janon, et al. (2019), definen que los lixiviados de los rellenos sanitarios con efluentes acuosos que se producen por la percolación de la lluvia mediante desechos y las diversas reacciones bioquímicas, por lo que tienen contenidos de materias orgánicas, compuestos recalcitrantes, nutrientes, metales pesados y xenobióticos, por tanto, es catalogado como un residuo de alta peligrosidad convirtiéndose en un determinante de riesgo que se asocia directamente con la salud. Asimismo, Méndez, et al. (2019), refiere que los lixiviados son formaciones que se generan mediante la percolación de líquidos a través de la estabilización de residuos sólidos, por lo tanto, los lixiviados se producen como efecto de los residuos, la humedad y la percolación de líquidos mediante desechos en el proceso de estabilización.

Por otro lado, González y Godoy (2021), resaltan que el proceso de lixiviados es que esto ocurren como consecuencia de producto residual en etapa líquida de rellenos sanitarios, que se generan producto a la influencia de las precipitaciones haciendo que estas se cuelen mediante el suelo y residuos sólidos apilados y enterrados en el relleno sanitario, donde el agua lava los sólidos, a su vez arrastra una infinidad de sustancias, que comúnmente estas infiltraciones son recuperables mediante el sistema de drenaje y se acumulan de forma temporal en tanques y piscinas, por lo que requiere de un tratamiento de forma adecuado anticipadamente de su liberación dado que estas materias poseen niveles altos de contaminantes, con niveles elevados de toxicidad, llevando carga patógena que mediante aguas subterráneas pueden redistribuirse.

2.1.6. Tratamiento de Lixiviados de rellenos sanitarios

Al respecto, Vásquez et al. (2022), señalan que la acumulación de diversos residuos sólidos de rellenos sanitarios genera que el lixiviado formado tenga unas composiciones complejas en su estructura de formación, haciendo difícil el tratamiento de lixiviados dado

que tienen componentes con alto nivel de toxicidad y variables, además que los suelos se tienen permeabilidad mayor, por lo que se considera peligroso para la salud de la población. De igual forma, Colombo, et al. (2018), refiere que los lixiviados que proceden de rellenos sanitarios o vertederos con una composición de origen orgánica e inorgánica, en la cual ellos muestran particularidades refractarias haciendo difícil la biodegradación.

Asimismo, Vilca y Sánchez (2020) refiere que hoy en día existen diversas alternativas de tratamiento de lixiviados y se puede neutralizar su capacidad contaminante, que involucre procesos físico químicos y biológicos hasta métodos avanzados de ultrafiltración y remediación, no obstante, la realidad que se enfrenta en la mayoría de los rellenos sanitarios es que nunca tuvieron tratamiento a los lixiviados producidos y que se colocan a infraestructuras de manera temporal por diferentes factores, pese que el reposo de lixiviados permite la sedimentación y de manera progresiva se acumulan los sólidos a lo que se llama lodos lixiviados, densa, con olor fuerte de naturales apelmazada, con contenido alto de humedad.

Por lo tanto, la eficiencia del tratamiento para reducir y eliminar los contaminantes lixiviados es la consideran de su composición química, específicamente de elementos como el total de nitrógeno, pH, DQO, DBO, metales pesados, biodegradabilidad y nivel de estabilización de residuos sólidos (Mejía & Torres, 2018) .

2.1.7. Procesos de oxidación avanzada (Poas)

Al respecto, Castañeda (2014), refiere que generalmente el proceso de oxidación avanzada es denominado POA que comprende a los tratamientos terciarios que se encuentran fundamentadas en la procreación de especies fuertemente oxidantes que posee como propósito eliminar los compuestos solubles no biodegradables que se presentan del agua residual, para este proceso de oxidación comúnmente se emplean oxidantes químicos para disminuir los niveles de DQO/DBO y para separar los componentes orgánicos y los componentes inorgánicos oxidables. Los procesos pueden oxidar totalmente los materiales orgánicos como el carbón, C_0_2 }

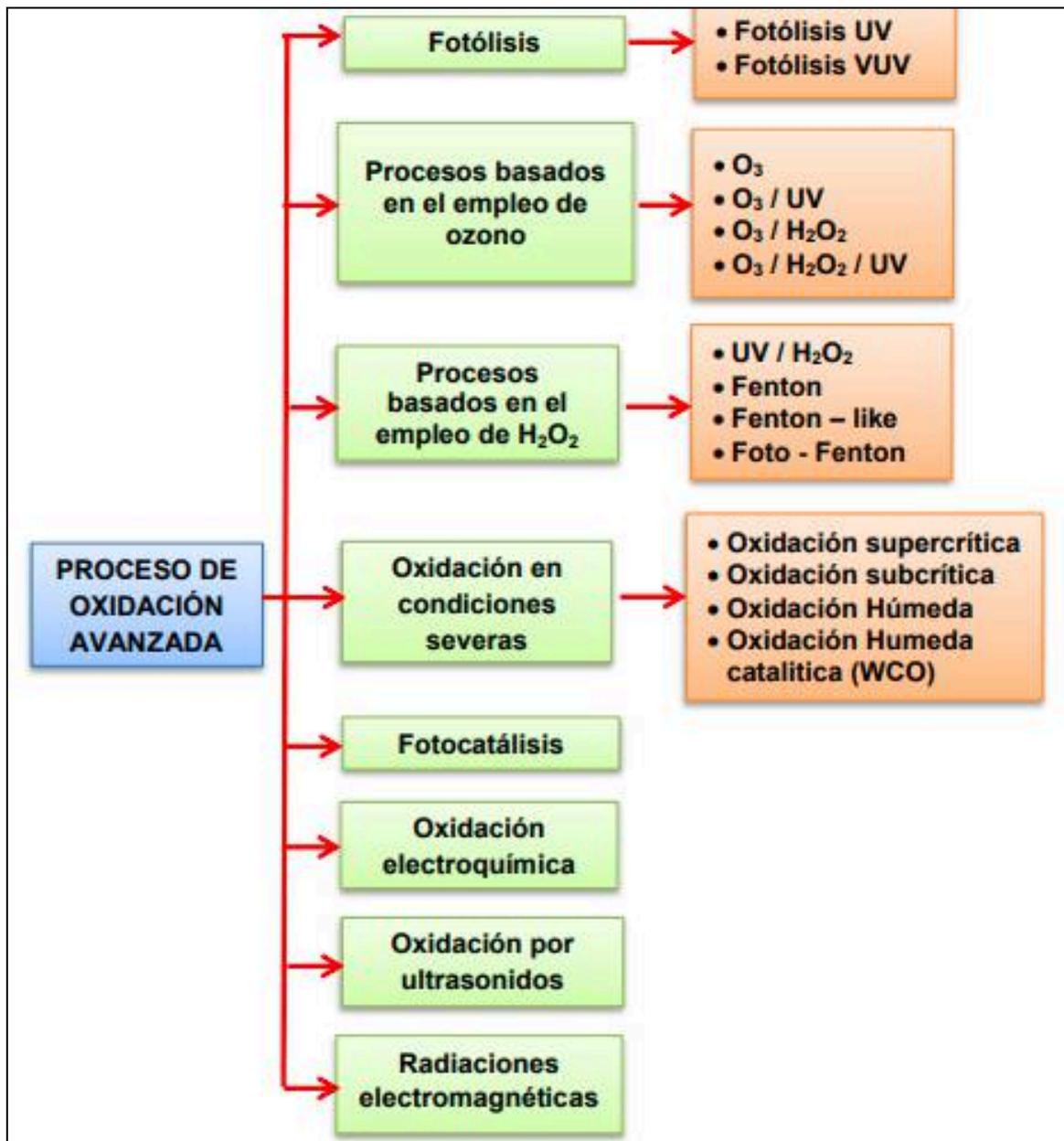


Figura 02: Clasificación de los procesos de oxidación avanzada

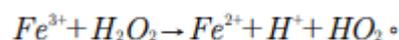
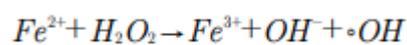
Fuente: Medina (2018)

2.1.8. Proceso fenton

Este proceso ocurre cuando existe el incremento de catalizadores de peróxido de hidrógeno en un medio ácido y sal ferrosa soluble del agua, donde es superfluo acudir a presiones mayores, temperaturas o equipamientos complejas, donde el radical oxidrilo (OH^{*}) se ha convertido en un elemento importante para el proceso oxidativo, dado que su

reacción de forma rápida con diversas composiciones orgánicas de manera no selectiva por su alto potencial de oxidación (Vilca & Sanchez, 2020).

Asimismo, es importante resaltar que el proceso Fenton fue planteado en 1894 siendo el expositor principal Henry Fenton, conjuntamente con el descubrimiento del peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Al respecto, Rubio et al. (2014), agrega que el proceso fenton comprende la adicción o la agregación de sales de hierro en presencia de H_2O_2 , en medio ácido para la formación de radicales OH a la mezcla de H_2O_2 y sales de hierro denominándose reactivo Fenton.



2.1.9. Ventajas y desventajas del proceso fenton

Entre las ventajas de la reacción fenton es que las sales de hierro son abundantes y no tóxicas, el peróxido de hidrógeno que tienen la facilidad de manejar y ambientalmente benigno, no hay formación de compuestos clorados como en técnicas tradicionales como la cloración más no existen limitación de transferencia de masa al ser un sistema homogéneo. Al término de la reacción de oxidación se neutraliza el sistema formándose lodos de la materia oxidada y del catalizador de Fe^{+2} como hidróxido férrico que es necesario gestionarlo adecuadamente, siendo factible disponerlo en un área acondicionada para la deshidratación y secado de lodos y establecer su disposición final.

2.1.10. Dosificación del fenton

La relación peróxido/ Fe /impurezas se puede mantener añadiendo periódicamente un agente oxidante o ajustando al inicio del proceso. La adición gradual de peróxido de hidrógeno puede promover la oxidación de contaminantes porque la reacción improductiva entre las especies de hidroxilo (oxidante contaminante) y el peróxido de hidrógeno se reduce y se controla la oxidación rápida de $Fe + 2$ a $Fe + 3$, lo que contribuye a la respuesta general. Se recomienda agregar los reactivos al principio, que se pueden llevar a lo largo de la reacción (Medina, 2018).

2.1.11. LMP para efluentes de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas

Tabla 01: Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas Residuales Domésticas o Municipales

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	ml/L	150
Temperatura	°C	< 35

Fuente: (MINAM, 2010)

2.1.12. Influencia de la concentración del agente oxidante y catalítico

Al respecto, Rubio et al. (2014) señala que la cantidad de H_2O_2 y de sales de hierro a emplearse dependerá mucho del tipo de contaminantes que se requiere remover, resaltando que el H_2O_2 , necesita de cantidades mayores de Fe_{2+} para que pueda descomponerse en radicales $^{\circ}OH$, además es suponer que la velocidad de degradabilidad de las moléculas orgánicas mientras sea superior esta incrementa las concentraciones del oxidante y del catalizador, no obstante, cantidades mayores de H_2O_2 y de Fe_{2+} dificultan el porcentaje de degradación del contaminante, dado que benefician las reacciones secundarias. Asimismo, se identificaron que el incremento de la concentración de H_2O_2 no muestra una degradación superior de benzo(a) pireno (10 $\mu g/L$); debido que con una concentración inicial de H_2O_2 de 50 mg/L se obtiene una degradación del 90% en un periodo de 90 minutos de reacción; en cambio una concentración de 150 mg/L sólo facilitar la eliminación del 80% del contaminante. Diferentes investigaciones demuestran que los valores idóneos de agente oxidante y catalíticos, pero estas dependen mucho de las concentraciones óptimas de diferentes

determinantes como el tipo de contaminantes que se presentan en el agua, por tanto, es fundamental realizar evaluaciones y análisis previo a cada relleno o agua residual que se va a tratar.

2.1.13. Influencia del tiempo con el reactivo

Desde la mirada económico existen evidencia que demuestran que desarrolla el proceso Fenton por tiempos altos de residencia no es viable, es más, en tiempos menores de reacción se obtienen niveles adecuados de degradabilidad de contaminantes a diferencia de los demás proceso de oxidaciones, este aspecto fue estudiado por diversos autores como Burbano, et al. Esplugas, et al. quienes analizaron el rendimiento de diferentes PAO para la degradabilidad de fenol, resaltando que el proceso Fenton posee efectividad mayor dado que demuestra tener eficiencia en la remoción del fenol total posterior a los 9 minutos de tratamiento (Rubio - Clemente y otros, 2014).

2.1.14. Influencia del Potencial de hidrógeno (pH)

Entendiendo que el potencial hidrógeno es una de los parámetros que tienen significancia mayor en el proceso Fenton, dado que investigaciones evidencian que la efectividad del proceso Fenton ocurre cuando el pH se encuentran entre 2.5 hasta 4, considerando que el las condiciones de potencial hidrógeno mientras sean muy ácidas o con alcalinidad mayor influyen a un descenso de la velocidad de degradación del contaminante, por lo tanto, el incremento de pH conlleva a la precipitación del hierro $\text{Fe}(\text{OH})_3$, obstaculizando que la reacción 2 se ejecute, por lo que ocurre la regeneración de Fe^{2+} . De otra manera, el incremento excesivo de Ph ácido se forma $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, que tiene una reacción lenta con el H_2O_2 , ralentizando la producción de radicales $^{\circ}\text{OH}$. Asimismo, desde estas condiciones de acidez, la regeneración del catalizador desde H_2O_2 se ve estorbada, debido que a un bajo pH el H_2O_2 la estabilización ocurre en iones oxonio (H_3O_2^+). Además, existe diversos estudios donde evaluaron el efecto del pH en el tratamiento de un efluente con 11,500 mg/L de DQO bajo condiciones adecuada de temperatura (30 °C), H_2O_2 (3M), Fe^{2+} (0.06 M) y para un tiempo de reacción de 100 min., entre los resultados

evidenciaron que una conversión de DQO de ~ 85, 97.5 y 65% a pH 2, 3 y 5, correspondientemente (Rubio - Clemente y otros, 2014).

2.1.15. Influencia de la temperatura

Comprende que pese a que el proceso Fenton tenga o cuente una temperatura adecuada, es importante el incremento de ello, dado que tiene resultados positivos favoreciendo la cinética de la reacción oxidante, tal como Silva, et al. (2016), en su estudio evidenciaron que el proceso Fenton tiene mayor viabilidad de realizarse en temperaturas altas, aproximadamente de 70 °C, obteniendo remociones de venzo pireno (10 µg/L) del 90 y 100% a 30 y 70 °C, correspondientemente. Sin embargo, Malikova, et al. citado por Rubio et al. (2014), el aumento de temperatura puede llegar a reducir la estabilidad de H₂O₂, debido que valores altos de temperatura incrementan la velocidad de degradación del H₂O₂ a O₂ y H₂O.

2.1.16. Reactivos para el proceso fenton

2.1.16.1 Hidróxido de Potasio 90%

Es una composición química inorgánica cuya fórmula es KOH, en el proceso Fenton su reactividad de hidróxido de potasio es a través de ácidos y su corrosividad natural, asimismo genera una reacción espesante y es un oxidante de control del pH y estabilizador, por lo que es considerado como un reactivo neutralizador.

