

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**



**REMOCIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL
LIXIVIADO DEL BOTADERO CONTROLADO “LA
PUSHURA”, MEDIANTE PROCESO DE OXIDACIÓN
AVANZADA, JAÉN, CAJAMARCA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
FORESTAL Y AMBIENTAL**

Autor : Bach. Noymer Franklin Barrantes Salazar

Asesor : Mg. Ing. Jorge Antonio Delgado Soto

JAÉN – PERÚ, OCTUBRE, 2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN

El día 26 de octubre del año 2020, siendo las 17:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado de manera virtual, mediante el enlace meet.google.com/pmz-cvqk-bbx:

Presidente : MSc. WAGNER COLMENARES MAYANGA
Secretario : MSc. HANDRY MARTÍN RODAS PURIZAGA
Vocal : Mg. MARÍA MARLENI TORRES CRUZ, para evaluar la Sustentación del informe final:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

Remoción de parámetros fisicoquímicos del lixiviado del botadero controlado "La Pushura", mediante proceso de oxidación avanzada, Jaén, Cajamarca, presentado por el Bachiller Noymer Franklin Barrantes Salazar de la Carrera Profesional de Ingeniería forestal y ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- (X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (15) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 18:20 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Presidente



Secretario



Vocal

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo general.....	14
2.2. Objetivos específicos	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1. Materiales.....	15
3.1.1. Materiales de campo	15
3.1.2. Materiales de laboratorio.....	15
3.1.3. Equipos de laboratorio	16
3.1.4. Reactivos	16
3.2. Métodos.....	16
3.2.1. Ubicación del área de estudio	16
3.2.2. Población.....	18
3.2.3. Muestra.....	18
3.2.4. Muestreo.....	18
3.2.5. Fuentes de información	18
3.2.6. Diseño experimental.....	18
3.2.7. Procedimiento experimental.....	19
3.2.8. Instrumentos de recolección de datos	21
3.2.9. Análisis de datos	21
IV. RESULTADOS	22
4.1. Caracterización fisicoquímica de lixiviado.....	22
4.2. Remoción de color	22
4.2.1. Análisis de varianza para el color	23

4.2.2. Prueba de Tukey para el color.....	24
4.3. Remoción de la DQO.....	25
4.3.1. Análisis de varianza para la DQO.....	25
4.3.2. Prueba de Tukey para la DQO.....	26
4.4. Remoción de turbiedad.....	27
4.4.1. Análisis de varianza para la turbiedad.....	27
4.4.2. Prueba de Tukey para la turbiedad.....	28
V. DISCUSIÓN.....	29
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	34
6.1. Conclusiones.....	34
6.2. Recomendaciones.....	35
VII. REFERENCIAS BIBLIGRÁFICAS.....	36
AGRADECIMIENTO.....	48
DEDICATORIA.....	49
ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Composición física de los residuos sólidos de la ciudad de Jaén</i>	17
Tabla 2. <i>Variables estudiadas</i>	19
Tabla 3. <i>Tratamientos ensayados mediante un DCA</i>	19
Tabla 4. <i>Cantidades del reactivo Fenton por tratamiento</i>	20
Tabla 5. <i>Metodología empleada para los ensayos de DQO, color y turbiedad</i>	21
Tabla 6. <i>Caracterización fisicoquímica de lixiviado</i>	22
Tabla 7. <i>Resultados de color (UCV-Pt-Co) pos-Fenton</i>	23
Tabla 8. <i>Eficiencias de remoción para el color</i>	23
Tabla 9. <i>ANOVA para el color</i>	24
Tabla 10. <i>Prueba de Tukey para el color</i>	24
Tabla 11. <i>Resultados de DQO (mg/L) pos-Fenton</i>	25
Tabla 12. <i>Eficiencias de remoción para la DQO</i>	25
Tabla 13. <i>ANOVA para la DQO</i>	26
Tabla 14. <i>Prueba de Tukey para la DQO</i>	26
Tabla 15. <i>Resultados de turbiedad (NTU) pos-Fenton</i>	27
Tabla 16. <i>Eficiencias de remoción para la turbiedad</i>	27
Tabla 17. <i>ANOVA para la turbiedad</i>	28
Tabla 18. <i>Prueba de Tukey para la turbiedad</i>	28

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Diagrama de flujo del procedimiento experimental	20
<i>Figura 2.</i> Promedios del color removido (%) por tratamiento	24
<i>Figura 3.</i> Promedios de la DQO removida (%) por tratamiento	26
<i>Figura 4.</i> Promedios de la turbiedad removida (%) por tratamiento.....	28

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Ubicación del área de estudio	51
Anexo 2. Solicitud de acceso al botadero controlado "La Pushura"	51
Anexo 3. Informe de ensayo fisicoquímico del lixiviado.....	51
Anexo 4. Informe de ensayo para el color postratamiento	51
Anexo 5. Informe de ensayo para la dco postratamiento	51
Anexo 6. Informe de ensayo para la turbiedad postratamiento	51
Anexo 7. Georreferenciación del lugar de muestreo de lixiviado	51
Anexo 8. Colecta de la muestra de lixiviado	51
Anexo 9. Unidades experimentales para el T4.....	51
Anexo 10. Adición del catalizador	51
Anexo 11. Adición del peróxido de hidrógeno.....	51
Anexo 12. Agitación de la muestra	51
Anexo 13. Digestión de la muestra en termorreactor para dco	51
Anexo 14. Determinación de la DQO por titulación	51
Anexo 15. Determinación del color y la turbiedad.....	51
Anexo 16. Muestras de lixiviado pos-Fenton.....	51

RESUMEN

Actualmente, la ciudad de Jaén dispone sus residuos sólidos en un vertedero denominado “botadero controlado”, ubicado a 6.59 Km de la ciudad, precisamente en este lugar, debido a múltiples factores, se origina un percolado llamado lixiviado, lo que representa una potencial amenaza para el medio ambiente y la salud humana local, al presentarse deficiencias de drenaje y recolección; la situación se agrava al no contar con un tratamiento de los mismos. El objetivo general del presente trabajo de investigación fue remover tres parámetros fisicoquímicos del lixiviado del botadero controlado “La Pushura”, mediante proceso de oxidación avanzada (POA), en Jaén, Cajamarca. La variable ensayada para el proceso Fenton fue la proporción de mezcla $[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$ (0, 2, 4, 6 y 8) y el factor fijo de pH (4). El mejor tratamiento fue obtenido bajo las condiciones $[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$ de 6, donde 20 minutos de reacción fueron suficientes para remover 73.29 % de demanda química de oxígeno (DQO) y en 1 hora de reacción se hicieron efectivas las remociones de 89 y 76.35 % para el color y la turbiedad, respectivamente. Se concluye que los POA y en particular el proceso Fenton, representa una tecnología atractiva y prometedora en el tratamiento de lixiviados.

Palabras clave: Fenton, lixiviado, DQO, color, turbiedad

ABSTRACT

Currently, the city of Jaén disposes of its solid waste in a dump called “controlled dump”, located 6.59 km from the city, precisely in this place, due to multiple factors, a percolate called leachate originates, which represents a potential threat to the environment and local human health, due to drainage and collection deficiencies; the situation is aggravated by not having treatment. The general objective of this research work was to remove three physicochemical parameters from the leachate from the “La Pushura” controlled dump, by means of advanced oxidation process (AOPs), in Jaén, Cajamarca. The variable tested for the Fenton process was the mixing ratio $[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$ (0, 2, 4, 6 and 8) and the fixed pH factor (4). The best treatment was obtained under the $[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$ conditions of 6, where 20 minutes of reaction were enough to remove 73.29 % of chemical oxygen demand (COD) and in 1 hour of reaction, the eliminations of 89 and 76.35 % of color and turbidity, respectively. It's concluded that AOPs and in particular the Fenton process, represent an attractive and promising technology in the treatment of leachates.

Keywords: Fenton, leachate, COD, color, turbidity

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial de la población humana, el desarrollo económico (Das, et al., 2019), la rápida urbanización, el grado de industrialización, estilos de vida, niveles de alfabetización (Kolekar, Hazra y Chakrabarty, 2017) y el clima propio de cada lugar; dan como resultado un incremento significativo en la generación de residuos sólidos municipales (RSM) (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012). En 2012, la generación mundial de RSM era aproximadamente de 1.3 mil millones de toneladas por año y se esperaba que para el 2025 la cifra sea equivalente a 2.2 mil millones de toneladas por año (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012); sin embargo, en 2016 la producción de RSM ya había alcanzado los 2.1 mil millones de toneladas por año y actualmente se proyecta que esta cifra alcance niveles alrededor de los 2.59 y 3.4 mil millones de toneladas en 2030 y 2050 respectivamente (Kaza, Yao, Bhada-Tata y Van Woerden, 2018).

A nivel nacional, en 2015 se generó 7 588 646 ton de RSM (MINAM, 2017) y en Jaén a nivel de distrito la tasa de generación es de 82.682 ton/día (Gerencia de Gestión y Desarrollo Ambiental, 2017). Donde, los rellenos sanitarios, botaderos a cielo abierto y botaderos controlados resulta la práctica más común de disposición final de RSM en muchos países a nivel mundial, debido a factores económicos (Hamer, 2003; Lema, Mendez y Blazquez, 1988; Renou, Givaudan, Poulain, Dirassouyan y Moulin, 2008; Robinson y Maris, 1985; Rowe y Yu, 2012; Umar, Aziz y Yusoff, 2010b; Williams, 2005). Sin embargo, las actividades de operación en estas instalaciones, niveles de precipitación e infiltración del lugar, y los procesos bioquímicos de degradación de la fracción orgánica de los RSM, generan un fluido líquido, conocido como *lixiviado* (Méndez, et al., 2009; Primo, Rivero y Ortiz, 2008; Regadío, Ruiz, Rodríguez-Rastrero y Cuevas, 2015; Renou et al., 2008).

Los dos factores principales que caracterizan a un lixiviado son el volumen generado y la composición. Ambos factores dependen de un sin número de variables, tales como, características de los RSM depositados (cantidad, composición, contenido de humedad, solubilidad, etc.), factores locales (clima, altitud, condiciones hidrogeológicas y edáficas) (Chu, Cheung y Wong, 1994; Johansen y Carlson, 1976; Kale, Kadam, Kumar y Pawar, 2010; Statom, Thyne y McCray, 2004; Tatsi y Zouboulis, 2002) y sobre todo, está fuertemente influenciado por la edad del relleno sanitario o botadero (Chen, 1996; Di Iaconi, Ramadori y Lopez, 2006; Kulikowska y Klimiuk, 2008; Nanny y Ratasuk, 2002; Park, Choi, Joe, Kim y Kim, 2001).

En general, se pueden agrupar en cuatro grandes grupos principales a los contaminantes presentes en los lixiviados; (1) materia orgánica disuelta (incluidos los componentes orgánicos refractarios como los compuestos fúlvicos y húmicos), (2) macrocomponentes inorgánicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ ; Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), (3) metales pesados (Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+}) y (4) compuestos orgánicos xenobióticos (hidrocarburos aromáticos, fenoles, pesticidas y plastificantes) (Kjeldsen, et al., 2002). Esto representa un potencial impacto negativo significativo sobre el medio ambiente (Kumar y Alappat, 2003; Maiti, De, Hazra, Debsarkar y Dutta, 2016; Nagarajan, Thirumalaisamy y Lakshumanan, 2012; Naveen, Mahapatra, Sitharam, Sivapullaiah y Ramachandra, 2017) y a los humanos por igual (Klinck y Stuart, 1999); es decir, pueden presentar toxicidad aguda y crónica (Deng y Englehardt, 2006).