2.1.16.2 Sulfato férrico en solución

Al respecto, Medina (2018), refiere que el hierro es uno de los metales que posee dos estados de oxidación: Fe⁺² denominado sales ferrosas cristalizadas que se caracterizan por su coloración de verde y su forma anhidra que poseen coloración amarillo pálido o blanquecina. Otros estados en Fe⁺³ denominadas sales férricas cristalizadas que asumen una coloración amarillenta producto de las especies Fe(OH)⁺² y Fe(OH)₂, no obstante, la coloración puede presentar una variación gracias a su facilidad de conformar orgánicos complejos. La especie Fe⁺³ es un catión más ácido que la especie Fe⁺² demostrando tener estabilidad en un medio acuoso ácido, pero estas especies no son las únicas

debido que existen Fe(OH)^{+2} , $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{+4}$ y Fe(OH)_2 + con una concentración clave en medios alcalinos que generan precipitaciones como sales básicas de color pardo rojizo.

2.1.16.3 Peróxido de Hidrógeno – 50%

También es denominado como el proceso de oxidación con ozono, dado que el ozono puede oxidar de forma rápida las sustancias hidrófobas que las hidrófilas, que para tener una capacidad mayor de oxidación del ozono comúnmente se combina con otros procesos con miras de optimizar los resultados, como es el proceso $\text{O}_3 / \text{H}_2\text{O}_2$, esta mezcla incrementa probabilidades de mayores de que el tratamiento sea eficiente, el H_2O_2 tiene una mejor en la descomposición de O_3 e incrementa los radicales ($\bullet\text{OH}$), lo que facilita la disminución inmediata de los micro contaminantes resistentes al ozono (Cadavid et al, 2022).

Por otro lado, Medina (2018) señala que “el peróxido de hidrógeno asume coloración incolora con punto de ebullición a $150.2\text{ }^\circ\text{C}$, teniendo densidad relativa de $1,45\text{ g/mL}$ a $20\text{ }^\circ\text{C}$ donde su estabilidad dependerá de la temperatura y pH, pHs menor de 9 el peróxido de $10\text{ }^\circ\text{C}$ a $50\text{ }^\circ\text{C}$ para menor periodo de 96 horas y a pHs mayores a 9, existe una marcada descomposición a períodos mayores a 96 horas”.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Agua residual

Se refiere a agua cuyas propiedades principales han sido alteradas por el uso de algunas actividades humanas, y para ser reutilizada deben ser restauradas para la calidad a través de un tratamiento inicial o, de otra manera, liberada en un organismo u otro medio huésped (Medina, 2018).

Electroquímica

La electroquímica es la rama de la química que estudia la interacción de la electricidad y los productos químicos. Estudiar cómo se transfieren los electrones entre los reactivos que intervienen en una reacción química. En aplicaciones electrónicas, las reacciones químicas se llevan a cabo por la transferencia de electrones entre partículas químicas en solución o en estado sólido de agua. Estos sistemas consisten en una celda

electroquímica con dos electrodos sumergidos en una solución conductora llamada electrolito.

Lixiviación

La lixiviación es un proceso químico que utiliza solventes para eliminar los solutos de los sólidos. A menudo se usa en la industria minera para extraer metales preciosos de minerales. También se utiliza en otros campos como la metalurgia, la industria química y el procesamiento de alimentos.

Oxidación

La oxidación es un proceso químico en el que una sustancia pierde electrones y aumenta su estado de oxidación. A veces se intercambia oxígeno, a veces se pierde hidrógeno, la oxidación es una de las dos partes de una reacción redox (reducción-oxidación), siendo la otra mitad la reducción.

Relleno Sanitario

Alude son espacios que se diseñan para no generar riesgos a la salud de las personas, garantizando la seguridad pública, además de que no causar efectos negativos en el ambiente en el periodo de operación o posterior a su cierre, por tanto, es comprendido como una tecnología en la cual se confina o deposita basura en un espacio de manera estrecha, compactado para minimizar su volumen para cubrir con capa de suelo de manera diaria (Torri, 2017).

Tratamiento

Es una palabra que es ampliamente utilizada en diferentes contextos y puede adaptarse a diferentes métodos y técnicas dependiendo del área en la que se utilice.

2.3. MARCO LEGAL

Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

Ley N° 27972, Ley Orgánica de Municipalidades.

Ley N° 29419, Ley que regula la Actividad de los recicladores.

Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental y sus modificatorias

D.L. N° 1278. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos y sus modificatorias.

D.S. N° 014-2017-MINAM, que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo n° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión integral de Residuos Sólidos.

D.S. N° 019-2009-MINAM, que aprueba el Reglamento de la Ley N°. 27446, ley del Sistema Nacional de Evaluación De Impacto Ambiental.

D.S. N° 002-2009-MINAM, que aprueba el Reglamento sobre la Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales.

D.S. N° 004-2017-MINAM, que aprueba Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establece disposiciones complementarias.

D.S. N° 003-2017-MINAM, que aprueba Estándares de calidad Ambiental (ECA) para aire y establece disposiciones complementarias.

D.S. N° 011-2017-MINAM, que aprueba Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.

D.S. N° 085-2003-PCM, que aprueba Estándares Nacionales de calidad ambiental para ruido.

Resolución Ministerial N° 455-2018-MINAM, que aprueba la Guía para la elaboración de la línea base y la Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales, en el marco del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM, que aprueba la Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales.

Resolución Ministerial N° 100-2019-MINAM, que aprueba la Guía para elaborar el Plan Distrital de manejo de Residuos Sólidos

Resolución Ministerial N° 151-2019-MINAM, que aprueba los Términos de referencia para la formulación del programa de reconversión y Manejo de Áreas degradadas por residuos sólidos municipales y la guía para la formulación del programa de reconversión y manejo de Áreas degradadas por residuos sólidos municipales.

Resolución Ministerial N° 150-2019-MINAM, que aprueba los términos de referencia para la formulación de planes de recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos municipales y la guía para la formulación del plan de recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos municipales.

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis general

Es posible optimizar el Proceso Fenton para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno

2.4.2. Hipótesis específicas

- La dosis óptima de los reactivos en el proceso Fenton se logra mayor índice de biodegradabilidad en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno.
- El tiempo óptimo del contacto del reactivo en el proceso Fenton se logra el mayor índice de biodegradabilidad en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno.
- El valor óptimo del pH en el proceso Fenton se logra el mayor índice de biodegradabilidad en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno.
- Es posible obtener el índice de biodegradabilidad con una óptima concentración, tiempo y pH en el proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Siendo una investigación de tipo aplicada que tiene propósitos prácticos que consiste en transformar el cambio en su sector de la realidad (Charaja, 2019). El diseño de investigación es experimental donde se manipula las variables intencionalmente para obtener un resultado óptimo (Hernández - Sampieri y Mendoza, 2018)

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El proyecto se ubica en el sector de Itapalluni, distrito de Puno, provincia Puno, departamento de Puno, ciudad situada geográficamente en las coordenadas 15° 50' 15" de latitud sur y 70° 01' 18" de longitud oeste con respecto al Meridiano de Greenwich.

Tabla 02: Coordenadas georeferenciales del lugar de estudio

Vértice	Lado	Distancia	Ángulos internos	Coordenadas UTM, Zona 19L	
				Sistema de Referencia Geodésico WGS 84	
				Este (X)	Norte (Y)
A	A-B	548.70	82° 10' 21"	385 715.0000	8 242 602.0000
B	B-C	306.04	113° 23' 13"	386 215.0000	8 242 376.0000
C	C-D	218.75	84° 42' 53"	386 210.0000	8 242 070.0000
D	D-E	372.69	175° 36' 24"	385 992.5426	8 242 093.7060
E	E-F	264.15	92° 46' 0"	385 626.2299	8 242 162.3570
F	F-A	185.61	171° 21' 9"	385 662.2980	8 242 424.0300
Total		1895.94	720° 0' 0"	-	-

Desde el noroeste de la isla Esteves hasta el norte del Centro Poblado de Alto Puno, y al sur hasta el Centro Poblado de Jayllihuaya, la extensión de esta zona abarca una superficie ligeramente ondulada rodeada por diversos cerros como Huancararuque, Pucara Orko, Llallahuani, Machallata, Azoguine. Pirhua Pirhuani, Huayllani, Negro Peque, Cancharani, Pitiquilla y Pacocahua. Este espacio físico está situado en la orilla occidental del lago Titicaca, específicamente en la bahía de Puno (antes Paucarcolla), y su elevación oscila entre los 3.810 y los 4.050 metros sobre el nivel del mar.

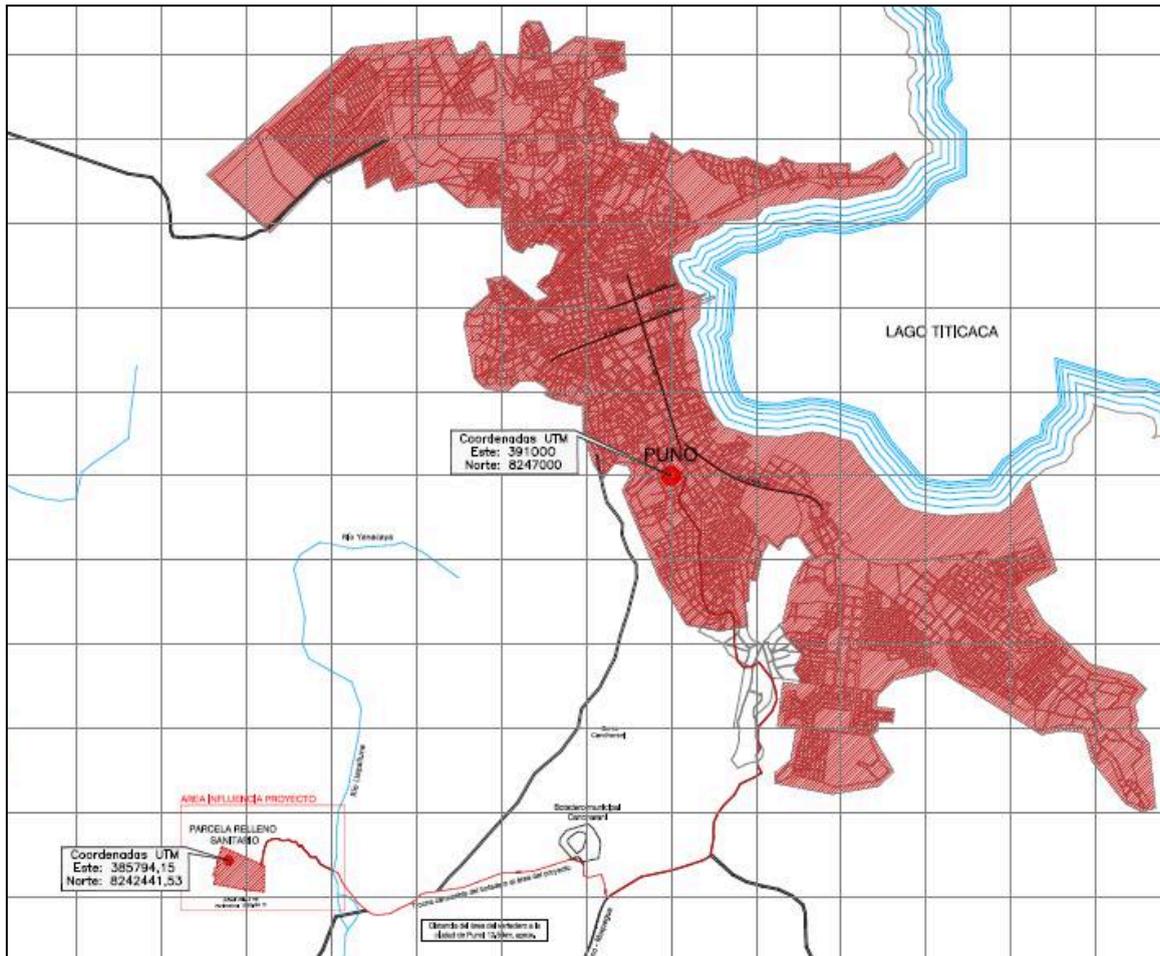


Figura 03: Ubicación del relleno sanitario del sector Itapalluni

Fuente: Expediente técnico del relleno sanitario Itapalluni

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

La población está constituida por todo el proceso de lixiviación del relleno sanitario del sector Itapalluni y como muestra se realizó los tratamientos del proceso fenton tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 03: Muestra de tratamientos

	Reactivos usados	7 días	14 días	28 días
Tratamiento 1	KOH = 8 ml/L	3	3	3
	FeSO ₄ = 10 ml/L			
	H ₂ O ₂ = 13 ml/L			
Tratamiento 2	KOH = 12 ml/L	3	3	3
	FeSO ₄ = 15 ml/L			
	H ₂ O ₂ = 33 ml/L			
Tratamiento 3	KOH = 16 ml/L	3	3	3
	FeSO ₄ = 20 ml/L			
	H ₂ O ₂ = 53 ml/L			
Total		27 Muestras		

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Tipo de investigación: Aplicada

Diseño de Investigación: Experimental

Diseño estadístico: DBCA, prueba de análisis ANOVA, Tukey

Método: Hipotético deductivo

Técnica: Observación

Instrumento: Ficha de observación

Materiales: Equipos de laboratorio de Analytical Laboratory E.I.R.L.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

3.4.1. Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
Proceso fenton	Concentración de los reactivos	Concentración óptima
	Tiempo de contacto del reactivo	Tiempo óptimo
	Potencial de hidrógeno pH	pH Óptimo
Tratamiento de lixiviados	Índice de biodegradabilidad	Demanda química de oxígeno
		Demanda bioquímica de oxígeno
		Oxígeno disuelto
		Potencial de hidrógeno
		Sólidos totales disueltos
		Alcalinidad
		Dureza

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

3.5.1. Técnicas de Análisis

Toma de muestras de lixiviados

Las muestras fueron colectadas del relleno sanitario "Itapalluni" Puno, Perú, en un envase de 25 Litros, se realizaron 3 muestreos de las pozas de almacenamiento de lixiviados (junio 2023), de la poza existentes, se tomaron muestras al azar y se homogenizaron para obtener un volumen de 25 litros de lixiviado para cada estudio., se tomaron muestras del relleno sanitario (Anexo)

Análisis de las muestras

Los lixiviados fueron pre filtrados utilizando papel filtro de 125 mm de diámetro (Whatman), con la finalidad de remover partículas grandes, restos orgánicos y para mantener la uniformidad de las muestras. Estas, fueron caracterizadas antes y después del tratamiento Fenton. Se determinaron los siguientes parámetros: Demanda química de

oxígeno; Demanda bioquímica de oxígeno; Oxígeno disuelto; Potencial de hidrógeno; Sólidos totales disueltos; Alcalinidad; Dureza. Para los cuales se empleó las técnicas establecidas por el estándar methods. Además, se utilizó un equipo de prueba de jarras con agitación donde se llevó a cabo las reacciones.

Determinación de la dosis óptima

Para determinar la dosis óptima, se empleó el diseño DBA por la prueba que contempla tres factores y tres niveles, para ello se utilizó el programa Minitab 18. Se evaluó el efecto de la combinación de dos reactivos distintos en dos concentraciones: sulfato ferroso, peróxido de hidrógeno

3.5.2. Procedimiento por objetivo específico

- Optimizar la concentración de los reactivos en el proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.

Luego de utilizar dos reactivos con diferentes porcentajes en concentración en el proceso de toma de muestras de lixiviados y en el análisis se determinó la óptima concentración de los reactivos en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados, lo cual se determinó bajo el análisis estadístico de ANOVA cuya prueba de hipótesis se realizó con el modelo TUKEY

- Determinar el tiempo óptimo de contacto del reactivo en el proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.

Luego del análisis de muestras de los tratamientos de lixiviados en los tiempos de 7, 14 y 28 días se determinó el tiempo óptimo de contacto del reactivo en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados lo cual se determinó bajo el análisis estadístico de ANOVA cuya prueba de hipótesis se realizó con el modelo TUKEY

- Identificar el valor óptimo del pH en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Puno.

Otra de las dimensiones es el potencial de hidrógeno lo cual se tomó un control estricto en todas las pruebas sea en el porcentaje de concentración y el tiempo de la evaluación

se determinó el pH el óptimo mediante el análisis estadístico ANOVA cuya prueba de hipótesis se realizó con el modelo TUKEY

- Calcular el índice de biodegradabilidad en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.

Como variable efecto se determinó el índice de biodegradabilidad en el proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario donde se tomó descriptivamente los indicadores de Demanda Química de oxígeno, Demanda Bioquímica de oxígeno, Potencial de hidrógeno, Conductividad Eléctrica, Sólidos Totales Disueltos, Aceites y Grasas

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS GENERALES

Según las guías de recolección de datos se obtuvo resultados de las propiedades fisicoquímicas de los tratamientos en los cuales se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 04: Resultados de las propiedades fisicoquímicas del primer tratamiento

PARÁMETRO	UNIDAD	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
Potencial Hidrógeno	pH	11.49	11.43	7.36
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	7654.1	3749.3	4460.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1653.0	1841.0	2418.0
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.36	3.35	0.28
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	9010	8010	6040
Conductividad eléctrica	μS/cm	14210.00	15700.00	10080.00
Dureza	MgCaCO ₃	246.26	1660.00	1549.08

En la tabla 4 se muestra las propiedades fisicoquímicas del primer tratamiento, en los cuales se utilizó 8 ml/L de Hidróxido de Potasio (KOH), 10 ml/L de Sulfato férrico (FeSO₄), 13 ml/L de Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂), en los cuales dio respuesta en 7 días, 14 días y 28 días donde se muestra que las propiedades fisicoquímicas disminuyeron poco a poco teniendo una demanda química de oxígeno de 7654.1 mg/L que disminuyó hasta 4460.5 mg/L. De la misma forma la demanda bioquímica de oxígeno se incrementó

desde 1653.0 mg/L hasta 2418.0 mg/L, dichos datos serán claves para determinar el índice de biodegradabilidad.

Otro dato interesante, se muestra la disminución del oxígeno disuelto durante el proceso fenton, desde 3.36 mg/L que fue registrado a los 7 días hasta alcanzar a 0.28 mg/L registrado a los 28 días, en el ámbito de sólidos totales disueltos se alcanzó a medir 9010 mg/L en los primeros 7 días que disminuyó a 6040 mg/L a los 28 días de medición.

Asimismo, en la tabla 5 se muestra las propiedades fisicoquímicas del segundo tratamiento, en los cuales se utilizó 12 ml/L de Hidróxido de Potasio (KOH), 15 ml/L de Sulfato férrico (FeSO_4), 33 ml/L de Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2), en los cuales dio respuesta en 7 días, 14 días y 28 días donde se muestra que las propiedades fisicoquímicas disminuyeron poco a poco teniendo una demanda química de oxígeno de 5867 mg/L que disminuyó hasta 4461.5 mg/L. De la misma forma, la demanda bioquímica de oxígeno se incrementó desde 1644 mg/L hasta 2337.1 mg/L, dichos datos serán claves para determinar el índice de biodegradabilidad.

Otro dato interesante, se muestra la disminución del oxígeno disuelto durante el proceso fenton, desde 3.36 mg/L que fue registrado a los 7 días hasta alcanzar a 0.28 mg/L registrado a los 28 días, en el ámbito de sólidos totales disueltos se alcanzó a medir 9010 mg/L en los primeros 7 días que disminuyó a 6040 mg/L a los 28 días de medición.

Tabla 05: Resultados de las propiedades fisicoquímicas del segundo tratamiento

PARÁMETRO	UNIDAD	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
Potencial Hidrógeno	pH	11.49	11.43	7.36
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	5867	4987.2	4461.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1644	1645	2337.1
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.36	3.35	0.28
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	9010	8010	6040
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	14210.00	15700.00	10080.00
Dureza	MgCaCO_3	246.26	1660.00	1549.08

En la tabla 6 se muestra las propiedades fisicoquímicas del tercer tratamiento, en los cuales se utilizó 16 ml/L de Hidróxido de Potasio (KOH), 20 ml/L de Sulfato férrico (FeSO_4), 53 ml/L de Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2), en los cuales dio respuesta en 7 días, 14 días y 28 días donde se muestra que las propiedades fisicoquímicas disminuyeron poco a poco, cómo es la regulación del potencial de hidrógeno (pH) que disminuye desde 8.4 hasta 7.36, de la misma forma el parámetro del oxígeno disuelto que disminuye desde 3.21 mg/L hasta 1.28 mg/L.

Sin embargo, la demanda química de oxígeno se incrementó de 3435.8 mg/L hasta 4560.0 mg/L. De la misma forma, la demanda bioquímica de oxígeno se incrementó desde 1362.0 mg/L hasta 2431.0 mg/L, dichos datos serán claves para determinar el índice de biodegradabilidad.

Tabla 06: Resultados de las propiedades fisicoquímicas del tercer tratamiento

PARÁMETRO	UNIDAD	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
Potencial Hidrógeno	pH	8.4	7.50	7.36
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	3435.8	3649.4	4560.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1362.0	1741.0	2431.0
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.21	3.25	1.28
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	9210	8109	6140
Conductividad eléctrica	μS/cm	14208.00	15701.00	10080.01
Dureza	MgCaCO ₃	243.26	1560.00	1549.03

Cabe recalcar, que dichas tablas presentadas son el promedio de las 3 muestras determinadas, en los cuales se trabajó con 27 muestras tal como se estipula en el protocolo de monitoreo ambiental y manejo de muestras.

Seguidamente, respetando la estructura de la investigación se presenta a los resultados de acuerdo con los objetivos planteados en la investigación para lo cual se enfoca en los objetivos específicos de acuerdo con un orden metodológico para alcanzar al objetivo general.

4.2 RESULTADOS POR OBJETIVO ESPECÍFICO

4.2.1 Determinación de la dosis óptima de los reactivos en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.

Para determinar la dosis óptima de los reactivos en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni de la ciudad de Puno, se decidió trabajar con 3 dosis, los cuales se muestran en la tabla 3 del tamaño de muestra de los tratamientos, teniendo así 27 evaluaciones en 7 días, 14 días y 28 días, cuyos tratamientos estuvieron conformados por 8 ml/L, 12 ml/L, 16 ml/L de Hidróxido de Potasio (KOH) respectivamente en cada tratamiento, cuál de la misma forma se utilizó Sulfato férrico (FeSO₄) en 10 ml/L, 15 ml/L y 20 ml/L respectivamente según tratamiento. Finalmente se

utilizó el Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) en 13 ml/L , 33 ml/L y 53 ml/L cuál respectivamente para cada tratamiento, dichas dosis fueron analizadas para determinar una dosis óptima de los reactivos basado en las propiedades fisicoquímicas y el índice de biodegradabilidad en el proceso fenton del tratamiento de lixiviados.

En la tabla 7, se muestra el análisis de varianza de la dosis óptima de los reactivos en las propiedades fisicoquímicas del tratamiento de lixiviados, en los cuales se opta un valor p en el oxígeno disuelto igual a ($p= 0.132 > 0.05$), esto significa que no tienen diferencias las dosis en dicha propiedad, asimismo se muestra en la conductividad eléctrica teniendo una significancia e igual a ($p=0.948 > 0.05$) que también no se muestra las diferencias de las dosis en esta propiedad.

Tabla 07: Análisis de varianza de la dosis óptima de los reactivos en las propiedades fisicoquímicas

Propiedades	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Oxígeno Disuelto	2	8.147	4.074	2.20	0.132
Sólidos Totales Disueltos	2	16345374	8172687	4.35	0.024
Conductividad eléctrica	2	533421	266710	0.05	0.948
Índice de biodegradabilidad	2	0.03751	0.01875	1.44	0.257

En el ámbito del índice de biodegradabilidad, se tiene una significancia igual a ($p = 0.257 > 0,05$) Lo cual se muestra que los reactivos no tienen mucha diferencia entre ellas en los cuales se analizarán exhaustivamente para determinar dicha diferencia. Por otro lado, se muestran diferencias significativas en sólidos totales disueltos ($p=0.024 < 0.05$) cuya propiedad demostró diferencias significativas entre las dosis los cuales ayudarán a analizar el índice de biodegradabilidad para determinar la dosis óptima.

En la tabla 8 se muestran las agrupaciones respectivas del análisis de varianza basado en la prueba Tukey.

Tabla 08: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 99% de la dosis óptima en las propiedades fisicoquímicas

Propiedades	Dosis	N	Media	Agrupación
Oxígeno Disuelto	Dosis 3	9	2.580	A
	Dosis 1	9	2.330	A
	Dosis 2	9	1.310	A
Solidos Totales Disueltos	Dosis 2	9	6107	A
	Dosis 1	9	7687	A
	Dosis 3	9	7820	A
Conductividad eléctrica	Dosis 3	9	13330	A
	Dosis 1	9	13330	A
	Dosis 2	9	13032	A
Índice de biodegradabilidad	Dosis 3	9	0.4689	A
	Dosis 1	9	0.4164	A
	Dosis 2	9	0.3779	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Según la tabla 8, que muestra la agrupación de información utilizando el método tukey a una confianza del 99% de la dosis óptima y las propiedades físicas y químicas del proceso fenton de tratamiento de lixiviados, no se muestran diferencias significativas.

Las agrupaciones de las propiedades fisicoquímicas utilizando el método toque ese tubo que las dosis 3 tienen los mejores promedios, donde alcanza el índice de biodegradabilidad a 0.4689 seguido de una ligera diferencia a la dosis 1 con 0.4164. Asimismo, en oxígeno disuelto alcanza a un promedio de 2.580 mg/L con las dosis 3 teniendo una ligera diferencia con la dosis 1 que alcanza a 2.330 mg/L.

Lo cual conlleva que la dosis óptima es la dosis 3, conformado por 16 ml/L de Hidróxido de Potasio (KOH), 20 ml/L de Sulfato férrico (FeSO₄), 53 ml/L de Peróxido de Hidrógeno (H₂O₂). Finalmente, el indicador clave para determinar la dosis óptima es el índice de biodegradabilidad, lo cual es necesario realizar un análisis exhaustivo, para lo cual se

presenta la siguiente figura de gráfica de intervalos de índice de biodegradabilidad al 95% de intervalo de confianza.

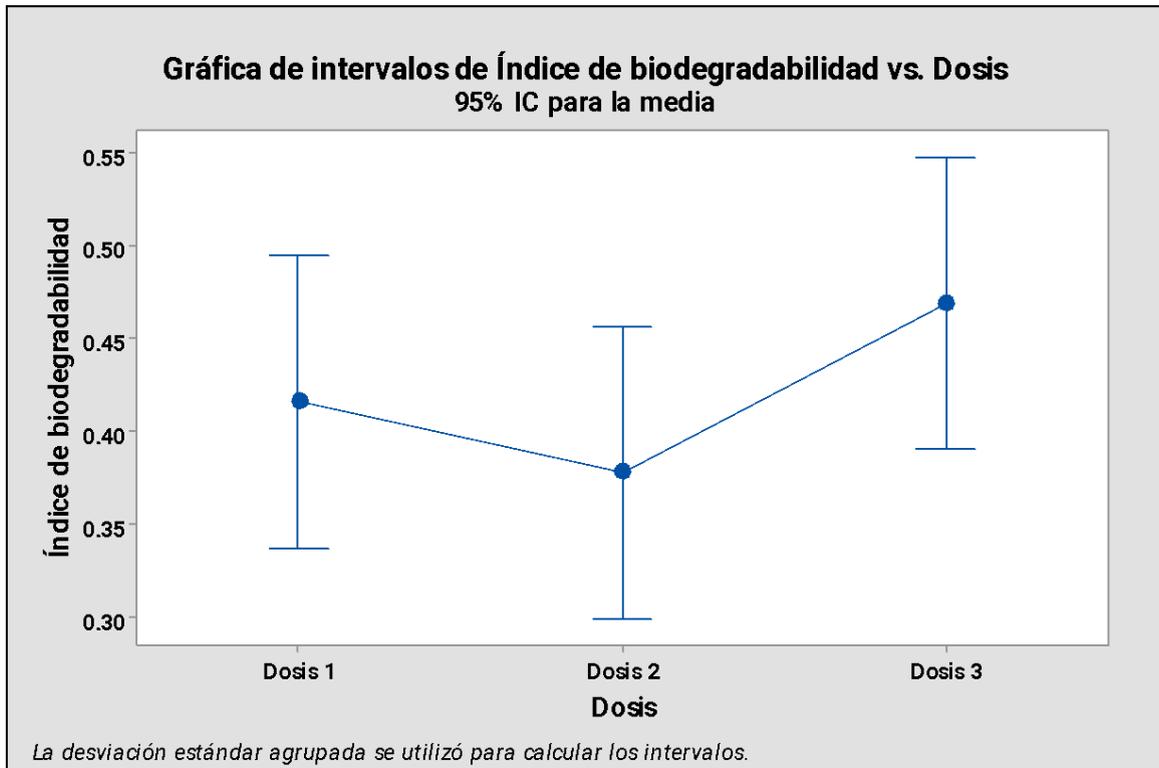


Figura 04: Gráfica de intervalos de índice de biodegradabilidad con la dosis óptima en el proceso fenton

En la tabla 5 se muestra a los intervalos de confianza de los índices de biodegradabilidad en los cuales se determina un promedio de 0.4689 en la dosis 3 que esto alcanza a un máximo de 0.5331 y también tiene la probabilidad de bajar hasta 0.3964, estos intervalos son diferentes con los demás dosis, donde la dosis 1 alcanza a un promedio de 0.4164 que también es aceptable en el índice de biodegradabilidad teniendo un máximo valor de 0.54209 y un mínimo valor de 0.215, este mínimo valor demuestra que la dosis 1 demora en poder vio degradar y no tiene la fuerza necesaria para alcanzar en los 7 días, esto demuestra la diferencia con la dosis 3 que alcanza a los 7 días con un índice de biodegradabilidad de 0.3964 equivalente a 0.4, lo que pretende demostrar que en 7 días se puede llegar a bio degradarlo la dosis 3.