La ausencia de un sistema de recolección y tratamiento adecuado en lixiviados ha conllevado a la contaminación de los recursos hídricos continentales (superficiales y subterráneos), del mismo modo afectando a los suelos del entorno circundante (Samadder, Prabhakar, Khan, Kishan y Chauhan, 2017). La contaminación del agua dulce por la mezcla de lixiviados puede hacerla inhabitable para la vida acuática y no apta para el uso humano (Cumar y Nagaraja, 2011; Mukherjee, Mukhopadhyay, Hashim y Sen Gupta, 2015); por ejemplo, solo se necesitan pequeñas cantidades de lixiviados para contaminar un gran volumen de agua subterránea (Bakare, Mosuro y Osibanjo, 2005). La advección y la difusión son los dos procesos de transporte que se consideran responsables de la mezcla y el movimiento de contaminantes hacia las aguas subterráneas (De Soto, et al., 2012; Munro, Macquarrie, Valsangkar y Kan, 1997; Regadío, et al., 2012).

Para el tratamiento de lixiviados se han experimentado diferentes procesos, tanto de naturaleza biológica como fisicoquímica (Rivas, Beltrán, Carvalho, Acedo y Gimeno, 2004; Rivas, Beltrán, Gimeno y Carvalho, 2003; Tatsi, Zouboulis, Matis y Samaras, 2003; Warith y Sharma, 1998), en la cual estos últimos han mostrado mejores resultados de eficiencia, tratándose de lixiviados estabilizados. Los tratamientos fisicoquímicos entre otros muchos procesos, incluyen la oxidación química (Ince, 1998; Lopez, Pagano, Volpe y Di Pinto, 2004; Rivas et al., 2004; Tizaoui, Bouselmi, Mansouri y Ghrabi, 2007) y los procesos de oxidación avanzada (POA). Los POA constituyen una familia de tecnologías similares pero no idénticas, que se basan predominantemente (pero no exclusivamente) en la producción de radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) muy reactivos (Comninellis, et al., 2008); capaces de degradar una amplia variedad de compuestos refractarios de lixiviados estabilizados (Kim, Geissen y Vogelpohl, 1997; Kurniawan, Lo y Chan, 2006; Parsons, 2004).

Dentro de los POA, el proceso Fenton ha sido ampliamente estudiado y aplicado eficazmente para eliminar los compuestos orgánicos refractarios de lixiviados (Bila, Filipe Montalvão, Silva y Dezotti, 2005; De Moraes y Zamora, 2005; Silva, Dezotti y Sant'Anna, 2004). La reacción de Fenton se basa en la adición de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) a los lixiviados en presencia de una sal ferrosa (Fe^{2+}) como catalizador (Umar, Aziz y Yusoff, 2010a); el objetivo es la generación de radicales $\cdot\text{OH}$ extremadamente reactivos y no selectivos para la destrucción de la materia orgánica presente en la solución (Hermosilla, Cortijo y Huang, 2009). Además, el proceso Fenton es más eficiente e implica un costo de capital más bajo que otros POA (Esplugas, Giménez, Contreras, Pascual y Rodríguez, 2002; Rivas et al., 2004).

Los remoción de parámetros fisicoquímicos como la demanda química de oxígeno (DQO), el color y la turbiedad en lixiviados, ha sido ampliamente estudiado, reportándose elevadas eficiencias con el proceso Fenton. Por ejemplo, Lopez et al. (2004) reportaron eficiencias de remoción de DQO equivalentes a un 60 %; Zhang, Choi y Huang (2005) eliminaron parcialmente la DQO hasta 70 %. En estudios similares, Cortez, Teixeira, Oliveira y Mota (2009); Cotman y Gotvajn (2010); Goi, Veressinina y Trapido (2010); Guo, et al. (2010) y Kochany y Lipczynska-Kochany (2009) minimizaron la DQO en lixiviados hasta 60.9; 85; 75; 60.8 y 66 % respectivamente.

Hermosilla et al. (2009), eliminaron la DQO en porcentajes próximos a 70 % en lixiviados maduros y más del 80 % en lixiviados jóvenes. En el ámbito nacional, las investigaciones de Medina, Montero y Cruz (2016), mostraron una eliminación cercana al 42 % de la DQO. En el caso del color, Kim y Huh (1997), en sus estudios presentaron una tasa de remoción de este parámetro similar a 92 %; mientras que, los experimentos a nivel piloto de Wang, Chen, Gu y Wang (2009) evidenciaron una eliminación superior al 95 % del color en lixiviados. Finalmente, Talebi, Ismail, Teng y Alkarkhi (2014) lograron minimizar un 86 % la turbiedad en lixiviados con el proceso Fenton.

En tal sentido, la aplicación de los POA y específicamente el proceso Fenton como tratamiento para los lixiviados generado en el botadero controlado ubicado en el sector La Pushura de la ciudad de Jaén, en la región Cajamarca; resulta ambientalmente, económicamente y socialmente viable; es decir, se minimizan los daños ecológicos en el entorno ambiental y las enfermedades en la salud humana local, a un bajo costo de capital. En estas circunstancias, el presente trabajo de investigación a nivel de laboratorio se planteó, remover tres parámetros físicoquímicos del lixiviado del botadero controlado “La Pushura”, mediante proceso de oxidación avanzada, en Jaén, Cajamarca.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Remover tres parámetros fisicoquímicos del lixiviado del botadero controlado “La Pushura”, mediante proceso de oxidación avanzada, en Jaén, Cajamarca.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la muestra experimental del lixiviado, mediante el análisis fisicoquímico de los parámetros de demanda química de oxígeno, color y turbiedad.
- Determinar la respuesta de los parámetros evaluados en función al tiempo de residencia, al aplicar el reactivo Fenton.
- Determinar la dosificación óptima del reactivo Fenton en el tratamiento de lixiviados.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Materiales de campo

- EPP (guardapolvo, casco, guantes y mascarilla).
- Balde de material plástico, capacidad de 20 L.
- Equipo GPS.
- Cámara fotográfica.
- Libreta de apuntes.

3.1.2. Materiales de laboratorio

- EPP.
- Bureta (50 mL).
- Espátula.
- Matraz Erlenmeyer (100 mL).
- Micropipeta (10-100 μ L y 100-1000 μ L).
- Pinza doble para bureta
- Pipeta (5 y 10 mL).
- Pipeta Pasteur de plástico (3 mL).
- Probeta (100 y 1000 mL).
- Propipeta de plástico.
- Soporte universal.
- Tubo de ensayo con tapa rosca.
- Vaso de precipitado (50, 100, 250 y 1000 mL)
- Libreta de apuntes.

3.1.3. Equipos de laboratorio

- Equipo para dispersión (mezclador).
- Balanza analítica.
- COD reactor marca HANNA HI 839800.
- DR-900 marca HACH.
- pHmetro marca HANNA HI-2550.
- Turbidímetro marca HANNA HI-98703.

3.1.4. Reactivos

- Ácido acético glacial (CH_3COOH) al 99 %.
- Indicador ferroína.
- Peróxido de hidrogeno (H_2O_2) al 30 %.
- Solución catalizadora para DQO.
- Solución digestora para DQO.
- Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado (sal de Mohr).
- Sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) al 99 %.

3.2. Métodos

3.2.1. Ubicación del área de estudio

La ciudad de Jaén, capital del distrito y provincia del mismo nombre, se ubica en el sector nororiental de la región Cajamarca, en las coordenadas geográficas $05^\circ 42' 15''$ latitud sur y $78^\circ 48' 29''$ longitud oeste; a una altitud de 729 msnm. La ciudad de Jaén dispone sus residuos sólidos en un vertedero denominado “botadero controlado” (lugar donde se origina el lixiviado), ubicado a 6.59 Km con rumbo noreste de la ciudad, en el sector La Pushura (coordenadas UTM: 17M 746877 E 9367400 N), a una altitud de 726 msnm. El acceso está marcado por un tramo de vía asfaltada y el resto del trayecto sin asfaltar (4.79 Km) en buenas condiciones, permitiendo su ingreso bajo cualquier medio de transporte (Dirección de Desarrollo Ambiental, 2015).

Actualmente, el botadero controlado “La Pushura” y específicamente la celda N° 3, albergan 82.682 ton/día de RSM, que incluye residuos sólidos domiciliarios, barrido de calles, de mercados, residuos de instituciones (educativas, públicas y privadas), residuos de actividades comerciales (ferreterías, bodegas, peluquerías, licorerías y avícolas) y servicios (hoteles, hospedajes, hostales y restaurantes). De los cuales, 61.898 ton/día corresponden a los residuos sólidos domiciliarios, sobre una Generación Per Cápita (GPC) igual a 0.63 Kg/habitante/día (Gerencia de Gestión y Desarrollo Ambiental, 2017). En la Tabla 1 se muestra la composición física de los RSM de Jaén, encontrados en el último estudio de caracterización.

Tabla 1
Composición física de los residuos sólidos de la ciudad de Jaén

Tipo de residuo	Composición (%)
Materia orgánica	73.93
Madera y follaje	0.50
Papel	2.69
Cartón	4.47
Vidrio	1.79
Plástico de tereftalato de polietileno (PET)	1.78
Plástico duro	1.15
Bolsas	2.37
Tetra Pak	0.62
Tecnopor y similares	0.26
Metal	0.94
Telas, textiles	0.54
Caucho, cuero y jebe	0.17
Pilas	0.03
Residuos de medicinas	0.00
Residuos sanitarios	4.92
Residuos inertes	3.20
Otros	0.62

Fuente: Gerencia de Gestión y Desarrollo Ambiental (2017)

3.2.2. Población

Lixiviado drenado de la celda N° 3 del botadero controlado “La Pushura” de la ciudad de Jaén.

3.2.3. Muestra

Se colectó una muestra simple de 15 L de volumen.

3.2.4. Muestreo

La colecta de lixiviado se realizó directamente de la descarga del efluente proveniente de la celda N° 3.

3.2.5. Fuentes de información

Las fuentes de información empleadas en el presente estudio fueron mixtas; las fuentes primarias correspondieron a las registradas en campo (toma de muestra y georreferenciación) y laboratorio (análisis fisicoquímico a priori y a posteriori de lixiviado). Las fuentes secundarias utilizadas fueron producto de extensas revisiones en artículos científicos, libros e informes.

3.2.6. Diseño experimental

La investigación desarrollada fue de enfoque (estrategia) cuantitativo y de alcance (objetivo) explicativo (Hernández, Fernández y Baptista, 2014); además de, finalidad aplicada, el control en el diseño de la prueba fue de tipo experimental y de intervención multidisciplinaria.

La experimentación en su totalidad se desarrolló bajo un diseño completamente aleatorizado (DCA) de un solo factor, con cuatro tratamientos que recibieron el reactivo de Fenton ($[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$) y un tratamiento blanco o control (sin reactivo de Fenton), el número de repeticiones fue equivalente a seis, totalizando en 30 unidades experimentales. En las tablas a continuación, se

muestran a detalle las variables estudiadas así como también los tratamientos ensayados; teniendo en consideración las investigaciones realizadas por Bautista, Bartolo, Ramos, Gutiérrez y Nájera (2016) y Méndez, García, Castillo y Sauri (2010).

Tabla 2
Variables estudiadas

Variable	Detalle/Nivel
Independiente	Dosis del reactivo Fenton
Dependiente	DQO
	Color
	Turbiedad

Tabla 3
Tratamientos ensayados mediante un DCA

Tratamiento	Dosificación de [H₂O₂]/[Fe²⁺]	pH	Tiempo de residencia	
			DQO	Color y Turbiedad
T ₁	0.0	-	20 minutos	1 hora
T ₂	2.0	4	20 minutos	1 hora
T ₃	4.0	4	20 minutos	1 hora
T ₄	6.0	4	20 minutos	1 hora
T ₅	8.0	4	20 minutos	1 hora

3.2.7. Procedimiento experimental

- Usando los implementos de seguridad (EPP) y con ayuda de un recipiente plástico pequeño se recolectó el lixiviado para luego trasladarlo a un recipiente de mayor capacidad hasta completar el volumen necesario (15 L).
- Del volumen total de lixiviado colectado, se separó 1 L para la caracterización fisicoquímica de la muestra y lo restante fue utilizado en la experimentación con el proceso Fenton.
- El volumen tratado con el reactivo Fenton (tratamientos dos al cinco) fue de 500 mL o equivalente a 0.5 L; es decir, el volumen empleado en cada unidad experimental. A los cuales se corrigió el pH (acidificó) hasta 4 con CH₃COOH concentrado (99 % grado reactivo).
- Posteriormente se adicionó el catalizador en forma de FeSO₄·7H₂O a un valor fijo de 1 g de Fe²⁺ en todos los ensayos y sus repeticiones. Después,

se agregó el agente oxidante (H_2O_2 al 30 % grado reactivo)) a una diferente proporción de mezcla según el tratamiento, tal y como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4
Cantidades del reactivo Fenton por tratamiento

Tratamiento	[FeSO ₄ ·7H ₂ O]	[H ₂ O ₂]
T ₁	-	-
T ₂	4.9784 g	9.96 mL
T ₃	4.9784 g	19.91 mL
T ₄	4.9784 g	29.87 mL
T ₅	4.9784 g	39.83 mL

- Después de dosificar con el reactivo Fenton, una a una fueron colocadas sobre el equipo de dispersión (mezclador) a fin de oxidar la carga orgánica presente en el lixiviado. Las velocidades y tiempos de agitación fijos fueron de 100 rpm por 1 minuto (mezcla rápida) y de 30 rpm por 10 minutos (mezcla lenta).
- Finalmente, el tiempo de contacto (residencia o reacción) para la DQO fue de 20 minutos y para el color y la turbiedad fue de 1 hora, pasado ese periodo se procedió a realizar los ensayos para los parámetros en mención de acuerdo a la metodología y norma establecida en la Tabla 5.



Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento experimental

Tabla 5
 Metodología empleada para los ensayos de DQO, color y turbiedad

Parámetro	Equipo	Metodología
Color	DR-900 marca HACH	Método Estándar Platino-Cobalto espectrofotométrico, adaptado al National Council for Air and Stream Improvement (NCASI). Norma: SMEWW. Ed.20 (2120C) modificado.
DQO	COD reactor marca HANNA HI 839800	Chemical Oxygen Demand (COD). Reflujo cerrado, Colorimetric Method: Digestión a 160 °C por 2 horas. Valoración utilizando Sulfato Ferroso Amoniacal (Sal de Mohr). Finalmente se determina la DQO con relación. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed.
Turbiedad	Turbidímetro marca HANNA HI-98703	Medición con equipo Turbidímetro marca HANNA HI-98703, normado por la EPA, cumple y sobrepasa los requisitos de la USEPA 180.1 Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 22nd Ed Turbidity. Título: Nephelometric Method.

3.2.8. Instrumentos de recolección de datos

Las eficiencias de remoción de cada uno de los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron calculadas con la siguiente fórmula (F1), siendo registradas en una hoja de cálculo de *Microsoft Excel* para su posterior análisis.

$$REMOCIÓN (\%) = \left[\frac{Y_{INICIAL} - Y_{REMANENTE}}{Y_{INICIAL}} \right] \times 100 \quad (F1)$$

Donde,

Y: color, DQO o turbiedad; según sea el caso.

3.2.9. Análisis de datos

Los datos registrados en *MS Excel* fueron exportados a la plataforma de trabajo del programa *IBM SPSS Statistics 25*, en este *software* se procedió a realizar el análisis de varianza (ANOVA) de una vía para cada una de las variables de respuesta con un nivel de significancia $P = 0.05$. Posteriormente, se desarrolló la prueba de Tukey al mismo nivel de significancia que el ANOVA.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización fisicoquímica de lixiviado

El ensayo fisicoquímico para el lixiviado arrojó elevadas cargas de sólidos (medidos como totales disueltos y suspendidos), responsables de los altos valores de color y turbiedad; además de ser los responsables de una gran demanda de oxígeno (medida como DQO). Finalmente, el lixiviado resultó ser de naturaleza alcalina con una gran capacidad para transmitir la energía eléctrica (C.E), justificada en el elevado porcentaje de cloruro de sodio (Tabla 6).

Tabla 6
Caracterización fisicoquímica de lixiviado

Parámetro	Expresión	Resultado
Potencial de iones hidrógeno	Unidades de pH	8.11
Conductividad eléctrica	mS/cm	23.25
Color	UCV-Pt-Co	35 600
Sólidos totales disueltos	ppm STD	11 670
Sólido totales suspendidos	ppm STS	8 200
Porcentaje de cloruro de sodio	%	43.4
Turbiedad	NTU	692
DQO	ppm O ₂	7 489.6

Fuente: Informe de ensayo OIKOSLAB S.A.C.

4.2. Remoción de color

Después de tratar la muestra de lixiviado con el proceso Fenton (a excepción del T1), se registró el valor más bajo (3 300) con el T₄R₁ y el más alto (8 800) con el T₅R₄; con una media aritmética general igual a 5 700 UCV-Pt-Co. Las mejores eficiencias de remoción del color aparente resultaron después de aplicar el T₄ y las más bajas fueron presentadas por el T₅.

Tabla 7
Resultados de color (UCV-Pt-Co) pos-Fenton

Repetición	Tratamiento				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
R ₁	35 600	5 700	4 400	3 300	6 900
R ₂	35 600	6 800	5 400	5 100	7 400
R ₃	35 600	4 900	4 300	4 800	8 400
R ₄	35 600	5 600	6 400	3 500	8 800
R ₅	35 600	6 000	4 400	3 400	8 400
R ₆	35 600	5 300	6 200	3 400	8 000
Promedio	35 600	5 716.67	5 183.33	3 916.67	7 983.33

Fuente: Informe de ensayo OIKOSLAB S.A.C.

Para el cálculo de las eficiencias de remoción se empleó la F1. Los resultados de remoción quedaron registrados en la Tabla 8. A continuación, se presenta el ejemplo de cálculo para el T₂R₁:

$$REMOCIÓN DE COLOR (\%) = \left[\frac{35600 - 5700}{35600} \right] \times 100 = 83.99$$

Tabla 8
Eficiencias de remoción para el color

Repetición	Tratamiento			
	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
R ₁	83.99	87.64	90.73	80.62
R ₂	80.90	84.83	85.67	79.21
R ₃	86.24	87.92	86.52	76.40
R ₄	84.27	82.02	90.17	75.28
R ₅	83.15	87.64	90.45	76.40
R ₆	85.11	82.58	90.45	77.53
Promedio	83.94	85.44	89.00	77.57

4.2.1. Análisis de varianza para el color

El ANOVA (para T₂-T₅) para 3 grados de libertad entre grupos (tratamientos) y de 20 dentro de grupos (error), presentado en la Tabla 9 a una confiabilidad del 95 %, muestra diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos ensayados para el color.

Tabla 9
ANOVA para el color

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	410.141	3	136.714	27.760	*
Dentro de grupos	98.496	20	4.925		
Total	508.637	23			

*Significativo en el nivel 0.05

4.2.2. Prueba de Tukey para el color

La prueba de comparación de medias de Tukey procesado al mismo nivel de confianza y significancia que el ANOVA, estableció al T₄ y T₃ (clase “a” de tratamientos) como los mejores tratamientos, seguidos por el T₂ y T₅. En la Fig. 2 se muestra las eficiencias de remoción de color por clase y tratamiento, de acuerdo al promedio.

Tabla 10
Prueba de Tukey para el color

Comparación	Diferencia	Q	Valor crítico	Sig.
T ₄ -T ₃	3.56	3.93	3.96	NS
T ₄ -T ₂	5.06	5.58	3.96	*
T ₄ -T ₅	11.42	12.61	3.96	*
T ₃ -T ₂	1.50	1.65	3.96	NS
T ₃ -T ₅	7.87	8.68	3.96	*
T ₂ -T ₅	6.37	7.03	3.96	*

Q: amplitud estudentizada

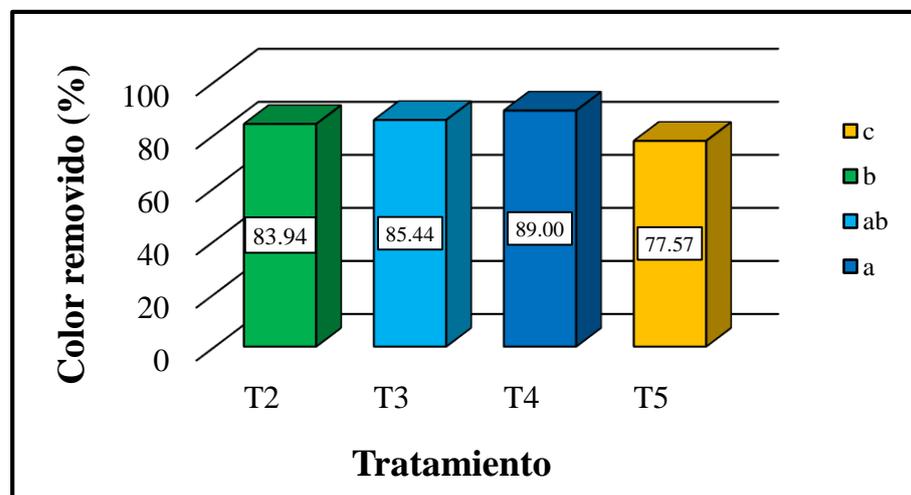


Figura 2. Promedios del color removido (%) por tratamiento

4.3. Remoción de la DQO

El T₄ presentó los valores más bajos de DQO pos-Fenton (73.29 % como media de remoción), seguido por el T₃, T₂ y T₁; con 57.34, 24.44 y 14.83 % respectivamente. La eficiencia más alta y más baja para este parámetro fue de 78.33 (T₄R₃) y 12.98 % (T₅R₅), respectivamente. En la Tabla 11 se muestran los resultados pos-Fenton, mientras que, en la Tabla 12 se muestran las eficiencias de remoción por tratamiento y repetición para este parámetro.

Tabla 11
Resultados de DQO (mg/L) pos-Fenton

Repetición	Tratamiento				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
R ₁	7 489.60	5 367.55	3 245.49	2 119.28	6 440.64
R ₂	7 489.60	5 865.47	3 444.80	1 797.92	6 490.99
R ₃	7 489.60	5 740.64	2 496.53	1 622.75	6 241.33
R ₄	7 489.60	5 492.37	3 370.32	1 947.57	6 365.47
R ₅	7 489.60	5 994.45	3 245.40	2 269.63	6 517.20
R ₆	7 489.60	5 495.15	3 369.63	2 244.11	6 216.51
Promedio	7 489.60	5 659.27	3 195.36	2 000.21	6 378.69

Fuente: Informe de ensayo OIKOSLAB S.A.C.