El análisis del índice de biodegradabilidad de la dosis dos alcanza solamente a 0.3779 que se encuentra por debajo de 0.4, esta demostración alcanza a que muchas veces la

dosis dos no puede biodegradable hasta ni en 28 días a pesar que se tiene un valor máximo de 0.5238 registrado en 28 días y el mínimo valor de 0.28 cero dos registrado a los 7 días, realizando un análisis diferencial de la dosis 1 y la dosis 2 ambos empiezan a demorarse a los 7 días, en los cuales la dosis 1 alcanza mayor índice de biodegradabilidad a diferencia de la dosis 2 es por lo cual la dosis dos queda en el tercer lugar ganando de esta manera como dosis óptima al tratamiento 3.

4.2.2 Determinación del tiempo óptimo de contacto del reactivo en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.

Para determinar el tiempo óptimo de los reactivos en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni de la ciudad de Puno, se realizó la evaluación en 7 días, 14 días y 28 días, en los cuales se midió los siguientes parámetros.

Tabla 09: Análisis de varianza del tiempo óptimo de los reactivos en las propiedades fisicoquímicas

Propiedades	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Oxígeno Disuelto	2	33.04	16.5199	20.38	0.000
Sólidos Totales Disueltos	2	24916814	12458407	8.19	0.002
Conductividad eléctrica	2	109964995	54982497	132.16	0.000
Índice de Biodegradabilidad	2	0.25133	0.125667	30.60	0.000

En la tabla 9 se muestra el análisis de varianza del tiempo óptimo de los reactivos en las propiedades fisicoquímicas del proceso fenton en el tratamiento de lixiviados, donde se muestra diferencias significativas en las propiedades teniendo un valor de significancia ($p < 0.05$), lo cual demuestra que los valores de p muy bajos (cerca de cero) sugieren que las diferencias observadas son altamente significativas. Estos datos, conllevan a demostrar que el tiempo óptimo es significativamente diferente a los otros tiempos lo cual se muestra dicha agrupación en la tabla 10.

Tabla 10: Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 99% del tiempo óptimo en las propiedades fisicoquímicas

Propiedades	Tiempo	N	Media	Agrupación
Oxígeno Disuelto	7 días	9	3.2900	A
	14 días	9	2.317	A
	28 días	9	0.613	B
Sólidos Totales Disueltos	28 días	9	5860	A
	7 días	9	7707	A B
	14 días	9	8046.3	B
Conductividad eléctrica	28 días	9	10413	A
	7 días	9	14242.7	B
	14 días	9	15035	B
Índice de biodegradabilidad	28 días	9	0.53300	A
	14 días	9	0.4326	B
	7 días	9	0.2975	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la tabla 10, se muestra las agrupaciones, donde las propiedades como el oxígeno disuelto, los sólidos totales disueltos, la conductividad eléctrica y el índice de biodegradabilidad. Estas propiedades se midieron en diferentes momentos (7 días, 14 días, 28 días) para un grupo de 9 muestras. En los cuales se muestra en la propiedad de oxígeno disuelto que en 7 días se obtuvo 3.29 y luego estuvo bajando diferencialmente hasta los 28 días optando 0.613 lo cual se agrupa significativamente en dos grupos.

En las propiedades de sólidos totales disueltos se alcanzó el promedio máximo a los 28 días con 5860 mg/L siendo totalmente significativos a los 14 días en los cuales se incrementó ligeramente hasta 8046.3 mg/L. En el ámbito de conductividad eléctrica se tuvo una diferencia significativa en el tiempo de 28 días demostrando una diferencia significativa con los demás días trabajados.

Lo más importante, es evaluar el índice de biodegradabilidad, lo cual representa la velocidad a la que el material se degrada naturalmente en el ambiente. Los valores dados (0.53300, 0.4326, 0.2975) indican el índice de biodegradabilidad en cada período de tiempo específico, tomando en consideración que los 28 días se alcanzó a 0.53300 como un índice de biodegradabilidad eficiente, seguido de los 14 días que alcanza a 0.4326 y en los 7 días solamente a 0.2975, lo cual comprueba que los 28 días es el tiempo óptimo para obtener el índice de biodegradabilidad eficiente, para lo cual se realiza el comportamiento de las dosis y el tiempo en el proceso de obtención del índice de biodegradabilidad en el proceso fenton del tratamiento de lixiviados en la siguiente figura

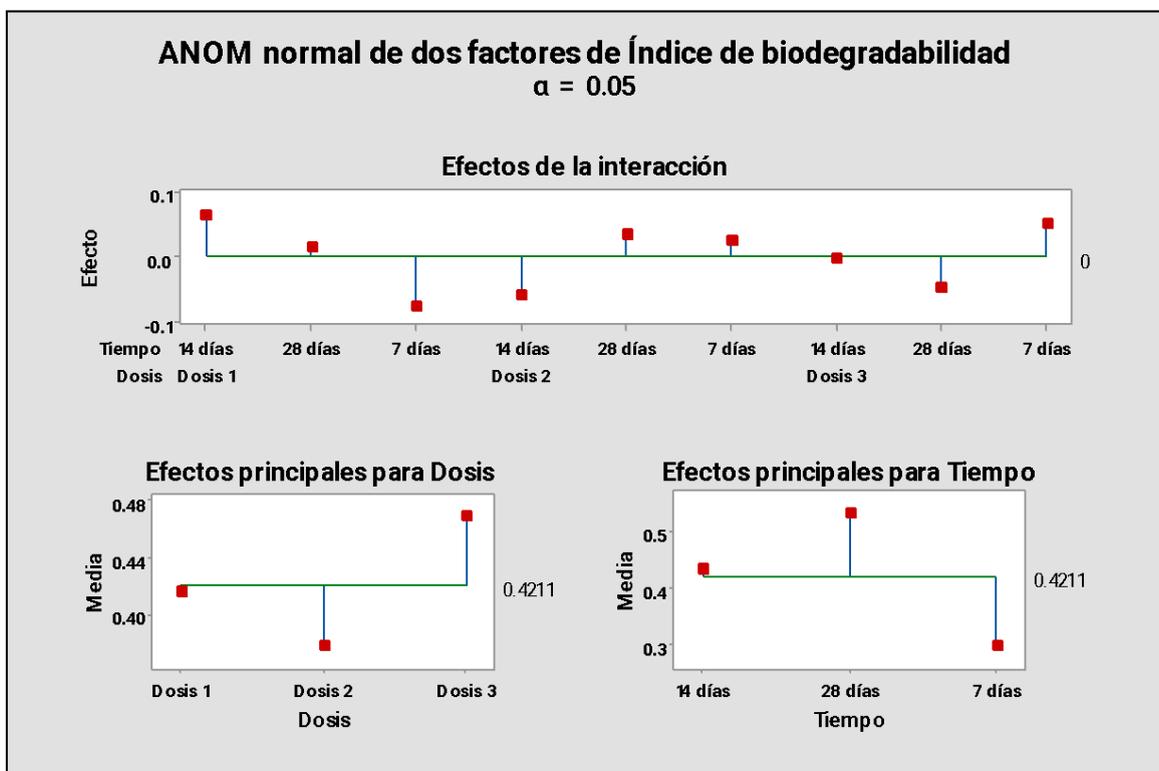


Figura 05: Comportamiento de dosis y tiempo en el proceso de obtención del índice de biodegradabilidad del proceso fenton

En la figura 6, se muestra el análisis de varianza demostrado en los dos factores del índice de biodegradabilidad basado en la dosis y el tiempo en los cuales se demuestra claramente que la tercera dosis tiene un efecto positivo en el índice de biodegradabilidad asimismo en el tiempo a los 28 días obteniendo un buen efecto en ambos casos. Los efectos de interacción de las dosis y el tiempo para obtener el índice de biodegradabilidad

se tuvo cuatro escenarios en los cuales se obtuvo a los 14 días con la dosis 1, a los 28 días con la dosis dos y a los 7 días con la dosis 3, esto comprueba que la dosis 3 puede alcanzar en 7 días el índice de biodegradabilidad a la diferencia de la dosis 1 que espera hasta los 28 días, demostrando que la dosis 3 es muy buena y de la misma forma que los 28 días se obtiene todas las dosis lo cual concluye que los 28 días es el tiempo óptimo para las 3 dosis.

4.2.3 Identificar el valor óptimo del pH en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.

Como tercer objetivo específico de identificar el valor óptimo del pH en el proceso fenton como parte del tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario, se muestra el comportamiento de los promedios del PH en el proceso fenton según el tiempo que estuvo pasando en el tratamiento lo cual se muestra en la tabla 11

Tabla 11: Comportamiento de promedios pH en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados según el tiempo.

Tiempo	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
14 días	3	9.98	2.16	(7.73; 12.22)
28 días	3	7.3400	0.0346	(5.0924; 9.5876)
7 días	3	9.513	1.716	(7.266; 11.761)

Desv. Est. agrupada = 1.59100

El comportamiento promedio hallado para el pH, se obtiene el tiempo óptimo y el pH precisó de 7.34 a los 28 días, hallado con una desviación estándar de 0.0346 donde es el intervalo de confianza al 95% se mueve desde 5.0924 como límite inferior hasta 9.5876 como límite superior. Esto tuvo una diferencia ligera con los otros días, por ejemplo a los 7 días se obtuvo un pH del 9.513 y a los 14 días con un pH de 9.95 ambos tuvieron una desviación estándar de 1.716 y 2.16 respectivamente.

Seguidamente, se muestra el gráfico de intervalos de pH de las aguas residuales el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en los cuales se obtiene el menor pH o muy cercano al 7 a los 28 días obteniendo un total de 7.34 con las probabilidades mayores de

9.58 y menores hasta 5.09. Respecto a los otros días, si alcanza apenas en los intervalos de confianza inferior teniendo a los 7 días con 7.26 y en 14 días a 7.73, dichos valores se encuentran muy lejos del promedio por lo cual no se considera como tiempo adecuado en la obtención del pH, concluyendo de esta manera que a los 28 días se alcanzó 7.34.

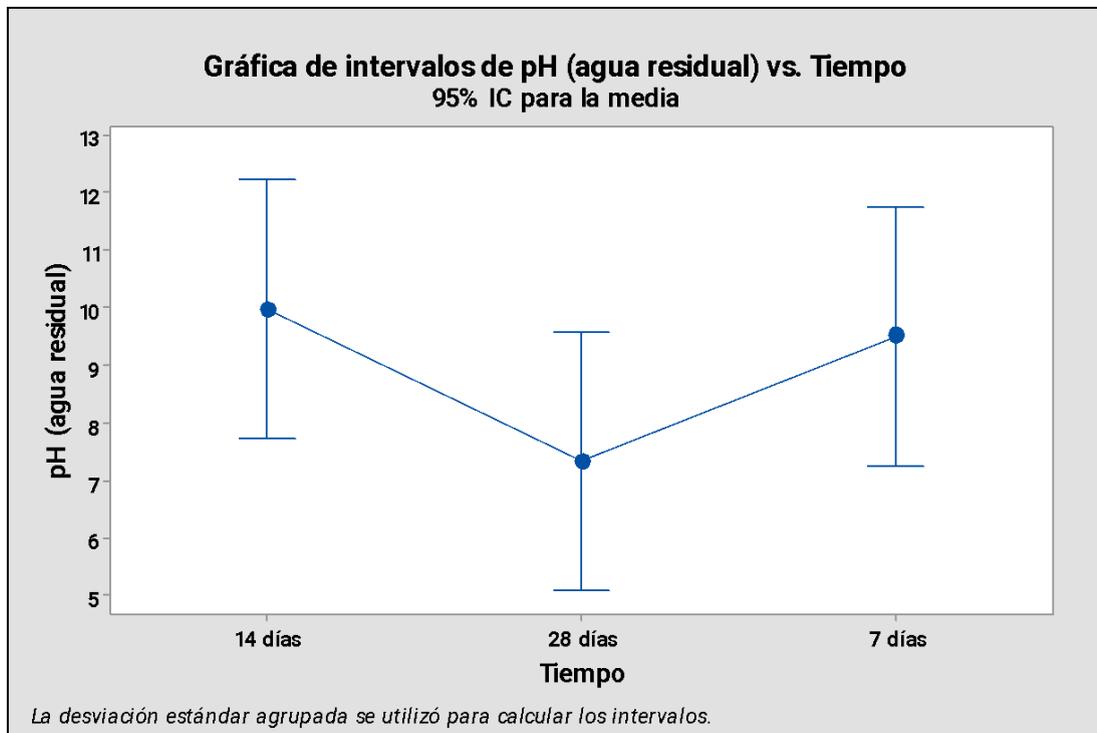


Figura 06: Gráfica de intervalos de pH de aguas residuales con el tiempo óptimo en el proceso fenton

En la tabla 12 se muestra el análisis de varianza del tiempo óptimo de los reactivos en el pH, donde se muestra el valor de significancia igual a ($p = 0.176 > 0,05$) lo cual significa que los cambios en el pH no son significativos y solamente se puede mencionar que son ligeramente diferentes ambas dosis y el tiempo.

Tabla 12: Análisis de varianza del tiempo óptimo de los reactivos en el pH de aguas residuales en el proceso fenton

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	2	11.89	5.945	2.35	0.176
Error	6	15.19	2.531		
Total	8	27.08			

En la figura 8 se muestra el comportamiento de la de dosis y el tiempo en el proceso de optimización del pH óptimo, donde se muestra en la dosis 3 un efecto positivo muy cercano al pH neutro (7) y en el tiempo se obtuvo a los 28 días teniendo de esa manera la dosis y el tiempo óptimo para la obtención del pH.

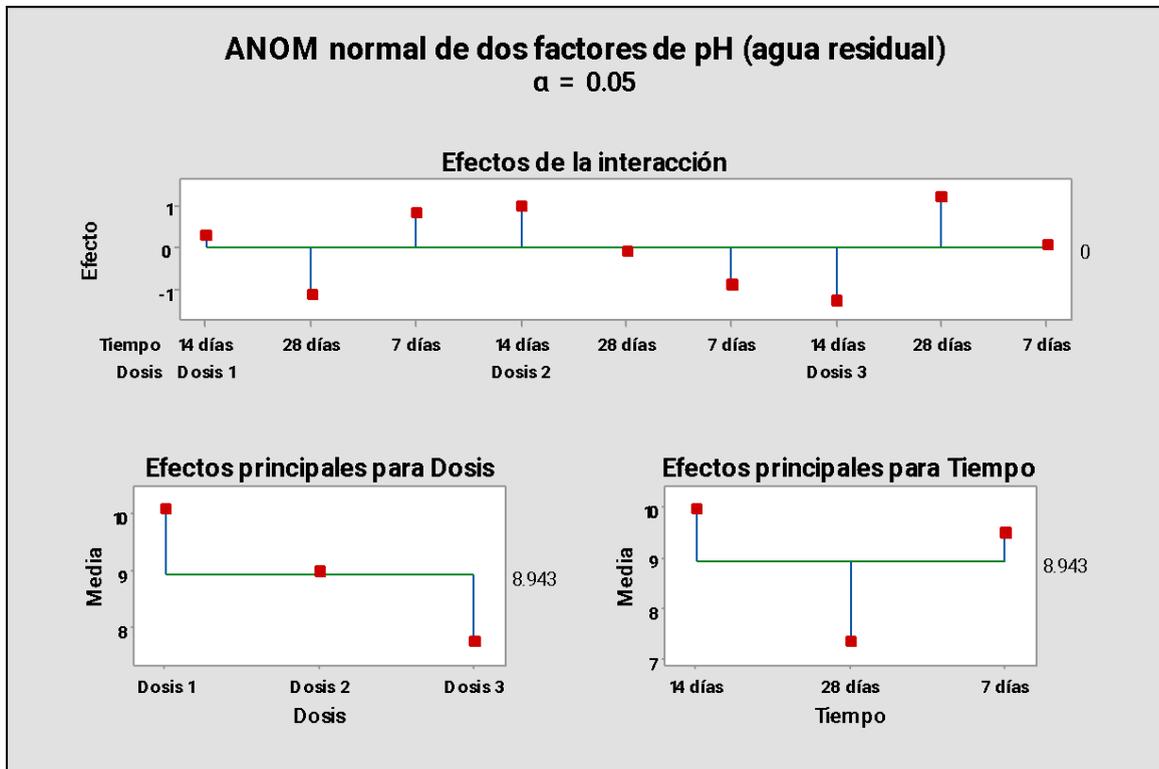


Figura 07: Comportamiento de dosis y tiempo en el proceso de obtención de pH óptimo del agua residual del proceso fenton

Finalmente, se muestra los efectos de interacción dosis con el tiempo, donde las dosis 1 se alcanza los 28 días, en la dosis dos se alcanza los 7 días y a la dosis 3 se alcanza los 28 días, realizando el promedio de interacciones se concluye una vez más que se obtuvo 7.34 de ph con las dosis 3 en 28 días, siendo estas tiempo y dosis óptimo.

4.2.4 Cálculo del índice de biodegradabilidad en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno. La biodegradabilidad en aguas residuales se refiere a la capacidad de los compuestos orgánicos presentes en el agua de degradarse mediante procesos biológicos. Es fundamental para evaluar la posibilidad de tratamiento biológico. Los compuestos biodegradables pueden ser descompuestos por microorganismos, mientras que los no biodegradables persisten en el medio ambiente.

Para calcular la biodegradabilidad, se utiliza la relación entre la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Esta relación se expresa como el índice DBO/DQO. Valores superiores a 0,4 indican una buena biodegradabilidad, mientras que valores bajos sugieren la presencia de compuestos no biodegradables

Tabla 13: Cálculo de Índice de biodegradabilidad del proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni

Tratamientos	Tratamiento 1	7 días	14 días	28 días
Tratamiento 1	DQO	7654.1	3749.3	4460.5
	DBO	1653	1841	2418
	Índice de Biodegradabilidad	0.45463	0.49102	0.46542
Tratamiento 2	DQO	5867	4987.2	4461.5
	DBO	1644	1645	2337.1
	Índice de Biodegradabilidad	0.2802	0.3298	0.5238
Tratamiento 3	DQO	3435.8	3649.4	4560
	DBO	1362	1741	2431
	Índice de Biodegradabilidad	0.3964	0.4771	0.4772

En la figura 9 se muestra la mejora del índice de biodegradabilidad según el tiempo y dosis en el proceso fenton del tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni, donde los 7 días se registró en la dosis 1 un índice de biodegradabilidad de 1.22, Esto mejoró significativamente a los 14 días registrando un índice de biodegradabilidad de

0.49, finalmente alcanzó hasta 0.54. El comportamiento del índice de biodegradabilidad en la dosis dos empezó de 0.28 a los 7 días, luego se registró un índice de biodegradabilidad de 0.33 a los 14 días teniendo un ligero incremento luego se incrementó hasta 0.52. Finalmente, la dosis 3 empieza con 0.4 de índice de biodegradabilidad registrada a los 7 días lo cual demuestra la rápida recuperación del índice de biodegradabilidad desde el día cero, luego a los 14 días se registra 0.48 y termina con 0.533, esto demuestra que la dosis 3 es la óptima puesto que el índice de biodegradabilidad fue más rápido en dicha dosis.

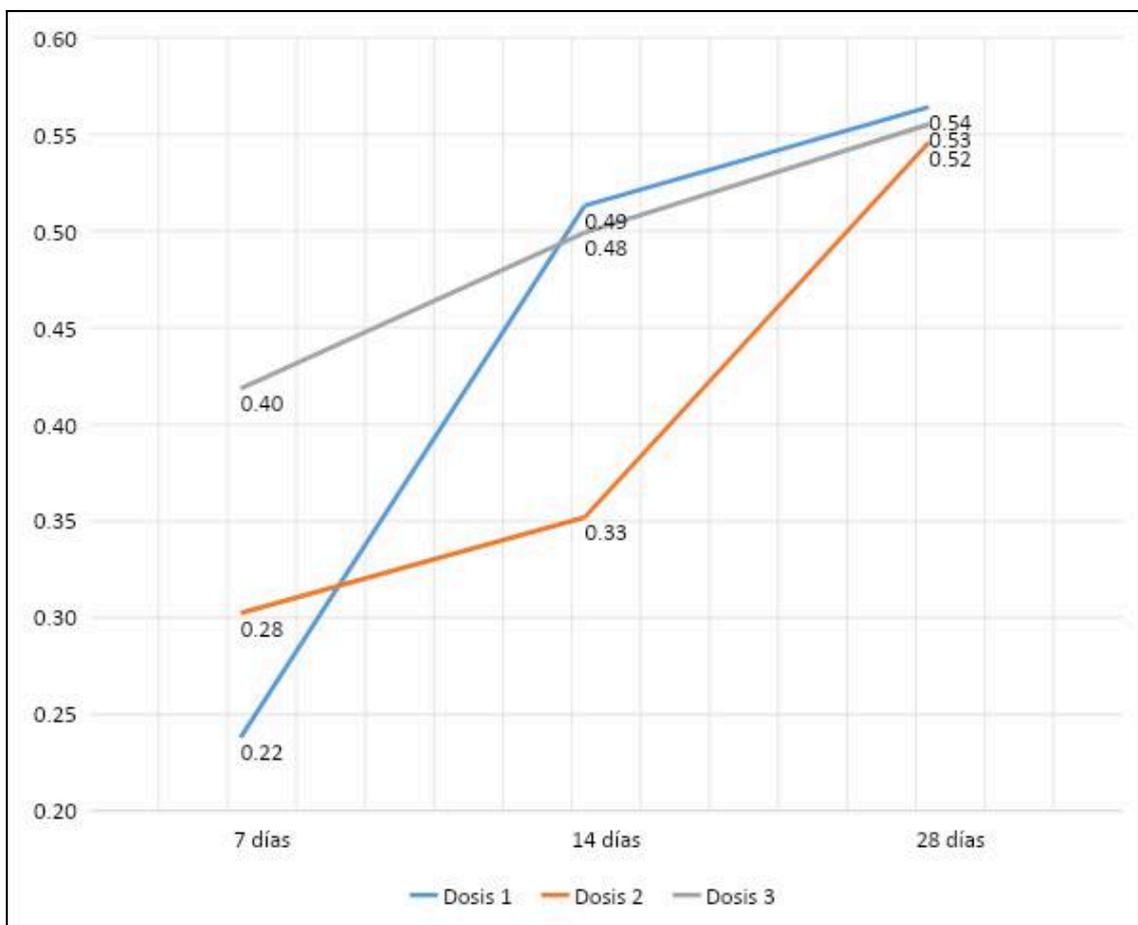


Figura 08: Mejora del índice de biodegradabilidad según el tiempo y dosis en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni

4.3 DISCUSIÓN

El tratamiento de lixiviados de vertederos, una corriente compleja de aguas residuales que contiene diversos compuestos orgánicos persistentes y metales pesados, ha

representado un desafío significativo tanto para los investigadores como para los profesionales del medio ambiente (Wang et al., 2009). La gestión adecuada de estos lixiviados es esencial para minimizar el impacto ambiental de los vertederos y proteger los recursos hídricos superficiales y subterráneos adyacentes (Martinho & Santos, 2011). El proceso Fenton se ha utilizado para mejorar la degradación de estos contaminantes difíciles de tratar, y su optimización puede ofrecer soluciones más eficaces para el manejo de lixiviados. Bajo esa línea se realizó esta investigación, llegando a resultados que en este apartado serán contrastados con antecedentes según objetivos.

Respecto, al objetivo general: optimizar el proceso fenton para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno, se optimizó con una dosis de 16 ml/L de Hidróxido de Potasio (KOH), 20 ml/L de Sulfato férrico (FeSO_4), 53 ml/L de Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) a los 28 días como elementos óptimos en el tratamiento de lixiviados. Datos que son contrastados con el estudio de León, et al. (2020) quienes encontraron que las condiciones óptimas para el proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Porlón fueron de 400 mg/L de H_2O_2 y 1000 mg/L de FeSO_4 a un pH de 3. Aunque las concentraciones de los reactivos difieren, ambos estudios coinciden en la eficacia del proceso Fenton para la remoción de contaminantes en lixiviados, con León et al. alcanzando un 85-86.4% de remoción de DBO y un 73-73.9% de remoción de DQO. De igual manera con Guevara (2019) quien utilizó condiciones similares de 400 mg/L de H_2O_2 y 1000 mg/L de Fe^{2+} a un pH de 3, logrando una alta remoción de materia orgánica (91% de turbidez y 87% de color). La eficacia del proceso Fenton en ambos estudios es evidente, con porcentajes de remoción comparables de DBO y DQO. A ello, Diaz, et al. (2021) demostraron que el tratamiento con Fenton, seguido de oxidaciones adicionales, puede ser extremadamente efectivo para tratar lixiviados complejos y reducir significativamente su carga contaminante.

Mediante el contraste de resultados con antecedentes, se demuestra que las concentraciones de reactivos y el pH óptimo difieren entre los estudios, mientras que León et al.(2020) y Guevara (2019) usaron concentraciones más altas de H_2O_2 y FeSO_4 a

un pH de 3, el estudio en Itapalluni - Puno utilizó concentraciones más bajas de reactivos y determinó un tiempo óptimo de contacto de 28 días para alcanzar el pH neutro, además, el estudio de Itapalluni - Puno requería 28 días para optimizar el tratamiento, en contraste con los otros estudios que evaluaron periodos de tiempo más cortos. La eficiencia de remoción de DQO en el estudio de Díaz et al. (2021) es superior (96.5%) cuando se combina con otras técnicas de oxidación, lo que sugiere que el proceso Fenton puede mejorarse aún más con tratamientos adicionales. Mediante estas comparaciones realizadas, subrayamos que, aunque los estudios difieren en las concentraciones de reactivos y en el tiempo de contacto, todos coinciden en la alta eficacia del proceso Fenton para el tratamiento de lixiviados. La combinación del proceso Fenton con otras técnicas de oxidación avanzada, ofrece aún mejores resultados, dado que la optimización del proceso Fenton en Itapalluni - Puno demuestra que es posible alcanzar una alta eficiencia en la remoción

de contaminantes utilizando concentraciones específicas de reactivos y un tiempo de contacto adecuado. En relación al primer objetivo específico: Establecer la dosis óptima de los reactivos en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno, se demostró que la dosis óptima de los reactivos en el proceso fenton fue de 16 ml/L de Hidróxido de Potasio (KOH), 20 ml/L de Sulfato férrico (FeSO_4), 53 ml/L de Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) alcanzando un índice de biodegradabilidad de 0.4689 en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno. Resultados que son comparados y discutidos con León, et al. (2020) quienes demostraron que en el relleno sanitario Porlón de Riobamba, Ecuador, se observaron diferencias significativas en las concentraciones de reactivos y en las condiciones de pH. León et al. utilizaron 400 mg/L de H_2O_2 y 1000 mg/L de FeSO_4 a un pH de 3, logrando eficiencias de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 85.0% en verano y 86.4% en invierno, y de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 73.0% en invierno y 73.9% en verano. Además, alcanzaron reducciones en la turbidez y el color de hasta 91.0% y 87.3% respectivamente, aunque concluyeron que las características del lixiviado tratado no

fueron suficientes para su descarga en cuerpos hídricos. Asimismo, Lapayre y Pequeño (2019) analizaron el impacto de la oxidación Fenton en los lixiviados de la infraestructura de disposición final de residuos sólidos de Cajamarca, utilizando un método cuasiexperimental, donde observaron disminuciones significativas en la DQO y la DBO en diversas pozas de tratamiento, con valores de DQO reduciéndose desde 1505.1 mg/L a 314 mg/L y DBO desde 254 mg/L a 166 mg/L en una de las pozas.

En comparación, el estudio en Itapalluni - Puno mostró que, aunque las concentraciones de reactivos utilizadas fueron menores y el tiempo de tratamiento más prolongado (28 días), se logró una optimización efectiva del proceso Fenton con un índice de biodegradabilidad razonable. Por tanto, aunque las metodologías y condiciones varían entre los estudios, todos coinciden en la efectividad del proceso Fenton para el tratamiento de lixiviados, las diferencias en las dosis de reactivos, el pH y los tiempos de contacto destacan la necesidad de adaptar el proceso Fenton a las características específicas de cada lixiviado

En cuanto, al segundo objetivo específico: Determinar el tiempo óptimo de contacto del reactivo en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno, donde demostró que el tiempo óptimo de contacto del reactivo en el proceso fenton fue de 28 días con la dosis 3 alcanzando un índice de biodegradabilidad de 0.533 y mejora de otras propiedades fisicoquímicas en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno. Datos que son contrastados con Ninan y Zambrano (2019) quienes analizaron el tratamiento de electrocoagulación en un reactor monopolar batch para lixiviados del relleno sanitario de Jaquira. En su estudio experimental, encontraron que en 30 minutos lograron remociones óptimas de DBO5 y TSS, y que para la DQO se requería un tiempo mayor de 120 minutos para obtener una remoción óptima. Mediante el contraste de resultados El estudio en Itapalluni - Puno sugiere que un tiempo de contacto prolongado de 28 días es necesario para optimizar el tratamiento de lixiviados mediante el proceso Fenton, mientras que Ninan y Zambrano (2019) encontraron que periodos mucho más cortos (30 minutos para DBO5 y TSS, y 120

minutos para DQO) eran suficientes para alcanzar remociones óptimas utilizando el método de electrocoagulación. Esta diferencia significativa en los tiempos de contacto puede estar relacionada con la naturaleza de los lixiviados y la eficiencia de los métodos de tratamiento empleados, dado que la eficiencia de remoción de la DQO mostró que el proceso requería un tiempo mayor para alcanzar una remoción óptima. En contraste, el índice de biodegradabilidad de 0.533 alcanzado en el estudio de Itapalluni - Puno indica que, aunque el tiempo de contacto es mucho más largo, el proceso Fenton es efectivo para mejorar las propiedades fisicoquímicas del lixiviado. Ninan y Zambrano (2019) ajustaron sus condiciones experimentales analizando la densidad de corriente y la distancia entre electrodos, mientras que el estudio en Itapalluni se centró en las dosis de reactivos y el tiempo de contacto. Ambos estudios destacan la importancia de la optimización de las condiciones de tratamiento para lograr eficiencias altas en la remoción de contaminantes en lixiviados, demostrado que aunque el tiempo de contacto óptimo varía ampliamente entre los estudios, ambos métodos son efectivos para el tratamiento de lixiviados, y la elección del método puede depender de las características específicas de los lixiviados, los recursos disponibles y los objetivos del tratamiento.