Tabla 12
Eficiencias de remoción para la DQO

Repetición	Tratamiento			
	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
R ₁	28.33	56.67	71.70	14.01
R ₂	21.69	54.01	75.99	13.33
R ₃	23.35	66.67	78.33	16.67
R ₄	26.67	55.00	74.00	15.01
R ₅	19.96	56.67	69.70	12.98
R ₆	26.63	55.01	70.04	17.00
Promedio	24.44	57.34	73.29	14.83

4.3.1. Análisis de varianza para la DQO

El ANOVA (para T₂-T₅) para 3 grados de libertad entre grupos (tratamientos) y de 20 dentro de grupos (error), presentado en la Tabla 13 a una confiabilidad

del 95 %, muestra diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos ensayados para la DQO.

Tabla 13
ANOVA para la DQO

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	13 560.429	3	4 520.143	380.951	*
Dentro de grupos	237.308	20	11.865		
Total	13 797.737	23			

4.3.2. Prueba de Tukey para la DQO

La prueba de Tukey procesado al mismo nivel de confianza y significancia que el ANOVA, estableció al T₄ (clase “a” de tratamiento) como el mejor tratamiento, seguidos por el T₃, T₂ y T₅ (clases b, c y d, respectivamente). En la Fig. 3 se muestra las eficiencias de remoción de DQO.

Tabla 14
Prueba de Tukey para la DQO

Comparación	Diferencia	Q	Valor crítico	Sig.
T ₄ -T ₃	15.96	11.35	3.96	*
T ₄ -T ₂	48.86	34.75	3.96	*
T ₄ -T ₅	58.46	41.58	3.96	*
T ₃ -T ₂	32.90	23.40	3.96	*
T ₃ -T ₅	42.50	30.23	3.96	*
T ₂ -T ₅	9.61	6.83	3.96	*

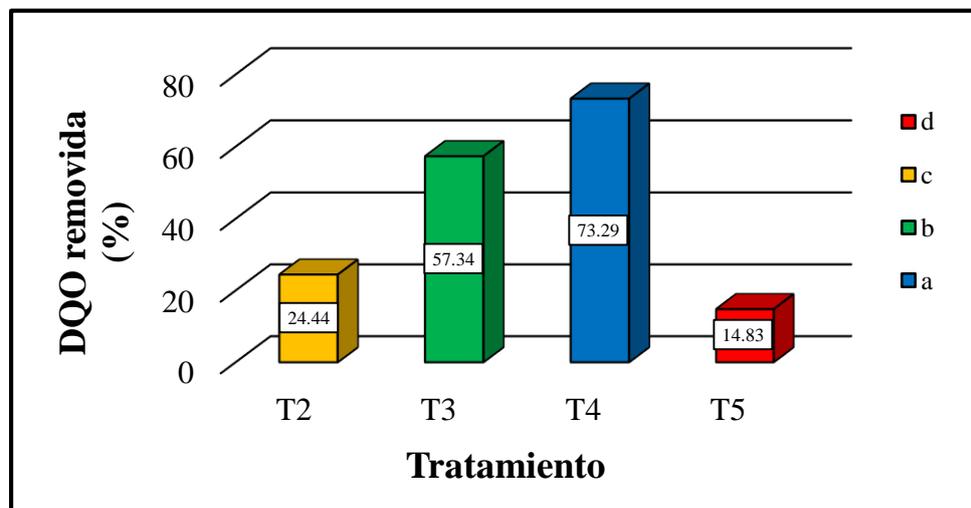


Figura 3. Promedios de la DQO removida (%) por tratamiento

4.4. Remoción de turbiedad

Una vez más, el T₄ resaltó por sobre los otros tratamientos, presentando los valores más bajos de turbiedad, así como también, las mejores eficiencias de remoción para este parámetro.

Tabla 15
Resultados de turbiedad (NTU) pos-Fenton

Repetición	Tratamiento				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
R ₁	692	290	184	148	383
R ₂	692	275	238	155	355
R ₃	692	250	196	187	388
R ₄	692	280	220	163	400
R ₅	692	235	192	150	405
R ₆	692	266	229	179	375
Promedio	692	266	209.83	163.67	384.33

Fuente: Informe de ensayo OIKOSLAB S.A.C.

Tabla 16
Eficiencias de remoción para la turbiedad

Repetición	Tratamiento			
	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
R ₁	58.09	73.41	78.61	44.65
R ₂	60.26	65.61	77.60	48.70
R ₃	63.87	71.68	72.98	43.93
R ₄	59.54	68.21	76.45	42.20
R ₅	66.04	72.25	78.32	41.47
R ₆	61.56	66.91	74.13	45.81
Promedio	61.56	69.68	76.35	44.46

4.4.1. Análisis de varianza para la turbiedad

El ANOVA (para T₂-T₅) para 3 grados de libertad entre grupos (tratamientos) y de 20 dentro de grupos (error), presentado en la Tabla 17 a una confiabilidad del 95 %, muestra diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos ensayados para la turbiedad.

Tabla 17
ANOVA para la turbiedad

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3 411.497	3	1 137.166	146.594	*
Dentro de grupos	155.145	20	7.757		
Total	3 566.642	23			

4.4.2. Prueba de Tukey para la turbiedad

La prueba de Tukey procesado al mismo nivel de confianza y significancia que el ANOVA, estableció al T₄ (clase “a” de tratamiento) como el mejor tratamiento, seguidos por el T₃, T₂ y T₅ (clases b, c y d, respectivamente). En la Fig. 4 se muestra las eficiencias de remoción de turbiedad.

Tabla 18
Prueba de Tukey para la turbiedad

Comparación	Diferencia	Q	Valor crítico	Sig.
T ₄ -T ₃	6.67	5.87	3.96	*
T ₄ -T ₂	14.79	13.01	3.96	*
T ₄ -T ₅	31.89	28.05	3.96	*
T ₃ -T ₂	8.12	7.14	3.96	*
T ₃ -T ₅	25.22	22.18	3.96	*
T ₂ -T ₅	17.10	15.04	3.96	*

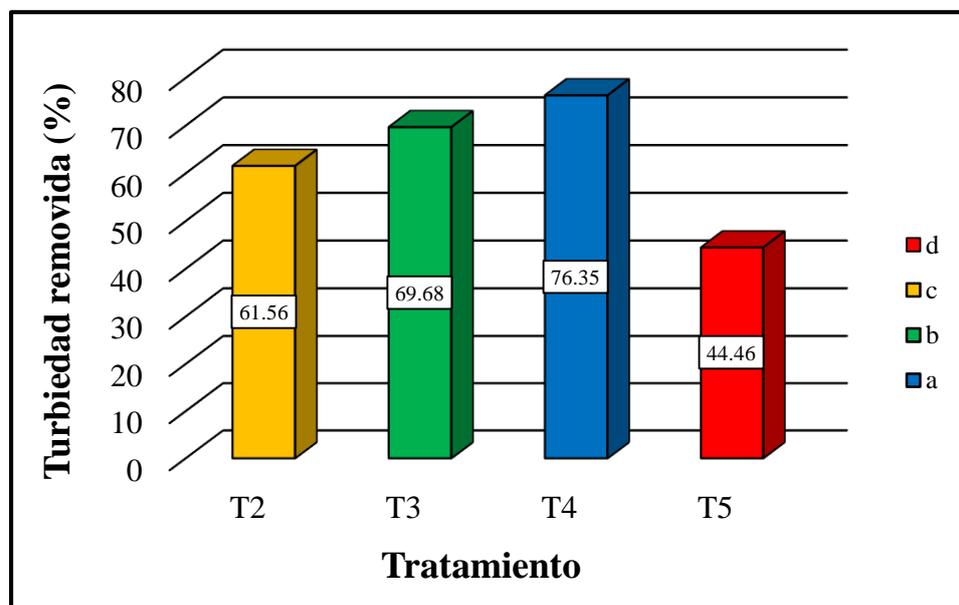


Figura 4. Promedios de la turbiedad removida (%) por tratamiento

V. DISCUSIÓN

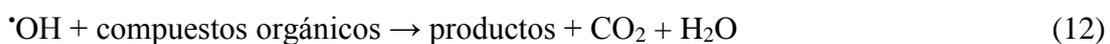
La composición fisicoquímica del lixiviado procedente del botadero controlado “La Pushura”, fue altamente heterogénea, presentando elevados valores en todos sus parámetros ensayados, lo que indica una significativa carga orgánica e inorgánica contaminante debido a los RSM depositados (Song, et al., 2016). En la zona urbana del distrito de Jaén diariamente se originan 82.682 ton de residuos, compuestos de 74.43 % entre materia orgánica, madera y follaje; 48.41 % de humedad promedio de residuos sólidos domiciliarios (Gerencia de Gestión y Desarrollo Ambiental, 2017), esto justifica la carga orgánica presente en lixiviado.

Además, teniendo en consideración que el botadero controlado de la ciudad de Jaén opera desde el año 2013, la edad resulta un factor de gran importancia en la composición fisicoquímica del lixiviado, según lo manifestado por muchos autores (Chen, 1996; Di Iaconi et al., 2006; Kulikowska y Klimiuk, 2008; Nanny y Ratasuk, 2002; Park et al., 2001); donde el contenido orgánico se vuelve refractario a medida que transcurre el tiempo (Deng y Ezyzke, 2011). De acuerdo a la clasificación según la edad y composición de lixiviados realizada por Foo y Hameed (2009), el lixiviado estudiado es de edad intermedia (5-10 años), pH entre 6.5-7.5 (8.11 para este estudio), de biodegradabilidad media donde los compuestos orgánicos están representados por 5-30 % de ácidos grasos volátiles más ácidos húmicos y fúlvicos; y la DQO entre 4 000-10 000 mg/L (7 489.6 mg/L para este estudio). Mientras que para Moraes, de Souza y Carbonelli (2019) un lixiviado de 5-10 años presenta una C.E. entre 6-14 mS/cm (23.25 mS/cm para este estudio), responsables de 5 000-10 000 ppm de STD (11 670 ppm para este estudio).

En general e independientemente de la edad, la composición fisicoquímica del lixiviado estudiado resulta comparable con los valores promedios establecido por Sil y Kumar (2017), estando dentro del rango los parámetros de pH (7-10) y DQO (500-38 800 ppm); muy por encima los valores de C.E. (6.7 mS/cm) STS (77 ppm) y STD (68-3 389 ppm); no se muestran registros para los parámetros de color y turbiedad.

Por otra parte, el método de Fenton como POA resultó ser un tratamiento viable y eficiente en la remoción de los parámetros color, DQO y turbiedad presentes en lixiviado del botadero controlado “La Pushura”. De acuerdo a los ANOVA, la prueba de comparación de medias de Tukey, las variables operacionales fijas de pH (4), frecuencia de mezcla rápida (100 rpm por 1 minuto) y lenta (30 rpm por 10 minutos); y tiempo de residencia de 1 hora, el T₄ ([H₂O₂]/[Fe²⁺] = 6) fue el mejor tratamiento en la remoción de los tres parámetros mencionados anteriormente, con 89, 73.29 y 76.35 % para el color (no existe diferencia significativa con el T₃), DQO y turbiedad, respectivamente.

La viabilidad de este tratamiento se justifica en la química del proceso y sus parámetros de optimización (dosis del reactivo Fenton, pH, tiempo de residencia, etc.). La reacción de Fenton se basa en la adición de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) a los lixiviados en presencia de una sal ferrosa (Fe²⁺) como catalizador (Umar et al., 2010a); el objetivo es la generación de radicales [•]OH extremadamente reactivos y no selectivos para la destrucción de la materia orgánica presente en la solución (Hermosilla et al., 2009). La secuencia de reacciones de este proceso ha sido descrito por muchos investigadores (Deng y Englehardt, 2006; Hermosilla et al., 2009; Masomboon, Ratanatamskul y Lu, 2009; Pignatello, Oliveros y Mackay, 2006; Rodriguez, Timokhin, Contreras, Chamarro y Esplugas, 2003; Saharan, Pinjari, Gogate y Pandit, 2014), tal y como se presenta a continuación:



La oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} inicia y cataliza la descomposición de las moléculas de H_2O_2 , lo que resulta en la generación rápida de radicales $\cdot\text{OH}$, a una velocidad de reacción (k) igual a $70 \text{ M}^{-1} \text{ S}^{-1}$ (Ec. 1). En las Ec. 1-6 el hierro realiza ciclos entre Fe^{2+} y Fe^{3+} , a la vez que desempeña el papel de catalizador. La reacción neta (Ec. 9) de las Ec. 1-8 es la descomposición de H_2O_2 en agua y O_2 , catalizada por hierro (Deng y Englehardt, 2006). Además, la cinética química de las Ec 1 y 2 indica que el Fe^{2+} se consume más rápidamente de lo que se origina; se ha informado que esta tasa de generación es varios ordenes de magnitud más lenta que la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} (Hermosilla et al., 2009), precisamente, la k_2 bien podría estar comprendido entre $0.01\text{-}0.02 \text{ M}^{-1} \text{ S}^{-1}$ (Kang, Lee y Yoon, 2002).

La oxidación de la carga contaminante (Ec. 12), también se produce por el diferencial del potencial redox (ORP) entre el radical $\cdot\text{OH}$ y el lixiviado, se ha informado que el potencial ORP del primero es 2.80 V (solo superado por el flúor (F) (3.06 V)) (Ameta, 2018) mientras que para el segundo es -277, -127 y -104 V, para un lixiviado de 2, 6 y 12 años, respectivamente (Youcai y Ziyang, 2017). En general, los mecanismos de acción por el cual los radicales $\cdot\text{OH}$ atacan y eliminan los contaminantes orgánicos son: deshidrogenación (Ec. 11), reacción redox y reacciones de adición electrofílica (Ec. 10) (Oturán, 2000; Oturan, Peiroten y Acher, 2000).

La dosis de $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{2+}]$ determina en gran medida los costos operativos y la eficiencia de la eliminación de los compuestos orgánicos en el proceso (Deng y Englehardt, 2006). La eliminación de contaminantes orgánicos mejora a medida que aumenta la concentración de reactivos, el grado de aumento se vuelve insignificante cuando la dosis aumenta por encima de un cierto nivel umbral (óptimo) (Deng y Englehardt, 2006; Zhang et al., 2005). El exceso de sal ferrosa contribuye a un aumento en los STD de los efluentes y la C.E., así como en la cantidad de lodo de hierro que requiere tratamiento (Gogate y Pandit, 2004). En cambio, la aplicación excesiva de H_2O_2 genera burbujas de gas (emisión de O_2) por autodescomposición, lo que inhibe la sedimentación de lodo (flotación de lodo de hierro) (Lau, Wang y Fang, 2001). Esto explica el porqué resultó mejor tratamiento el T_4 y no el T_5 para este estudio.

Una característica esencial del proceso Fenton es que valores ácidos de pH favorece fuertemente la oxidación, variando entre 2 y 4.5 (Deng y Englehardt, 2006), para este estudio

el valor de este parámetro fue fijo (pH = 4). Valores de pH muy por debajo del óptimo, inhiben la formación de radicales $\cdot\text{OH}$, debido a la baja $[\text{H}^+]$ (Tang y Huang, 1996), que a su vez indisponen la $[\text{Fe}^{3+}]$ (Pignatello, 1992). Por otro lado, un pH superior al óptimo, especialmente en el rango de neutro a alcalino, también dificulta la oxidación de Fenton (Deng y Englehardt, 2006). Valores por encima de 5 generan la descomposición rápida del H_2O_2 en H_2O y O_2 (Meeker, 1965); también se produce la inactivación del catalizador ferroso al formarse oxihidróxido férrico (Bigda, 1995). El ORP del radical $\cdot\text{OH}$ decrece con el aumento del pH, de 2.80 V (pH = 0) a 1.95 V (pH = 14) (Kim y Vogelpohl, 1998).

Los valores óptimos de pH reportados para el proceso Fenton y concordantes en el carácter ácido estudiado en esta investigación son: 2.5 (Gulsen y Turan, 2004; Hermosilla et al., 2009); 3 (Cortez et al., 2009; Cotman y Gotvajn, 2010; Deng, 2007; Guo, et al., 2010; Lopez et al., 2004); 3.5 (Kang y Hwang, 2000; Kim y Huh, 1997; Kochany y Lipczynska-Kochany, 2009); 4 (Gau y Chang, 1996; Méndez et al., 2010); 5 (Wang et al., 2009); e inclusive 6 (Lau et al., 2001; Wang, Lau, Fang y Zhou, 2000).

Otro factor de operación a tener en consideración es el tiempo de residencia o tiempo de contacto o tiempo de reacción entre el reactivo Fenton y la carga orgánica contaminante presente en el liviviado. De acuerdo con Lin y Chang (2000), el tiempo para completar la reacción de oxidación depende en gran medida de la dosificación de H_2O_2 , por lo que el punto de consumo de H_2O_2 puede denominarse punto de terminación de la oxidación. Los tiempos fijos establecidos en este estudio son de 20 minutos y 1 hora, en la remoción de DQO y color y turbiedad, respectivamente. Bajo estas condiciones, se han informado muchos estudios, estableciéndose como óptimos (Medina et al., 2016; Méndez et al., 2009; Méndez et al., 2010).

Finalmente, las mejores eficiencias de remoción de color, DQO y turbiedad presentadas en este estudio, se encuentran dentro de los rangos óptimos de eliminación informadas en muchas investigaciones, considerando la semejanza o la diferencia en cuanto a las características fisicoquímicas iniciales del liviviado (incluido o no pretratamiento) y los parámetros de operación (dosis de reactivo Fenton, pH y tiempo de residencia) empleados. Bajo estas condiciones, se han reportado remoción de DQO entre 40-60 % (Koc-jurczyk y Jurczyk, 2015; Lopez et al., 2004; Medina et al., 2016; Primo et al., 2008; Wang et al., 2009);

60-70 % (Ahmadian, et al., 2013; Bae, Kim y Chang, 1997; Boumechhour, Rabah, Lamine y Said, 2012; Cortez et al., 2009; Deng, 2007; Gau y Chang, 1996; Guo, et al., 2010; Hermosilla et al., 2009; Kang y Hwang, 2000; Kim y Huh, 1997; Kochany y Lipczynska-Kochany, 2009; Lau et al., 2001; Talebi et al., 2014; Wang et al., 2000; Yoo, Cho, y Ko, 2001; Zhang et al., 2005); 70-80 % (Bautista et al., 2016; Goi et al., 2010; Méndez et al., 2010; Pala y Erden, 2004; Welander y Henrysson, 1998); 80-90 % (Cheibub, Campos y da Fonseca, 2014; Cotman y Gotvajn, 2010; Di Iaconi et al., 2006; Gulsen y Turan, 2004; Hermosilla et al., 2009; Leszczyński, 2018); y 95 % (Fard, Jorfi, Ahmadi, Mirali y Kujlu, 2016). Las cargas orgánicas medidas como DQO fluctuaron entre 338 (Welander y Henrysson, 1998) y 22 400 mg/L de O₂ (Pala y Erden, 2004).

Las remociones de color en lixiviados son elevadas; por ejemplo, se han informado eliminaciones de 81 % (Talebi et al., 2014); <90 % (Ahmadian, et al., 2013); 90-98 (Bautista et al., 2016; Kim y Huh, 1997; Wang et al., 2009) y 98.17 % (Göde, Souza, Trevisan y Skoronski, 2019). Por otra parte, la remoción de turbiedad en lixiviado reportada está dentro del rango informado; tal y como informó Medina et al. (2016), con 65 y 98 % para un lixiviado colectado en época de estiaje y lluvia, respectivamente. También, Talebi et al. (2014), reportó una remoción de turbiedad equivalente a 86 %.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El lixiviado estudiado procedente del botadero controlado “La Pushura” de la ciudad de Jaén, presentó las siguientes características fisicoquímicas: pH = 8.11; conductividad eléctrica = 23.25 mS/cm; color = 35 600 UCV-Pt-Co; sólidos totales disueltos (STD) = 11 670 mg/L; sólidos totales suspendidos (STS) = 8 200 mg/L; porcentaje de cloruro de sodio = 43.4 %; turbiedad = 692 NTU y demanda química de oxígeno (DQO) = 7 489.6 mg/L O₂.
- Para 1 hora de tiempo de residencia al aplicar el reactivo Fenton, las eficiencias de remoción del color por tratamiento fueron: T₁ (blanco, sin reactivo Fenton) = 0 %; T₂ = 83.94 ±1.82 %; T₃ = 85.44 ±2.69 %; T₄ = 89.00 ±2.27 % y T₅ = 77.57 ±1.99 %.
- Para 20 minutos de tiempo de residencia al aplicar el reactivo Fenton, las eficiencias de remoción de la DQO por tratamiento fueron: T₁ (blanco, sin reactivo Fenton) = 0 %; T₂ = 24.44 ±3.27 %; T₃ = 57.34 ±4.68 %; T₄ = 73.29 ±3.44 % y T₅ = 14.83 ±1.70 %.
- Para 1 hora de tiempo de residencia al aplicar el reactivo Fenton, las eficiencias de remoción de la turbiedad por tratamiento fueron: T₁ (blanco, sin reactivo Fenton) = 0 %; T₂ = 61.56 ±2.93 %; T₃ = 69.68 ±3.19 %; T₄ = 76.35 ±2.31 % y T₅ = 44.46 ±2.61 %.
- Los resultados indicaron que bajo las condiciones del T₄ se obtuvieron las mejores eficiencias de remoción para el color (no existió diferencia estadísticamente significativa con el T₃), DQO y turbiedad; en este caso, la proporción de mezcla [H₂O₂]/[Fe²⁺] = 6 y pH = 4.

- Se demostró que los procesos de oxidación avanzada (POA) y en particular el proceso Fenton, representa una tecnología atractiva y prometedora en el tratamiento de aguas residuales de una carga contaminante elevada y heterogénea; y además, recalcitrante a la degradación biológica como son los lixiviados. En particular, el tratamiento con Fenton provoca la destrucción química en lugar de la transferencia de contaminantes de una fase a otra, el responsable es el radical $\cdot\text{OH}$ y su ORP igual a 2.8 V.
- La principal desventaja del proceso Fenton, es la generación de lodo residual, producido por la precipitación del Fe^{3+} en forma de hidroxidos, por lo que demanda de un tratamiento adicional.