Respecto, al tercer objetivo específico: Identificar el valor óptimo del pH en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Puno, donde se demostró que el tiempo óptimo de contacto para alcanzar el pH neutro (aproximadamente 7) fue de 28 días, datos que son comparados y discutidos con el estudio de Díaz, et al. (2021) quienes demostraron que los lixiviados estabilizados con un pH superior a 8 presentan una composición más compleja, requiriendo oxidaciones fuertes como el proceso Fenton para su tratamiento eficaz. En su investigación, lograron una eficiencia del 80% en la oxidación inicial mediante el proceso Fenton, seguida de una combinación de ozono y UV, lo que resultó en una degradación completa del material orgánico y una reducción de 14,421.63 mg/L en la DQO del lixiviado crudo, alcanzando una eficiencia del 96.50%. Asimismo, Jara (2019) determinó que el nivel de riesgo ambiental de las aguas residuales era moderado y que las concentraciones de DQO y pH estaban por debajo de los límites

máximos permisibles establecidos por el Ministerio del Ambiente. Su estudio alcanzó un máximo porcentaje de remoción de DQO del 94.70% a un pH de 5, con una densidad de corriente de 23.81 mA/cm², una dosis de H₂O₂ de 10 mL/L y un tiempo de tratamiento de 30 minutos.

Por tanto estos estudios respaldan la idea de que el proceso Fenton, ya sea en su forma convencional o en combinación con otros métodos de oxidación avanzada, es altamente eficaz para el tratamiento de lixiviados y aguas residuales, donde la identificación de un pH óptimo alrededor de 7, como se observó en el relleno sanitario Itapalluni – Puno, y la utilización de un tiempo de contacto adecuado son cruciales para mejorar la eficiencia del tratamiento y garantizar la reducción significativa de los contaminantes.

En cuanto, al cuarto objetivo específico: Calcular el índice de biodegradabilidad en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno, se encontró que el índice de biodegradabilidad en el proceso fenton fue de 0.52 y el mínimo valor de 0.2802 en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario, datos que son discutidas y comparados con otros estudios, como es de Medina, et al. (2017), quien demostró que los índices de biodegradabilidad de 0.568 y 0.329 para las temporadas de lluvia y estiaje, respectivamente. Además, se logró una reducción del 42% en la DQO en ambas temporadas, concluyendo que el proceso Fenton es una alternativa eficaz para tratar sustancias persistentes en los lixiviados y puede ser utilizado como un post-tratamiento. De igual manera con Marreros y Meléndez (2021) quienes mostraron una remoción óptima de DQO bajo condiciones específicas: tiempo de tratamiento de 75 minutos, concentración de H₂O₂ de 600 mg/L, Fe²⁺ de 1000 mg/L, temperatura de 20°C, pH de 2.88, relación DQO/H₂O₂ de 6.2, y un volumen de muestra de 600 ml. También valoraron el costo del tratamiento de oxidación avanzada Fenton convencional, calculando un costo de S/. 2,479.20 y concluyeron que este proceso demostró tener resultados eficientes y viables para su uso en el tratamiento de aguas residuales e incluso en rellenos sanitarios.

Comparando estos estudios con los resultados obtenidos en el relleno sanitario Itapalluni – Puno, se observa que el proceso Fenton puede alcanzar un alto índice de biodegradabilidad, similar a los índices reportados por Medina et al. y Marreros y Meléndez, reafirmando la eficacia del proceso Fenton para mejorar la biodegradabilidad de los lixiviados, reduciendo significativamente la DQO y permitiendo un tratamiento más eficiente de estos residuos complejos, además, la comparación de costos y condiciones óptimas de tratamiento demuestra que el proceso Fenton es una opción viable y eficaz para la gestión de lixiviados en distintos contextos y condiciones ambientales.

CONCLUSIONES

- **PRIMERA:** El proceso fenton para el tratamiento de lixiviados se optimizó con una dosis de 16 ml/L de Hidróxido de Potasio (KOH), 20 ml/L de Sulfato férrico (FeSO_4), 53 ml/L de Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) a los 28 días como elementos óptimos en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.
- **SEGUNDA:** La dosis óptima de los reactivos en el proceso fenton fue de 16 ml/L de Hidróxido de Potasio (KOH), 20 ml/L de Sulfato férrico (FeSO_4), 53 ml/L de Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) alcanzando un índice de biodegradabilidad de 0.4689 en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.
- **TERCERA:** El tiempo óptimo de contacto del reactivo en el proceso fenton fue de 28 días con la dosis 3 alcanzando un índice de biodegradabilidad de 0.533 y mejora de otras propiedades fisicoquímicas en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.
- **CUARTA:** El valor óptimo del pH es 7.34 en el proceso fenton y se alcanzó a los 28 días con una desviación estándar de 0.0346 en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Puno.
- **QUINTA:** El índice de biodegradabilidad en el proceso fenton se obtuvo de la demanda bioquímica de oxígeno dividido con la demanda química de oxígeno, alcanzando en el tratamiento 2 el máximo valor de 0.52 y el mínimo valor de 0.2802 en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.

RECOMENDACIONES

- **PRIMERA:** A la Municipalidad Provincial de Puno, por medio de la Gerencia Integral de Residuos Sólidos, evaluar el proceso Fenton para el tratamiento de lixiviados, para una mayor efectividad en el proceso y tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni- Puno.
- **SEGUNDA:** Al personal encargado del relleno sanitario Itapalluni Puno, proyectar las dosis óptimas de los reactivos en el proceso Fenton para una mayor efectividad frente a otro tipo de lixiviados jóvenes provenientes de diferentes botaderos municipales o rellenos sanitarios de la ciudad de Puno.
- **TERCERA:** Al personal técnico de la administración de residuos sólidos a determinar el tiempo óptimo de contacto del reactivo en el proceso Fenton para una mayor efectividad del proceso de tratamientos de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.
- **CUARTA:** A la subgerencia de valorización y disposición final de residuos ,se recomienda utilizar el proceso fenton para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni ya que su dosificación es óptima lo cual contribuirá a un mejor manejo y eficacia y así poder replicarse en otros rellenos sanitarios.
- **QUINTA:** A la población de Puno tomar conciencia sobre la correcta segregación de sus residuos sólidos , para un mejor manejo y tratamientos de estos . para así poder disminuir la generación de lixiviados.

BIBLIOGRAFÍA

- Astorga, E. (2018). Tratamiento de lixiviados del botadero de residuos sólidos de la ciudad de Puno con Surfactantes Aniónicos. *[Tesis de pregrado]*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Bautista, P., Mohedano, A., Casas, J. A., Zazo, J. A., & Rodriguez, J. J. (2008). An overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment. *Wiley. Wiley, 83(10), 1323 - 1338.*
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jctb.1988>
- Bazán - Suárez, D., & Chiclla - Salazar, A. (2023). Efecto de *Pseudomonas putida* en la variación de la demanda bioquímica de oxígeno en los efluentes de la PTAR-Collique, Lima. *Revista South Sustainability, 4(1), 1 - 9.*
<https://doi.org/10.21142/SS-0401-2023-e071>
- Cadavid, A., Rivera, J., & Becerra, D. (2022). Procesos avanzados de oxidación usando peróxido de hidrógeno activado con diferentes catalizadores para tratamiento de lixiviado de relleno sanitarios . *Revista Ing-NoVA, 1(2), 205 - 214.*
<https://doi.org/https://doi.org/10.32997/rin-2022-4005>
- Castañeda, A. (2014). Proceso de oxidación avanzada aplicados en el tratamiento de aguas de la industria de petróleo. *[Trabajo del Fin del grado]*. ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA "JULIO GARAVITO", Colombia.
- Ccente, A., & Huayllani, I. (2021). Eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno en la planta de tratamiento de aguas residuales de filtro percolador del distrito de Paucará. *[Tesis de Pregrado]*. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
- Charaja, F. (2019). *El MAPIC de la investigación científica* (Cuarta ed.). Puno, Perú: Corporación MERU E.I.R.L.
- Colombo, A., Modenes, A., Goes, D., Giordani, S., Borba, F., & Espinoza, F. (2018). Treatment of sanitary landfill leachate by the combination of photo Fenton and

- biological processes. *Revista Journal of Cleaner Production*, 214(1), 145 - 153.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.310>
- Díaz, S., Barceló, I., Solís, H., Gómez, S., Vallejo, G., & Méndez, R. (2021). Tratamiento del lixiviado de un relleno sanitario utilizando oxidaciones avanzadas combinadas. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 7(7), 1 - 10.
http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/9278/Tratamiento_del_lixivado_2021.pdf?sequence=1
- González, J., & Godoy, S. (2021). Evaluación de la adaptación de la lombriz roja «Eisenia foetida» a lodos de lixiviación de un relleno sanitario con vistas a su utilización en procesos de vermicompostaje. *Revista Conciencia Digital*, 4(3.1), 6 - 22.
<https://doi.org/https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i3.1.1808>
- Guevara, B. (2021). Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales para el diseño de un relleno sanitario en el distrito de Chambara. [Tesis de Pregrado]. Universidad Continental, Huancayo.
- Guevara, M. (2019). Construcción de un prototipo Fenton coadyuvante de tratamientos biológicos para lixiviados en el relleno Sanitario Porlón. [Tesis de pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- Gutiérrez, M. (2017). Tratamiento del Lixiviado del relleno sanitario de Bacalar Quintana Roo, a través de Coagulación - Floculación y foto - Fenton. [Tesis de pregrado]. Universidad de Quintana Roo, México.
- Hernández - Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de Investigación, las rutas cuantitativas, cualitativas y mixta*. México: McGRAWHILL INTERAMERICANA EDITORES, S. A. de C.V. <https://doi.org/ISBN:978-1-4562-6096-5>
- Jácome, J. (2014). Validación de métodos analíticos para la determinación de la demanda química de oxígeno, sólidos totales disueltos y sólidos totales suspendidos en

- matrices de agua clara y residual en el centro de investigaciones y control ambiental. *[Tesis de Pregrado]*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Janon, F., Fausto, P., & Neira, M. (2019). Producción de lixiviados, comparación del método de tchobanoglous con experimentos en lisímetros. *Revista Del Instituto de Investigaciones de La Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas.*, 21(42), 63 - 76.
- Jara, R. (2019). Aplicación del método de electro – Fenton para el tratamiento de aguas residuales del Matadero Municipal Ayaviri - Puno. *[Tesis de pregrado]*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Jiménez, T. (2021). Generación de lixiviados en vertederos. *[Trabajo de Fin de grado]*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Lapayre, M., & 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, Cajamarca.
- León, J., Godoy, S., & Guevara, M. (2020). Eficiencia socio ambiental de la reacción fenton en el tratamiento de lixiviados. *Revista Ciencia Digital*, 4(3), 271 - 285. <https://doi.org/https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i3.1333>
- Lopez, J. (2022). Remoción de demanda química de oxígeno de aguas residuales empleando carbón activado en la laguna de oxidación, Nueva Chimbote - 2022. *[Tesis de pregrado]*. Universidad César Vallejo, Lima.
- Marreros, P., & Meléndez, M. (2021). Análisis de la viabilidad y eficiencia del proceso de oxidación avanzada Fenton aplicado como tratamiento de aguas residuales industriales. *[Tesis de Pregrado]*. Universidad privada del Norte, Lima.
- Martinho, G., & Santos, J. F. (2011). Performance Indicators for Leachate. *Management: Municipal Solid Waste Landfills in Portugal*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5772/19216>

- Medina, C. (2018). Aplicación del proceso de Fenton para degradar aguas residuales del Camal Chota. *[Tesis de Pregrado]*. Universidad Nacional Autónoma de Chota, Chota.
- Medina, C. (2018). Aplicación del proceso Fenton para degradar aguas residuales del camal de Chota. *[Tesis de pregrado]*. Universidad Nacional Autónoma de Chota, Chota.
- Medina, C., Montero, E., & Cruz, L. (2017). Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. *Revista Sociedad Quim Perú*, 82(4), 454 - 467.
- Mejía, C., & Torres, D. (2018). Tendencias tecnológicas de depuración de lixiviados en rellenos sanitarios iberoamericanos. *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 125 - 147.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a8>
- Méndez, R., May, A., San Pedro, L., Rojas, M., & Giácoman, G. (2019). Leachate Treatment with a combined fenton/filtration/adsorption processes Tratamiento de lixiviados con una combinación de procesos Fenton/filtración/adsorción. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(2), 1 - 9.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n2.013>
- MINAM. (2010). *Aprueban límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. El Peruano.
- Ninan, K., & Zambrano, M. (2019). Tratamiento de los Lixiviados del relleno sanitario de Jaquira por electrocoagulación. *[Tesis de pregrado]*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco.
- Rubio - Clemente, A., Chica, E., Peñuela, G. (2014). Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. *Revista Ingeniería Ambiental*, 16(2), 211 - 223.
- Silva, J., Silva, V., Cardoso, V., Machado, A., & Trovó, A. (2016). Treatment of Sanitary Landfill Leachate by Photo Fenton Process: Effect of the Matrix Composition. .