6.2. Recomendaciones

A las futuras investigaciones se recomienda lo siguiente:

- Una de las ventajas del proceso Fenton es que funciona como pretratamiento o postratamiento en el manejo de lixiviados, de tal manera que se logre la máxima purificación de estas aguas.
- La optimización del proceso Fenton es clave, a fin de obtener los mejores rendimientos de eliminación de contaminantes en lixiviados; la solución está en integrar todas las variables de operación que demanda el proceso como: cantidad y modo de adición de los reactivos; pH (modo constante), oxígeno disuelto, el tiempo de reacción y la temperatura; su puede considerar el contenido de hierro ferroso en el lixiviado. La unificación resultaría en aumentos de biodegradabilidad, minimización de lodo residual y costos de operación.
- La búsqueda de tecnologías y soluciones viables en el tratamiento de lixiviados podría estar en el escalado de niveles y del mismísimo proceso Fenton; es decir, la aplicación de otros POA que involucren el reactivo de Fenton, como el Foto-Fenton y Electro-Fenton; evaluados a niveles piloto y a gran escala. De tal manera que, resulte en un sistema de gestión bien planificado en aras de la viabilidad económica, la mejora de la calidad ambiental y la aceptabilidad social para lograr objetivos sostenibles.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadian, M., Reshadat, S., Yousefi, N., Mirhossieni, S. H., Zare, M. R., Ghasemi, S. R., ... Fatehizadeh, A. (2013). Municipal Leachate Treatment by Fenton Process : Effect of Some Variable and Kinetics. *Journal of Environmental and Public Health*, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2013/169682>
- Ameta, S. C. (2018). Introduction. In S. C. Ameta y R. Ameta (Eds.), *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment: Emerging Green Chemical Technology* (pp. 1–12). London, San Diego, Cambridge & Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810499-6.00001-2>
- Bae, J., Kim, S., y Chang, H. (1997). Treatment of landfill leachates: Ammonia removal via nitrification and denitrification and further COD reduction via Fenton's treatment followed by activated sludge. *Water Science and Technology*, 36(12), 341–348. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00736-1](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00736-1)
- Bakare, A. A., Mosuro, A. A., y Osibanjo, O. (2005). An in vivo evaluation of induction of abnormal sperm morphology in mice by landfill leachates. *Mutation Research*, 582(1–2), 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2004.12.007>
- Bautista, J. A., Bartolo, D., Ramos, F., Gutiérrez, R. F., y Nájera, H. A. (2016). Proceso Fenton para lixiviados pretratados biológicamente. *Lacandonia*, 10(2), 61–68.
- Bigda, R. (1995). Consider Fenton's chemistry for wastewater treatment. *Chemical Engineering Progress*, 62–66. Retrieved from https://pdfs.semanticscholar.org/ddb7/c0d78f4bfe1a0a3e4b4284722ba3e2586a79.pdf?_ga=2.209519573.676923015.1596995715-1802804783.1596995715
- Bila, D. M., Filipe Montalvão, A., Silva, A. C., y Dezotti, M. (2005). Ozonation of a landfill leachate: Evaluation of toxicity removal and biodegradability improvement. *Journal of Hazardous Materials*, 117(2–3), 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.09.022>

- Boumechhour, F., Rabah, K., Lamine, C., y Said, B. M. (2012). Treatment of landfill leachate using Fenton process and coagulation / flocculation. *Water and Environment Journal*, 1–6. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2012.00332.x>
- Cheibub, A. F., Campos, J. C., y da Fonseca, F. V. (2014). Removal of COD from a stabilized landfill leachate by physicochemical and advanced oxidative process. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 49(14), 1718–1726. <https://doi.org/10.1080/10934529.2014.951259>
- Chen, P. H. (1996). Assessment of leachates from sanitary landfills: Impact of age, rainfall, and treatment. *Environment International*, 22(2), 225–237. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(96\)00008-6](https://doi.org/10.1016/0160-4120(96)00008-6)
- Chu, L. M., Cheung, K. C., y Wong, M. H. (1994). Variations in the chemical properties of landfill leachate. *Environmental Management*, 18(1), 105–117. <https://doi.org/10.1007/BF02393753>
- Comninellis, C., Kapalka, A., Malato, S., Parsons, S. A., Poulios, I., y Mantzavinos, D. (2008). Perspective Advanced oxidation processes for water treatment: advances and trends for R&D. *J Chem Technol Biotechnol*, 83(May), 769–776. <https://doi.org/10.1002/jctb.1873>
- Cortez, S., Teixeira, P., Oliveira, R., y Mota, M. (2009). Fenton's oxidation as post-treatment of a mature municipal landfill leachate. *World Academy of Science, Engineering and Technology, Open Science Index 33, International Journal of Chemical and Molecular Engineering*, 3(9), 449–452. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1055903>
- Cotman, M., y Gotvajn, A. Ž. (2010). Comparison of different physico-chemical methods for the removal of toxicants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1–3), 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.078>
- Cumar, S. K. M., y Nagaraja, B. (2011). Environmental impact of leachate characteristics on water quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178, 499–505. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1708-9>
- Das, S., Lee, S., Kumar, P., Kim, K., Soo, S., y Sundar, S. (2019). Solid waste management : Scope and the challenge of sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 228, 658–678. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.323>

- De Morais, J. L., y Zamora, P. P. (2005). Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials*, 123(1–3), 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.03.041>
- De Soto, I. S., Ruiz, A. I., Ayora, C., García, R., Regadio, M., y Cuevas, J. (2012). Diffusion of landfill leachate through compacted natural clays containing small amounts of carbonates and sulfates. *Applied Geochemistry*, 27(6), 1202–1213. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.02.032>
- Deng, Y. (2007). Physical and oxidative removal of organics during Fenton treatment of mature municipal landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 146(1–2), 334–340. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.12.026>
- Deng, Y., y Englehardt, J. D. (2006). Treatment of landfill leachate by the Fenton process. *Water Research*, 40(20), 3683–3694. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.08.009>
- Deng, Y., y Ezyske, C. M. (2011). Sulfate radical-advanced oxidation process (SR-AOP) for simultaneous removal of refractory organic contaminants and ammonia in landfill leachate. *Water Research*, 45(18), 6189–6194. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.09.015>
- Di Iaconi, C., Ramadori, R., y Lopez, A. (2006). Combined biological and chemical degradation for treating a mature municipal landfill leachate. *Biochemical Engineering Journal*, 31(2), 118–124. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2006.06.002>
- Dirección de Desarrollo Ambiental. (2015). *Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos PIGARS JAÉN*. Municipalidad Provincial de Jaén.
- Esplugas, S., Giménez, J., Contreras, S., Pascual, E., y Rodríguez, M. (2002). Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation. *Water Research*, 36(4), 1034–1042. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00301-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00301-3)
- Fard, N. A. J. H., Jorfi, S., Ahmadi, M., Mirali, S., y Kujlu, R. (2016). Treatment of mature landfill leachate by chemical precipitation and Fenton advanced oxidation process. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 3(1), 35–40.
- Foo, K. Y., y Hameed, B. H. (2009). An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process. *Journal of Hazardous Materials*, 171(1–3), 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.038>

- Gau, S. H., y Chang, F. S. (1996). Improved fenton method to remove recalcitrant organics in landfill leachate. *Water Science and Technology*, 34(7–8), 455–462. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)81411-4](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)81411-4)
- Gerencia de Gestión y Desarrollo Ambiental. (2017). *Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Jaén - 2017*. Jaén: Municipalidad Provincial de Jaén.
- Göde, J. N., Souza, D. H., Trevisan, V., y Skoronski, E. (2019). Application of the Fenton and Fenton-like processes in the landfill leachate tertiary treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(5), 103352. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103352>
- Gogate, P. R., y Pandit, A. B. (2004). A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions. *Advances in Environmental Research*, 8, 501–551. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(03\)00032-7](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(03)00032-7)
- Goi, A., Veressinina, Y., y Trapido, M. (2010). Fenton Process for Landfill Leachate Treatment: Evaluation of Biodegradability and Toxicity. *Journal of Environmental Engineering*, 136(1), 46–53. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000132](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000132)
- Gulsen, H., y Turan, M. (2004). Treatment of Sanitary Landfill Leachate Using a Combined Anaerobic Fluidized Bed Reactor and Fenton's Oxidation. *Environmental Engineering Science*, 21(5), 627–636. <https://doi.org/10.1089/ees.2004.21.627>
- Guo, J.-S., Abbas, A. A., Chen, Y.-P., Liu, Z.-P., Fang, F., y Chen, P. (2010). Treatment of landfill leachate using a combined stripping, Fenton, SBR, and coagulation process. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1–3), 699–705. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.144>
- Hamer, G. (2003). Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety, 22(1–2), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2003.08.007>
- Hermosilla, D., Cortijo, M., y Huang, C. P. (2009). Optimizing the treatment of landfill leachate by conventional Fenton and photo-Fenton processes. *Science of the Total Environment*, 407(11), 3473–3481. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.009>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6th ed.). México DF, México: McGraw-Hill Education.

- Hoornweg, D., y Bhada-Tata, P. (2012). *What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management*. Washington, DC: Urban Development & Local Government Unit - World Bank.
- Ince, N. H. (1998). Light-Enhanced Chemical Oxidation for Tertiary Treatment of Municipal Landfill Leachate. *Water Environment Federation*, 70(6), 1161–1169. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/25045134?seq=1>
- Johansen, O. J., y Carlson, D. A. (1976). Characterization of sanitary landfill leachates. *Water Research*, 10(12), 1129–1134. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(76\)90046-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(76)90046-4)
- Kale, S. S., Kadam, A. K., Kumar, S., y Pawar, N. J. (2010). Evaluating pollution potential of leachate from landfill site, from the Pune metropolitan city and its impact on shallow basaltic aquifers. *Environ Monit Assess*, 162, 327–346. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0799-7>
- Kang, N., Lee, D. S., y Yoon, J. (2002). Kinetic modeling of Fenton oxidation of phenol and monochlorophenols. *Chemosphere*, 47(9), 915–924. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00067-X)
- Kang, Y. W., y Hwang, K.-Y. (2000). Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process. *Water Research*, 34(10), 2786–2790. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00388-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00388-7)
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., y Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: The World Bank.
- Kim, Soo-M, Geissen, S.-U., y Vogelpohl, A. (1997). Landfill leachate treatment by a photoassisted fenton reaction. *Wat Sci Tech*, 35(4), 239–248. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00031-0](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00031-0)
- Kim, Soo-Myung, y Vogelpohl, A. (1998). Degradation of Organic Pollutants by the Photo-Fenton-Process. *Chem. Eng. Technol*, 21(2), 187–191. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-4125\(199802\)21:2<187::AID-CEAT187>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-4125(199802)21:2<187::AID-CEAT187>3.0.CO;2-H)
- Kim, Y.-K., y Huh, I.-R. (1997). Enhancing biological treatability of landfill leachate by chemical oxidation. *Environmental Engineering Science*, 14(1), 73–79. <https://doi.org/10.1089/ees.1997.14.73>

- Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., y Christensen, T. H. (2002). Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4), 297–336. <https://doi.org/10.1080/10643380290813462>
- Klinck, B. A., y Stuart, M. E. (1999). *Human health risk in relation to landfill leachate quality*. Nottingham: British Geological Survey Technical Report WC/99/17. Retrieved <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.475.1969&rep=rep1&type=pdf>
- Koc-jurczyk, J., y Jurczyk, L. (2015). The efficiency of landfill leachate treatment using the Fenton's reagent. *J. Ecol. Eng.*, 16(3), 70–76. <https://doi.org/10.12911/22998993/2932>
- Kochany, J., y Lipczynska-Kochany, E. (2009). Utilization of landfill leachate parameters for pretreatment by Fenton reaction and struvite precipitation-A comparative study. *Journal of Hazardous Materials*, 166(1), 248–254. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.017>
- Kolekar, K. A., Hazra, T., y Chakrabarty, S. N. (2017). Prediction of municipal solid waste generation for developing countries in temporal scale: A fuzzy inference system approach. *Global NEST Journal*, 19(3), 511–520. <https://doi.org/10.30955/gnj.002323>
- Kulikowska, D., y Klimiuk, E. (2008). The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource Technology*, 99(13), 5981–5985. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.10.015>
- Kumar, D., y Alappat, B. J. (2003). Monitoring leachate composition at a municipal landfill site in New Delhi, India. *Int. J. Environment and Pollution*, 19(5), 454–465. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2003.004322>
- Kurniawan, T. A., Lo, W., y Chan, G. Y. S. (2006). Radicals-catalyzed oxidation reactions for degradation of recalcitrant compounds from landfill leachate. *Chem Eng J*, 125(1), 35–57. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.07.006>
- Lau, I. W. C., Wang, P., y Fang, H. H. P. (2001). Organic Removal of Anaerobically Treated Leachate by Fenton Coagulation. *Journal of Environmental Engineering*, 127(7), 666–669. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2001\)127:7\(666\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2001)127:7(666))

- Lema, J. M., Mendez, R., y Blazquez, R. (1988). Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: A review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 40, 223–250. <https://doi.org/10.1007/BF00163730>
- Leszczyński, J. (2018). Treatment of Landfill Leachate by Using Fenton and Photo-Fenton Processes. *Journal of Ecological Engineering*, 19(5), 194–199. <https://doi.org/10.12911/22998993/89824>
- Lin, S. H., y Chang, C. C. (2000). Treatment of landfill leachate by combined electro-Fenton oxidation and sequencing batch reactor method. *Water Research*, 34(17), 4243–4249. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00185-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00185-8)
- Lopez, A., Pagano, M., Volpe, A., y Di Pinto, A. C. (2004). Fenton's pre-treatment of mature landfill leachate. *Chemosphere*, 54(7), 1005–1010. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.09.015>
- Maiti, S. K., De, S., Hazra, T., Debsarkar, A., y Dutta, A. (2016). Characterization of Leachate and Its Impact on Surface and Groundwater Quality of a Closed Dumpsite – A Case Study at Dhapa, Kolkata, India. *Procedia Environ Sci*, 35, 391–399. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.019>
- Masomboon, N., Ratanatamskul, C., y Lu, M.-C. (2009). Chemical Oxidation of 2,6-Dimethylaniline in the Fenton Process. *Environ Sci Technol*, 43(22), 8629–8634. <https://doi.org/10.1021/es802274h>
- Medina, C., Montero, E., y Cruz, L. (2016). Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. *Rev Soc Quím Perú*, 8(4), 454–466. Retrieved from <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n4/a07v82n4.pdf>
- Meeker, R. E. (1965). *Stabilization of hydrogen peroxide*. United States Patent Office 3,208,825. Retrieved from <https://patentimages.storage.googleapis.com/32/ba/27/f82e64d779bc90/US3208825.pdf>
- Méndez, R., Castillo, E., Sauri, M., Quintal, C., Giácoman, G., y Jiménez, B. (2009). Comparación de cuatro tratamientos fisicoquímicos de lixiviados. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 25(3), 133–145. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v25n3/v25n3a2.pdf>

- Méndez, R. I., García, R. B., Castillo, E. R., y Sauri, M. R. (2010). Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton. *Ingeniería e Investigación*, 30(1), 80–85.
- MINAM. (2017). *Cifras ambientales 2017*. Lima: Ministerio del Ambiente. Retrieved from <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/cifras-ambientales-2017>
- Moraes, A., de Souza, R., y Carbonelli, J. (2019). Landfill leachate treatment in Brazil – An overview. *Journal of Environmental Management*, 232, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.006>
- Mukherjee, S., Mukhopadhyay, S., Hashim, M. A., y Sen Gupta, B. (2015). Critical Reviews in Environmental Science and Technology Contemporary Environmental Issues of Landfill Leachate: Assessment and Remedies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(5), 472–590. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.876524>
- Munro, I. R. P., Macquarrie, K. T. B., Valsangkar, A. J., y Kan, K. T. (1997). Migration of landfill leachate into a shallow clayey till in southern New Brunswick: a field and modelling investigation. *Canadian Geotechnical Journal*, 34(2), 204–219. <https://doi.org/10.1139/t96-105>
- Nagarajan, R., Thirumalaisamy, S., y Lakshumanan, E. (2012). Impact of leachate on groundwater pollution due to non-engineered municipal solid waste landfill sites of erode city, Tamil Nadu, India. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 9(35). <https://doi.org/10.1186/1735-2746-9-35>
- Nanny, M. A., y Ratasuk, N. (2002). Characterization and comparison of hydrophobic neutral and hydrophobic acid dissolved organic carbon isolated from three municipal landfill leachates. *Water Research*, 36(6), 1572–1584. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00359-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00359-1)
- Naveen, B. P., Mahapatra, D. M., Sitharam, T. G., Sivapullaiah, P. V, y Ramachandra, T. V. (2017). Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. *Environ Pollut*, 220, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.002>
- Oturan, M A. (2000). An ecologically effective water treatment technique using electrochemically generated hydroxyl radicals for in situ destruction of organic pollutants: Application to herbicide 2,4-D. *Journal of Applied Electrochemistry*, 30, 475–482. <https://doi.org/10.1023/A:1003994428571>

- Oturan, Mehmet A, Peirotten, J., y Acher, A. J. (2000). Complete destruction of p-nitrophenol in aqueous medium by electro-Fenton method. *Environ Sci Technol*, 34(16), 3474–3479. <https://doi.org/10.1021/es990901b>
- Pala, A., y Erden, G. (2004). Chemical Pretreatment of Landfill Leachate Discharged into Municipal Biological Treatment Systems. *Environmental Engineering Science*, 21(5), 549–557. <https://doi.org/10.1089/ees.2004.21.549>
- Park, S., Choi, K. S., Joe, K. S., Kim, W. H., y Kim, H. S. (2001). Variations of Landfill Leachate's Properties in Conjunction with the Treatment Process. *Environmental Technology*, 22(6), 639–645. <https://doi.org/10.1080/09593332208618244>
- Parsons, S. (Ed.). (2004). *Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment*. London: IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780403076>
- Pignatello, J. J. (1992). Dark and Photoassisted Fe³⁺-Catalyzed Degradation of Chlorophenoxy Herbicides by Hydrogen Peroxide. *Environ Sci Technol*, 26(5), 944–951. <https://doi.org/10.1021/es00029a012>
- Pignatello, J. J., Oliveros, E., y Mackay, A. (2006). Advanced Oxidation Processes for Organic Contaminant Destruction Based on the Fenton Reaction and Related Chemistry. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36(1), 1–84. <https://doi.org/10.1080/10643380500326564>
- Primo, O., Rivero, J., y Ortiz, I. (2008). Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1–2), 834–842. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.053>
- Regadío, M, Ruiz, A. I., De Soto, I. S., Rodríguez Rastrero, M., Sánchez, N., Gismera, M. J., ... Cuevas, J. (2012). Pollution profiles and physicochemical parameters in old uncontrolled landfills. *Waste Management*, 32(3), 482–497. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.11.008>
- Regadío, Mercedes, Ruiz, A. I., Rodríguez-Rastrero, M., y Cuevas, J. (2015). Containment and attenuating layers : An affordable strategy that preserves soil and water from landfill pollution. *Waste Management*, 46, 408–419. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.014>

- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., y Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment : Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468–493. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>
- Rivas, F. J., Beltrán, F., Carvalho, F., Acedo, B., y Gimeno, O. (2004). Stabilized leachates: Sequential coagulation-flocculation + chemical oxidation process. *Journal of Hazardous Materials*, 116(1–2), 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.07.022>
- Rivas, F. J., Beltrán, F., Gimeno, O., y Carvalho, F. (2003). Fenton-like Oxidation of Landfill Leachate. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 38(2), 371–379. <https://doi.org/10.1081/ESE-120016901>
- Robinson, H. D., y Maris, P. J. (1985). The Treatment of Leachates from Domestic Waste in Landfill Sites. *Journal WPCF*, 57(1), 30–38. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/25042517%0D>
- Rodriguez, M. L., Timokhin, V. I., Contreras, S., Chamarro, E., y Esplugas, S. (2003). Rate equation for the degradation of nitrobenzene by ‘Fenton-like’ reagent. *Advances in Environmental Research*, 7(2), 583–595. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00024-2](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00024-2)
- Rowe, R. K., y Yu, Y. (2012). Clogging of finger drain systems in MSW landfills. *Waste Management*, 32(12), 2342–2352. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.018>
- Saharan, V. K., Pinjari, D. V, Gogate, P. R., y Pandit, A. B. (2014). Advanced Oxidation Technologies for Wastewater Treatment: An Overview. In *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse* (pp. 141–191). Oxford & Waltham: Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099968-5.00003-9>
- Samadder, S. R., Prabhakar, R., Khan, D., Kishan, D., y Chauhan, M. S. (2017). Analysis of the contaminants released from municipal solid waste landfill site: A case study. *Science of the Total Environment*, 580, 593–601. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.003>
- Sil, A., y Kumar, S. (2017). Landfill Leachate Treatment. In J. W.-C. Wong, R. D. Tyagi, & A. Pandey (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 391–406). Amsterdam, Oxford & Cambridge: Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63664-5.00017-4>

- Silva, A. C., Dezotti, M., y Sant'Anna, G. L. (2004). Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate. *Chemosphere*, 55(2), 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.10.013>
- Song, L., Li, L., Yang, S., Lan, J., He, H., Mcelmurry, S. P., y Zhao, Y. (2016). Sulfamethoxazole, tetracycline and oxytetracycline and related antibiotic resistance genes in a large-scale landfill, China. *Science of the Total Environment*, 551–552, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.007>
- Statom, R. A., Thyne, G. D., y McCray, J. E. (2004). Temporal changes in leachate chemistry of a municipal solid waste landfill cell in Florida, USA. *Environmental Geology*, 45, 982–991. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0957-0>
- Talebi, A., Ismail, N., Teng, T. T., y Alkarkhi, A. F. M. (2014). Optimization of COD, apparent color, and turbidity reductions of landfill leachate by Fenton reagent. *Desalination and Water Treatment*, 52(7–9), 1524–1530. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.794104>
- Tang, W. Z., y Huang, C. P. (1996). 2,4-Dichlorophenol Oxidation Kinetics by Fenton's Reagent. *Environmental Technology*, 17(12), 1371–1378. <https://doi.org/10.1080/09593330.1996.9618465>
- Tatsi, A. A., y Zouboulis, A. I. (2002). A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate (Thessaloniki, Greece). *Advances in Environmental Research*, 6(3), 207–219. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(01\)00052-1](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(01)00052-1)
- Tatsi, A. A., Zouboulis, A. I., Matis, K. A., y Samaras, P. (2003). Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere*, 53(7), 737–744. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00513-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00513-7)
- Tizaoui, C., Bouselmi, L., Mansouri, L., y Ghrabi, A. (2007). Landfill leachate treatment with ozone and ozone / hydrogen peroxide systems. *Journal of Hazardous Materials*, 140(1–2), 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.023>
- Umar, M., Aziz, H. A., y Yusoff, M. S. (2010a). Trends in the use of Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton for the treatment of landfill leachate. *Waste Management*, 30(11), 2113–2121. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.07.003>