- Revista of Brazilian Chemical Society*, 27(12), 2264 - 2272.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5935/0103-5053.20160120>
- Singa, P. K., Isa, M. H., Ho, Y., Lim, J. (2018). Treatment of hazardous waste landfill leachate using Fenton oxidation process. *EDP Sciences*, 34, 02034-02034.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183402034>
- Tello, P., & Fernández, G. (2012). Evaluación de la generación de lixiviados en pacas impermeabilizadas de residuos sólidos urbanos, experimento a gran escala. *Revista Int. Contam. Amb.*, 28(1), 83 - 87.
- Torri, S. (2017). ¿Qué es un relleno sanitario? *Revista Centro de Estudios y Desarrollo de Políticas Públicas*.
- Tumi, J. (2016). Actitudes y prácticas ambientales de la población de la ciudad de Puno, Perú sobre gestión de residuos sólidos. *Universidad del Zulia*, 25(4), 267-284.
<https://doi.org/https://www.redalyc.org/journal/122/12249087021/html/>
- Vasquez, A., Iannacone, J., Peña, A., & Romero, L. (2022). Tratamiento de lixiviados por oxidación avanzada: una revisión. *Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura*, XXVII(33), 57 - 74.
<https://doi.org/https://doi.org/10.24265/campus.2022.v27n33.04>
- Vilca, C., & Sanchez, Y. (2020). Remoción de plomo producto de lixiviados en rellenos sanitarios. *[Tesis de pregrado]*. Universidad Peruana Unión, Tarapoto.
- Wang, X., Chen, S., & Wang, K. (2009). Pilot study on the advanced treatment of landfill leachate using a combined coagulation, fenton oxidation and biological aerated filter process. *Elsevier BV*, 29(4), 1354 - 1358.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.10.006>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia.Optimización del Proceso Fenton para el Tratamiento de Lixiviados en el Relleno Sanitario Itapalluni – Puno 2023

Problema	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES	Dimensiones	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo es el proceso fenton para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno?</p> <p>Problema específicos</p> <p>¿Cuál es la dosis óptima de los reactivos en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno?</p> <p>¿Cuál es el tiempo óptimo de contacto del reactivo en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno?</p> <p>¿Identificar el valor óptimo del pH en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Puno?</p> <p>¿Cuál es el índice de biodegradabilidad en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Optimizar el proceso fenton para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Establecer la dosis óptima de los reactivos en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.</p> <p>Determinar el tiempo óptimo de contacto del reactivo en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.</p> <p>Identificar el valor óptimo del pH en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Puno.</p> <p>Calcular el índice de biodegradabilidad en el proceso fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni – Puno.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Es posible optimizar el Proceso Fenton para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>La dosis óptima de los reactivos en el proceso Fenton se logra mayor índice de biodegradabilidad en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno.</p> <p>El tiempo óptimo del contacto del reactivo en el proceso Fenton se logra el mayor índice de biodegradabilidad en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno.</p> <p>El valor óptimo del pH en el proceso Fenton se logra el mayor índice de biodegradabilidad en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno.</p> <p>Es posible obtener el índice de biodegradabilidad con una óptima concentración, tiempo y pH en el proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Itapalluni Puno.</p>	<p>Proceso fenton</p> <p>Tratamiento de lixiviados</p>	<p>Concentración de los reactivos</p> <p>Tiempo de contacto del reactivo</p> <p>Potencial de hidrógeno pH</p> <p>Índice de biodegradabilidad</p>	<p>Tipo de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicada <p>Método de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hipotético deductivo <p>Diseño</p> <ul style="list-style-type: none"> • Experimental <p>Área de estudio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relleno Sanitario Itapalluni Puno <p>Población</p> <ul style="list-style-type: none"> • La población está constituida por todo el proceso de lixiviación del relleno sanitario del sector Itapalluni. <p>Muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se realizará los tratamientos del proceso Fenton

Anexo 02: Instrumento de recolección de datos

GUÍA DE OBSERVACIÓN – LABORATORIO

Procedencia: Relleno Sanitario Itapalluni - PUNO

Interesado:

Muestreo:

Fecha de recepción:

Características:

Aspecto:

Color:

Nombre del Reactivo(s): HIDRÓXIDO DE POTASIO, SULFATO FÉRRICO,
PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

(Dosis 1)

Concentración de Reactivos: muestra 25 Litros

Reactivo	Concentrado	Dosis	Unidad
KOH	=		
FeSO4	=		
H2O2	=		

Potencial de hidrógeno pH: 7.85

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS

GUÍA DE OBSERVACIÓN - LABORATORIO				
PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTRA		
		7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
Potencial Hidrógeno	pH			
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L			
Oxígeno Disuelto	mg/L			
Sólidos Totales Disueltos	mg/L			
Conductividad eléctrica	μS/cm			
Dureza	Macaco			

Anexo 03: Fichas técnicas de los reactivos

 <p style="font-size: 1.2em; margin: 0;">HYDROTECH PERÚ</p> <p style="margin: 0;">IMPORT E.I.R.L.</p>	<h1 style="margin: 0;">HIDRÓXIDO DE POTASIO 90%</h1> <h2 style="margin: 0;">BOLETIN TÉCNICO</h2>																																								
<p>CODIGO: KOH-90-G-R</p>																																									
<p>IDENTIFICACION DEL PRODUCTO:</p> <p>Nombre Químico: POTASA CAUSTICA Formula Química: KOH Peso Molecular: 56,1056 g/mol Sinónimos: potasa cáustica, potasa lejía, hidrato de potasio.</p> <p>DESCRIPCION:</p> <p>Procedencia: Rusia Vigencia del Producto: 3 años a partir de la fecha de producción. Apariencia: Escamas blancas, sin olor.</p> <p>ESPECIFICACION TECNICA:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">CARACTERÍSTICAS</th> <th>EXPRESADO EN</th> <th>UNIDAD</th> <th>ESPECIFICACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">Hidróxido de Potasio</td> <td>KOH</td> <td>%</td> <td>90 Min.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Carbonato de Potasio</td> <td>K₂CO₃</td> <td>%</td> <td>0.5 Max.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Cloro</td> <td>Cl</td> <td>%</td> <td>0.005 Max.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Sulfato</td> <td>SO₄-2</td> <td>%</td> <td>0.003 Max.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Nitrato</td> <td>N</td> <td>%</td> <td>0.0005 Max.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Hierro</td> <td>Fe</td> <td>%</td> <td>0.0003 Max.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Hidróxido de Sodio</td> <td>Na</td> <td>%</td> <td>1.0 Max.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Níquel</td> <td>Ni</td> <td>%</td> <td>0.0005 Max.</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table> <p>APLICACIONES:</p> <p>El KOH es higroscópico absorbiendo agua de la atmósfera, por lo que termina disolviéndose al aire libre. Su disolución en agua es altamente exotérmica, con lo que la temperatura de la disolución aumenta, llegando incluso, a veces, al punto de ebullición.</p> <p>Se usa para:</p> <ul style="list-style-type: none"> K₂CO₃ - Fosfato de Potasio - Goma Sintética 		CARACTERÍSTICAS	EXPRESADO EN	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN	Hidróxido de Potasio	KOH	%	90 Min.	Carbonato de Potasio	K ₂ CO ₃	%	0.5 Max.	Cloro	Cl	%	0.005 Max.	Sulfato	SO ₄ -2	%	0.003 Max.	Nitrato	N	%	0.0005 Max.	Hierro	Fe	%	0.0003 Max.	Hidróxido de Sodio	Na	%	1.0 Max.	Níquel	Ni	%	0.0005 Max.				
CARACTERÍSTICAS	EXPRESADO EN	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN																																						
Hidróxido de Potasio	KOH	%	90 Min.																																						
Carbonato de Potasio	K ₂ CO ₃	%	0.5 Max.																																						
Cloro	Cl	%	0.005 Max.																																						
Sulfato	SO ₄ -2	%	0.003 Max.																																						
Nitrato	N	%	0.0005 Max.																																						
Hierro	Fe	%	0.0003 Max.																																						
Hidróxido de Sodio	Na	%	1.0 Max.																																						
Níquel	Ni	%	0.0005 Max.																																						
 <p style="font-size: 0.8em; margin: 0;">WTC Ingeniería & Gestión Wilber Cuba Tapia GERENTE GENERAL</p>																																									

- Detergentes
- Farmacéutica de productos agroquímicos, etc.

ALMACENAMIENTO Y PRECAUCIONES:

Almacenar en su empaque original en sitio fresco y seco. Mantenerlo cerrado mientras no se use y no exponerlo a la intemperie.

PRESENTACION:

Sacos de 25 Kg.



WETAJADA
Ingeniería & Gestión
Wilber Cuba Tajada
GERENTE GENERAL

SULFATO FÉRRICO EN SOLUCIÓN



SULFATO FÉRRICO EN SOLUCIÓN

1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

Sinónimos: Sulfato de hierro(III)
Nombre Técnico: Sulfato Férrico en Solución
Formula Química: $Fe_2(SO_4)_3$
Peso Molecular: 399.87 g/mol
Número CAS: 10028-22-5

3. PROPIEDADES FISICAS

Estado Físico: Líquido
Color: Marrón rojizo oscuro a café oscuro
Olor: Inodoro a temperatura ambiente

2. DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Procedencia: Nacional
Vigencia: 02 años a partir de la fecha de fabricación.
Presentación: En envases menores de plástico o PVC con capacidad de 40 Kg, cilindros de 250 Kg o a granel en Hoovers

4. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

ESPECIFICACION	LIMITES	UNIDAD
Concentración (como $Fe_2(SO_4)_3$)	Min 39	%w/w
Ión férrico (Fe^{3+})	Min 11	%w/w
Ión ferroso (Fe^{2+})	Máx. 0.5	%w/w
Materia Insoluble	Máx. 0.1	%w/w
Densidad (25°C)	1.49-1.54	g/ml



V&G
Ingeniería & Gestión
WILBER CUBA TAJADA
GERENTE GENERAL

5. APLICACIONES

- En tratamiento de aguas para consumo humano, como coagulante inorgánico.
- Tratamiento de aguas residuales, para remoción de partículas suspendidas coloidales y ciertos metales pesados.
- En industria minera, para remoción de metales pesados en el agua de proceso.
- Usado como mordiente, previo a la aplicación de colorantes.
- Utilizado en los baños de decapado para aluminio y acero.

6. EFECTOS SOBRE LA SALUD – PRIMEROS AUXILIOS

SOBRE-EXPOSICIÓN	EFFECTOS	PRIMEROS AUXILIOS
Ojos	Irritaciones, enrojecimiento, fuerte dolor	Lavar con abundante agua durante 15 minutos. Atención médica
Piel	Irritaciones, enrojecimiento, fuerte dolor	Retirar ropa contaminada. Lavar con abundante agua. Atención médica
Ingestión	Nocivo. Baja toxicidad en bajas cantidades. Altas dosis pueden causar dolor abdominal, náuseas, vómitos y diarrea, decoloración de la orina. Dosis altas provocan daño al hígado. Posible coma.	Beber abundante agua, bicarbonato sódico (solución 5%), o leche. No inducir al vómito.
Inhalación	Irritación de las membranas mucosas y el tracto respiratorio. Tos, dificultad para respirar	Trasladar al aire fresco, de ser necesario aplicar respiración artificial. Atención médica



WILBER CUBA TELLO
GERENTE GENERAL



**HYDROTECHPERÚ
IMPORT E.I.R.L**

PEROXIDO DE HIDROGENO-50%

BOLETIN TÉCNICO

CÓDIGO: PH-50-Q

IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO:

Nombre químico: Peróxido de Hidrógeno
Fórmula Química: H₂O₂
Procedencia: Korea/Francia/Brasil/Alemania

Nombre Comercial: Agua Oxigenada
Número: UN:2014
Clase: 5.1 Sustancia oxidante
8 Sustancia corrosiva

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

PARAMETRO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	UNIDAD
Concentración	50,0	...	%w/w
Aspecto	Líquido transparente exento de partículas en suspensión		
Tiempo de vida	1 año a partir de la fecha de producción		

PROPIEDADES:

Peso Molecular : 34,01
Punto de ebullición : 114 °C
Solubilidad en agua : Completa
Densidad : 1.195 g/ml (20°C)
Punto de congelación : -51°C

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

La sustancia se descompone al calentarla suavemente o bajo la influencia de la luz, produciendo oxígeno que aumenta el peligro de incendio. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, causando peligro de incendio o explosión particularmente en presencia de metales.



WILBER CUBS TEJADA
GERENTE GENERAL

USOS Y APLICACIONES PRINCIPALES:

Tratamiento de agua y desagüe, desinfectante, blanqueo y deodorizante de textiles, madera, cabello, generador de oxígeno, industria del perfume, cosmética, uso médico, etc. Propulsión de cohetes, maduración de agentes en alimentos, reactivo de laboratorio, en la industria minera En el proceso de eliminación de cianuros.

PRESENTACIÓN:

Bidón por 30 Kg.

Anexo 04: Resultados de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-11264

N° Id.: 0000079452

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZÓN SOCIAL	: H C PERU SOSTENIBLE SANITARIOS AMBIENTALES INGENIERIA INTEGRAL Y SOLUCIONES E.I.R.L.
2.-DIRECCIÓN	: Jr. Puerto Maldonado Nro. 147 (Altura del PRONA), Puno, Puno
3.-PROYECTO	: MONITOREO DE LIXIVIADOS-RELLENO SANITARIO ITAPALLUNI-PUNO
4.-PROCEDENCIA	: PUNO
5.-SOLICITANTE	: HC PERU SOSTENIBLE SAIIS EIRL POR ENCARGO DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PUNO
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000002654-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: P-OPE-1 MUESTREO
8.-MUESTREADO POR	: ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-07-04

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua Residual
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 2
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-06-14
4.-PERIODO DE ENSAYO	: 2023-06-14 al 2023-07-04

Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662

Marleni V. Rivera Castromonte
**Supervisor de Laboratorio de
Microbiología e Hidrobiología**
CBP N° 16639



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

Pág.1 de 7

📍 **SEDE PRINCIPAL**
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

📍 **SEDE ZARUMILLA**
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3,
Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

📍 **SEDE AREQUIPA**
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

📍 **SEDE PIURA**
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,
Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-11264

N° Id.: 000079452

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2022.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate, Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Escherichia coli (NMP) ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 24th Ed. 2022.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate, Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Heterotrofos (UFC/mL) ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9215 B, 24th Ed. 2022.	Heterotrophic Plate Count. Pour Plate Count Method.
Cianuro Libre ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CNF, 23 rd Ed. 2017 / ASTM D7237-15a Validado (modificado)	Cyanide-Selective Electrode Method / Standard Test Method for Free Cyanide and Aquatic Free Cyanide with Flow Injection Analysis (FIA) Utilizing Gas Diffusion Separation and Amperometric Detection
Conductividad ^{2 (6)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 24th Ed. 2022.	Conductivity. Laboratory Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. 2022.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Oxígeno Disuelto ^{2 (6)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 24th Ed. 2022.	Oxygen (Dissolved). Membrane Electrode Method
pH ^{2 (6)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24th Ed. 2022.	pH Value. Electrometric Method
Temperatura ^{2 (6)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 24th Ed. 2022.	Temperature. Laboratory and Field Methods
Sólidos Suspendidos Totales ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2022.	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.
Sólidos Totales ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2022.	Solids. Total Solids Dried at 103-105°C.
Sólidos Totales Disueltos ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 24th Ed. 2022.	Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C.

¹ASTM: American Society for Testing Materials

²SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

³APHA: American Public Health Association

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

⁽¹⁾ El Ensayo indicado no ha sido acreditado

⁽⁶⁾ Ensayo realizado on campo (medido in situ)



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-11264

N° Id.: 0000079452

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Dureza Total (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340-C, 24th Ed. 2022.	Hardness. EDTA Titrimetric Method
Cromo Hexavalente (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500-Cr-B, 24th Ed. 2022.	Chromium. Colorimetric Method
Demanda Química de Oxígeno ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed. 2022.	Chemical Oxygen Demand by Closed Reflux, Colorimetric Method.
Nitrógeno Total ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N C, 24th Ed., 2022.	Nitrogen. Persulfate Method.
Aniones IAS ²	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993, VALIDATED (Applied out of reach), 2019.	Determination of inorganic anions by ion chromatography
Metales Totales ICP-MS (*)	Method 200.8, Revision 5.4 1994 (VAL IDADO - Aplicado fuera del alcance: Bi, B, Ca, Ce, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, K, La, Li, Lu, Mg, Na, Nb, P, Rb, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Ti, W, Yb, Zr), 2021.	Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.

EPA : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

APHA : American Public Health Association

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-11264

N° Id.: 0030079452

IV. RESULTADOS

ITEM	1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-35017	M-23-35018
CÓDIGO DEL CLIENTE:	LX-1	LX-2
COORDENADAS:	E:0386020	E:0386011
UTM WGS 84:	N:8242411	N:8242402
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Efluente Industrial	Efluente Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-OPE-1.5 MUESTREO DE AGUA RESIDUAL	
FECHA y HORA DE MUESTREO :	13-06-2023 07.50	13-06-2023 08.30

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA.	1.0	<1,0	330.0
Escherichia coli (NMP) ²	NMP/100mL	NA.	1.8	<1,8	170.0
Heterotofos (UFC/mL) ²	UFC/mL	NA.	1.0	<1,0	2 600,0
Cianuro Libre (*)	mg/L	0,0005	0.0010	<0,0010	<0,0010
Conductividad (c) ²	µS/cm	NA.	0.01 ©	14 210,00	10 080,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno ²	mg/L	0,4	2.0	1 653,0	2 076,0
Oxígeno Disuelto (c) ²	mg/L	NA.	NA. ©	3,36	0,23
pH (c) ²	Unidad de pH	NA.	NA. ©	11,49	7,36
Temperatura (c) ²	(°C)	NA.	NA. ©	9,7	4,3
Sólidos Suspendidos Totales ²	mg/L	2,0	5.0	68,0	116.7
Sólidos Totales ²	mg/L	2,00	5.00	9 290,00	6 322,00
Sólidos Totales Disueltos ²	mg/L	2	5	9 010	6 040
Dureza Total (*)	mg CaCO3/L	2.00	5.00	246,26	1 549,08
Cromo Hexavalente (*)	mg/L	0,004	0.010	<0,010	<0,010
Demanda Química de Oxígeno ²	mg/L	2,0	5.0	3 635,9	4 461,5
Nitrógeno Total ²	mg/L	0,050	0.120	783,685	852,348
Aniones IAS					
Cloruro ²	mg/L	0,4	1.0	1 200,7	1 163,5
Nitrato ²	mg/L	0,02	0.05	<0,05	<0,05
Nitrito ²	mg/L	0,02	0.05	<0,05	<0,05
Nitrito+Nitrato (**)	mg/L	0,02	0.05	<0,05	<0,05
Sulfato ²	mg/L	0,2	0.5	685,5	9,1
Metales Totales ICP-MS					

¹ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

^(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

© L.C.M. :Valor Mínimo de Medición en el Instrumento



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-11264

N° Id.: 0000079452

ITEM				1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-23-35017	M-23-35018
CÓDIGO DEL CLIENTE				LX-1	LX-2
COORDENADAS				E:0306020	E:0306011
UTM WGS 84				N:8242411	N:8242402
PRODUCTO				Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO				Efluente Industrial	Efluente Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO				I-OPE-1.5 MUESTREO DE AGUA RESIDUAL	
FECHA y HORA DE MUESTREO				13-06-2023 07:50	13-06-2023 08:30
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Aluminio (*)	mg/L	0,001	0,003	0,190	0,360
Antimonio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0020	<0,0020
Arsénico (*)	mg/L	0,0002	0,0010	<0,0010	<0,0010
Baro (*)	mg/L	0,00008	0,00030	0,01690	7,06200
Berilio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Bismuto (*)	mg/L	0,003	0,010	<0,010	<0,010
Boro (*)	mg/L	0,0003	0,0010	0,7130	0,0795
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002	<0,0002
Calcio (*)	mg/L	0,001	0,004	25,702	220,352
Cerio (*)	mg/L	0,003	0,010	<0,010	<0,010
Cesio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Cobalto (*)	mg/L	0,0005	0,0020	<0,0020	<0,0020
Cobre (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0860	0,1896
Cromo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Erbio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Estaño (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010
Estroncio (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,28400	3,30210
Eurolio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Fosforo (*)	mg/L	0,002	0,006	0,951	3,093
Gadolinio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Gaio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Germanio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Hafnio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,002	1,050	29,032

*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 095



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-11264

N° Id.: 0000079452

ITEM	1		2		
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-23-35017		M-23-35018		
CÓDIGO DEL CLIENTE:	LX-1		LX-2		
COORDENADAS:	E:0386320		E:0386011		
UTM WGS 84:	N:8242411		N:8242402		
PRODUCTO:	Agua Residual		Agua Residual		
SUB PRODUCTO:	Efluente Industrial		Efluente Industrial		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-ÓPE-1.5 MUESTREO DE AGUA RESIDUAL				
FECHA y HORA DE MUESTREO:	13-06-2023 07:50		13-06-2023 08:30		
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Holmio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Indio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Iterbio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Itrio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Lantano (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Litio (*)	mg/L	0,00003	0,00010	0,47490	0,52480
Lutecio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Magnesio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	57,0498	151,3250
Manganeso (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,34370	12,32650
Mercurio (*)	mg/L	0,000033	0,000100	<0,000100	<0,000100
Molibdeno (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010
Neodimio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Niobio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Niquel (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004
Plata (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010
Piomo (*)	mg/L	0,0008	0,0010	<0,0010	<0,0010
Polasio (*)	mg/L	0,003	0,010	3 264,234	545,625
Praseodimio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Renio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Rubidio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Samario (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,002	<0,002	<0,002
Silice (*)	mg/L	0,001	0,002	12,850	26,333
Silicio (*)	mg/L	0,0002	0,0007	5,9967	12,2885
Sodio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	774,8294	645,3240
Talio (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA.

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<="= Menor que el L.D.M.



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-11264

N° Id.: 000079452

ITEM	1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-35017	M-23-35018
CÓDIGO DEL CUENTE:	LX-1	LX-2
COORDENADAS:	E:0386020	E:0386011
UTM WGS 84:	N:8242411	N:8242402
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Efluente Industrial	Efluente Industrial
INSTRUCIVO DE MUESTREO:	I-OPE-1.5 MUESTREO DE AGUA RESIDUAL	
FECHA y HCRA DE MUESTREO:	13 06 2023 07:50	13 06 2023 08:30

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Tántalo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Telurio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Titanio (*)	mg/l	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010
Torio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Uranio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Vanadio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Wolframio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003
Zinc (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0800	0,3021
Zirconio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA.

L.C.M.: Limite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Limite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo 05: Datos recolectados con guía de observación a los informes de ensayo



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



GUÍA DE OBSERVACIÓN – LABORATORIO

Procedencia: Relleno Sanitario Itapalluni - PUNO

Interesado: José Guillermo Alave Castillo

Muestreo: 001

Fecha de recepción: 14/06/2023

Características: Al Agua residual

Aspecto: Oscuro

Color: Pardo

Nombre del Reactivo(s): HIDRÓXIDO DE POTASIO, SULFATO FÉRRICO,
PERÓXIDO DE HIDROGENO

(Dosis 1)

Concentración de Reactivos: muestra 25 Litros

Reactivo	Concentrado	Dosis	Unidad
KOH	=90%	8	ml/L
FeSO4	= 99%	10	ml/L
H2O2	= 50%	13	ml/L

Potencial de hidrogeno pH: 7.85

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS

GUÍA DE OBSERVACIÓN - LABORATORIO				
PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTRA		
		7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
Potencial Hidrógeno	pH	11.49	11.43	7.36
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	7654.1	3749.3	4460.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1653.0	1841.0	2418.0
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.36	3.35	0.28
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	9010	8010	6040
Conductividad eléctrica	µS/cm	14210.00	15700.00	10080.00
Dureza	Macaco	246.26	1660.00	1549.08



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



GUÍA DE OBSERVACIÓN – LABORATORIO

Procedencia: Relleno sanitario Itapalluni -Puno

Interesado: José Guillermo Alave Castillo

Muestreo: 002

Fecha de recepción: 14/06/2023

Características: Al Agua residual

Aspecto: Oscuro

Color: Pardo

Nombre del Reactivo(s): HIDRÓXIDO DE POTASIO, SULFATO FÉRRICO,
PERÓXIDO DE HIDROGENO
(Dosis 2)

Concentración de Reactivos: en 25 litros de agua se hechó

Reactivo	Concentrado	Dosis	Unidad
KOH	=90%	12	ml/L
FeSO4	=99%	15	ml/L
H2O2	= 50%	33	ml/L

Potencial de hidrogeno pH: 7.85

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS

GUÍA DE OBSERVACIÓN - LABORATORIO				
PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTRA		
		7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
Potencial Hidrógeno	pH	11.49	11.43	7.36
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	7654.1	3749.3	4460.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1653.0	1841.0	2418.0
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.36	3.35	0.28
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	9010	8010	6040
Conductividad eléctrica	µS/cm	14210.00	15700.00	10080.00
Dureza	MgCaCO3	246.26	1660.00	1549.08



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



ACCREDITED
Testing Laboratory
TL - 833



ACCREDITED
Testing Laboratory
IAS TL-1007

GUÍA DE OBSERVACIÓN – LABORATORIO

Procedencia: Relleno sanitario Itapalluni -Puno

Interesado: José Guillermo Alave castillo

Muestreo: 003

Fecha de recepción: 14/06/2023

Características: Al Agua residual

Aspecto: Oscuro

Color: Pardo

Nombre del Reactivo(s): HIDRÓXIDO DE POTASIO, SULFATO FÉRRICO,
PERÓXIDO DE HIDROGENO

(Dosis 3)

Concentración de Reactivos: Muestra de 25 litros

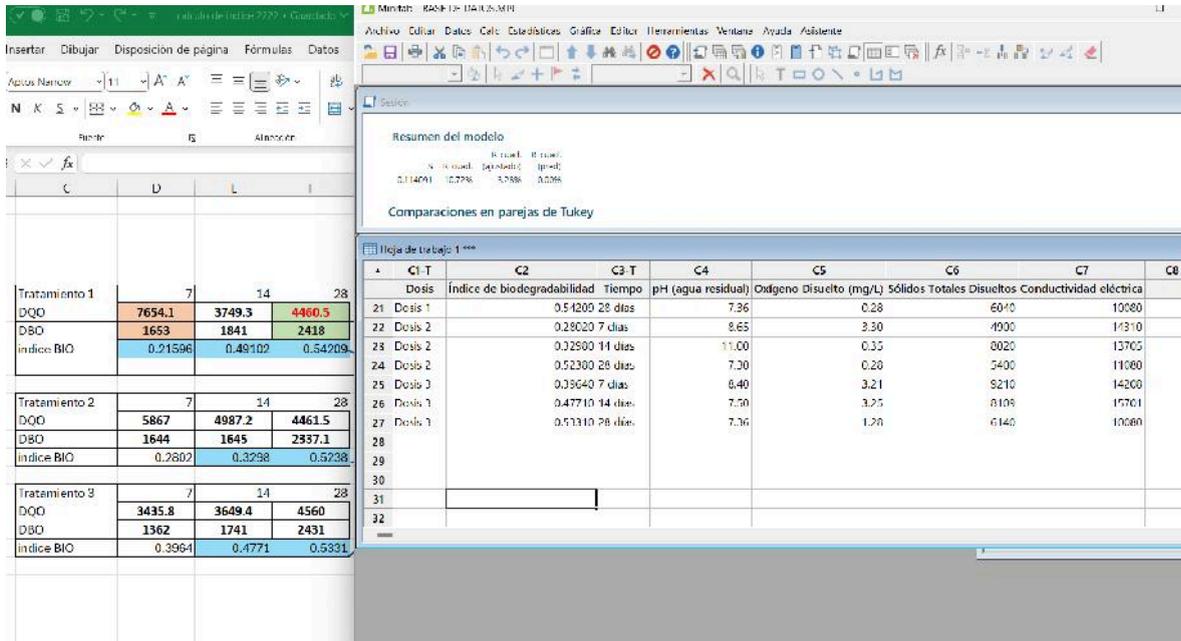
Reactivo	Concentrado	Dosis	Unidad
KOH	=90%	16	ml/L
FeSO4	= 99%	20	ml/L
H2O2	= 50%	53	ml/L

Potencial de hidrogeno pH: 7.85

Y ESTO ES EL EFECTO DE DICHA CONCENTRACIÓN

GUÍA DE OBSERVACIÓN – LABORATORIO				
PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTRA		
		7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
Potencial Hidrógeno	pH	8.4	7.50	7.36
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	3435.8	3649.4	4560.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	1362.0	1741.0	2431.0
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.21	3.25	1.28
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	9210	8109	6140
Conductividad eléctrica	µS/cm	14208.00	15701.00	10080.01
Dureza	MgCaCO3	243.26	1560.00	1549.03

Anexo 06: Procesamiento de datos en Minitab 18



Resumen del modelo

R cuadrado: 0.7298
R cuadrado ajustado: 0.7088
R cuadrado predicho: 0.6788

Comparaciones en parejas de Tukey

Hoja de trabajo: 1 ***

	C1-T	C2	C3-T	C4	C5	C6	C7	C8
	Dosis	Índice de biodegradabilidad	Tiempo	pH (agua residual)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Sólidos Totales Disueltos	Conductividad eléctrica	
21	Dosis 1	0.54200	28 días	7.36	0.28	6010	10080	
22	Dosis 2	0.28020	7 días	8.65	3.30	4000	11310	
23	Dosis 2	0.32500	14 días	11.00	0.35	8020	13705	
24	Dosis 2	0.52300	28 días	7.30	0.20	2400	11080	
25	Dosis 3	0.35640	7 días	8.40	3.21	8210	14200	
26	Dosis 3	0.47710	14 días	7.50	3.25	8105	15701	
27	Dosis 3	0.51310	28 días	7.36	1.20	6140	10080	
28								
29								
30								
31								
32								

Treatment	7	14	28
Tratamiento 1			
DQO	7654.1	3749.3	4460.5
DBO	1653	1841	2418
Índice BIO	0.21596	0.49109	0.54200
Tratamiento 2			
DQO	5867	4987.2	4461.5
DBO	1644	1645	2337.1
Índice BIO	0.2802	0.3298	0.5238
Tratamiento 3			
DQO	3435.8	3649.4	4560
DBO	1362	1741	2431
Índice BIO	0.3964	0.4771	0.5331

ANEXO 7. Evidencias fotográficas de recolección.



Figura N°1 Toma de muestras de lixiviados



Figura N° 2 Filtrado de lixiviados .



Figura N° 3 Cálculo del pH de lixiviados .



Figura N° 4 Aplicación de la solución al vaso precipitado de los lixiviados.



Figura N° 5 Formación de flóculos en el lixiviado



Figura N° 6 Resultados de la floculación y sedimentación del lixiviado a los 10 min de aplicación de la solución.



Figura N° 6 Resultados finales óptimos para el tratamiento de lixiviados