- Umar, M., Aziz, H. A., y Yusoff, M. S. (2010b). Variability of Parameters Involved in Leachate Pollution Index and Determination of LPI from Four Landfills in Malaysia. *International Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2010/747953>
- Wang, P., Lau, I. W. C., Fang, H. H. P., y Zhou, D. (2000). Landfill leachate treatment with combined UASB and fenton coagulation. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 35(10), 1981–1988. <https://doi.org/10.1080/10934520009377093>
- Wang, X., Chen, S., Gu, X., y Wang, K. (2009). Pilot study on the advanced treatment of landfill leachate using a combined coagulation, fenton oxidation and biological aerated filter process. *Waste Management*, 29(4), 1354–1358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.10.006>
- Warith, M. A., y Sharma, R. (1998). Technical Review of Methods to Enhance Biological Degradation in Sanitary Landfills. *Water Quality Research Journal*, 33(3), 417–438. <https://doi.org/10.2166/wqrj.1998.024>
- Welander, U., y Henrysson, T. (1998). Physical and Chemical Treatment of a Nitrified Leachate from a Municipal Landfill. *Environmental Technology*, 19(6), 591–599. <https://doi.org/10.1080/09593331908616715>
- Williams, P. T. (2005). *Waste Treatment and Disposal* (2nd ed.). Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Yoo, H., Cho, S., y Ko, S. (2001). Modification of Coagulation and Fenton Oxidation Process for Cost-Effective Leachate Treatment. *Journal of Environmental Science and Health , Part A : Toxic / Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 36(1), 39–48. <https://doi.org/10.1081/ESE-120021482>
- Youcai, Z., y Ziyang, L. (2017). *Pollution Control and Resource Recovery: Municipal Solid Wastes at Landfill*. Oxford & Cambridge: Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811867-2.00003-0>
- Zhang, H., Choi, H. J., y Huang, C.-P. (2005). Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 125(1–3), 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.05.025>

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecer a Dios, quien con su inmenso amor, bondad, misericordia y bendiciones me permite disfrutar de la vida, del trabajo y gozar de buena salud en compañía de familiares y amigos.

De igual manera un reconocimiento especial a mi alma mater, la Universidad Nacional de Jaén por darme la oportunidad de formarme en sus aulas, a toda la Facultad de Ingeniería Forestal y Ambiental y a cada uno del personal docente que formó parte durante mi etapa en el pregrado, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

A todos mis amigos y futuros colegas; Arlan, Jhoan, Erdwin, Anthony Cubas, Anthony Diaz, Franklin Junior, Fernando Aguirre, Henry Oliva y Vitoly Becerra; que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

Un agradecimiento y consideración especial a mí gran amigo, compañero de trabajo y andanzas; y hermano Pepe Luis Rodriguez La Torre, por el inmenso y profundo apoyo mostrado durante nuestra etapa universitaria y fuera de ella, lo hiciste de buena voluntad y sin esperar retribución alguna, gracias por colaborar en la formulación, ejecución y en la presentación de este trabajo de investigación. ¡Muchas gracias!

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Mag. Ing. Jorge Antonio Delgado Soto; asesor y amigo; principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

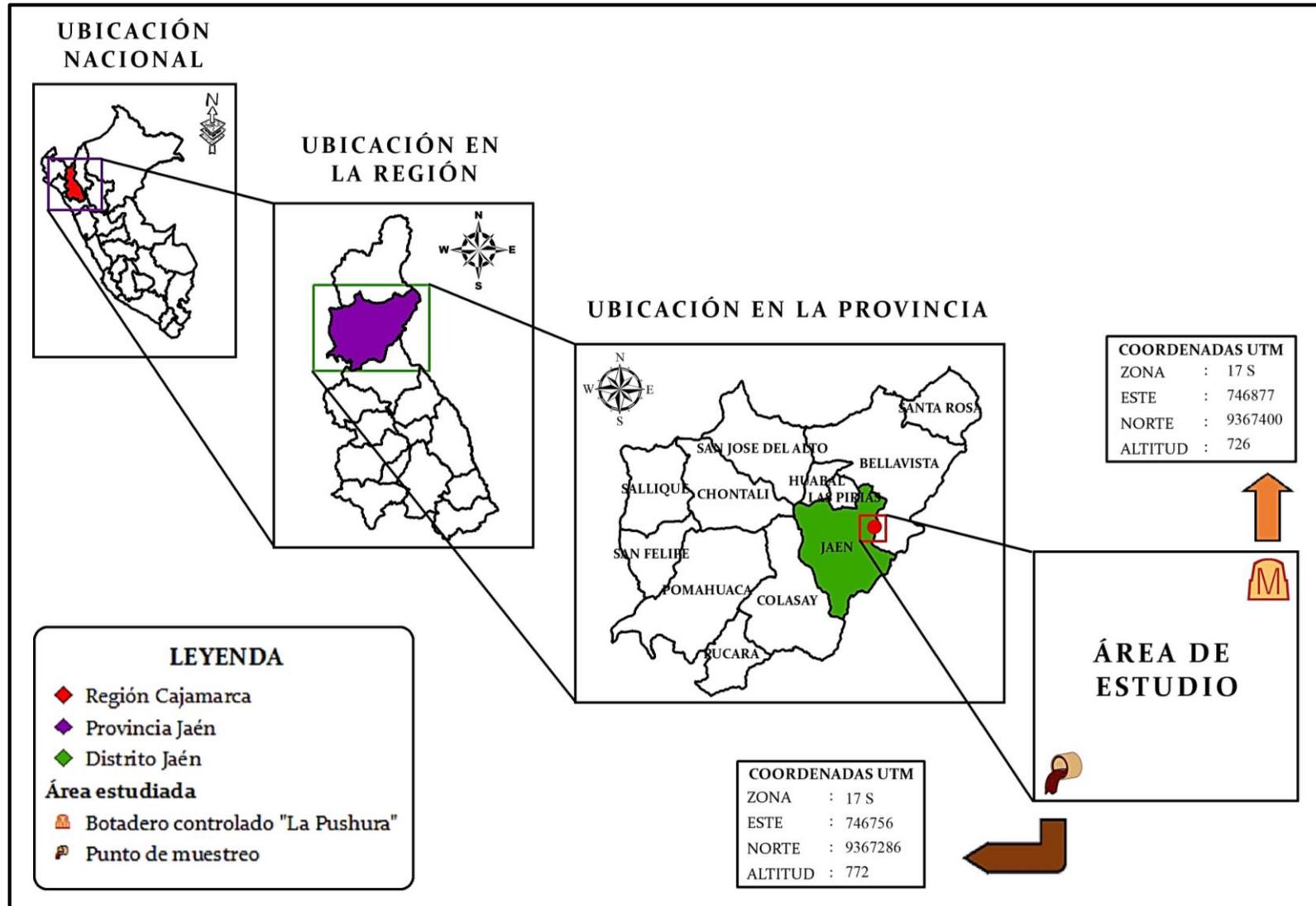
A mis padres Cesar y Anita, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un placer, honor y privilegio ser su hijo, son los mejores padres.

A mi tío Saul, a quien quiero como a un padre, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesto a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

A mis hermanos Lily, Leidy y Anthony por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento.

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del área de estudio



Anexo 2. Solicitud de acceso al botadero controlado "La Pushura"

"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

CARGO

SOLICITO: ACCESO AL BOTADERO CONTROLADO "LA PUSHURA"

Sr: Ing. Segundo Lozada Villegas
Sub Gerente de Gestión de Residuos y Limpieza Pública de la MPJ

Yo, Noymer Franklin Barrantes Salazar, tesista y egresado de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental – UNJ, identificado con DNI N°:75126057, con domicilio en la calle: Mariscal Sucre N° 2274 de esta ciudad, ante usted me presento y expongo:

Que, habiendo sido aprobado el proyecto de investigación denominado "REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO CONTROLADO "LA PUSHURA", MEDIANTE PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA, JAÉN, CAJAMARCA", mediante Resolución de Vicepresidencia de Investigación N° 057-2018-UNJ, de fecha 29 de Agosto del 2018, del cual, soy el responsable de su ejecución. Recorro a su digno cargo para solicitarle el Acceso al Botadero Controlado "La Pushura", el día 04 de Octubre del presente, con la finalidad de tomar muestra de lixiviado en dicho lugar y a la vez poder desarrollar satisfactoriamente la ejecución del proyecto de investigación en mención, el cual me permitirá obtener mi título profesional.

POR TANTO:

Solicito a usted señor Sub Gerente, acceder a mi solicitud por ser de justicia.

Jaén, 02 de octubre de 2018



Noymer Franklin Barrantes Salazar
Tesista UNJ



Anexo 3. Informe de ensayo fisicoquímico del lixiviado



ENSAYO DE AGUAS RESIDUALES OIKOSLAB S.A.C. N°1483-2018

Fecha de recepción : 04-10-2018
Responsable del ensayo : Ing. Químico Jorge Antonio Delgado Soto
Institución : Universidad Nacional de Jaén
Escuela Profesional : Ingeniería Forestal y Ambiental
Responsable de la muestra : Noymer Franklin Barrantes Salazar
D.N.I : 75126057
Título de la Investigación :

REMOCIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO CONTROLADO “LA PUSHURA”, MEDIANTE PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA, JAÉN, CAJAMARCA

I. Datos de la muestra

Ubicación : Botadero Controlado “La Pushura”
Tipo de muestra : Lixiviado proveniente de la celda N° 3
Distrito : Jaén
Provincia : Jaén
Región : Cajamarca

II. Datos del ensayo

Tipo : Caracterización fisicoquímica del efluente líquido

III. Descripción de las metodologías empleadas

Medición del color
Método Estándar Platino-Cobalto espectrofotométrico, adaptado al National Council for Air and Stream Improvement (NCASI). Norma: SMEWW. Ed.20 (2120 C) modificado.

Medición de conductividad eléctrica
Medición utilizando el equipo multiparámetro marca HANNA HI-2550, calibrado con solución HI7030, 1288S μcm . Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed. Título Conductivity. Laboratory Method.

Medición de la demanda química de oxígeno
Reflujo cerrado, Colorimetric Method: Digestión a 160 °C por 2 horas. Valoración utilizando Sulfato Ferroso Amoniacal (Sal de Mohr). Finalmente se determina la DQO con relación. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed.

Medición de la turbiedad
Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 22nd Ed Turbidity. Título: Nephelometric Method.

Potencial de iones hidrógeno (pH)
Medición directa con el equipo multiparámetro marca HANNA HI-2550, previamente calibrado en tres puntos con los Buffers HI 70004P (pH 4.01), HI 70007P (pH 7.01) y HI 70010 (pH 10.01). Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 22nd Ed. Título: pH Value. Electrometric Method.

Psje. San Pedro N°113 - Morro Salar Alto - Jaén
Cel. 970911920
jads14@hotmail.com

Continúa



ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
DE SUELOS Y AGUAS

Oikoslab
SAC

Sólidos totales en suspensión
Método fotométrico. Adapted from Sewage and industrial Wastes, 31,1159(1959). Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 22nd Ed.

Sólidos totales disueltos
Medición directa con el equipo multiparámetro marca HANNA HI-2550, previamente calibrado.

IV. Resultados

Parámetro	Unidad	Expresión	Valor
Potencial de iones hidrógeno	Unidades de pH	Unidades de pH	8.11
Conductividad eléctrica	Unidades de Conductividad Eléctrica	mS/cm	23.25
Color	Unidades de Color	UCV-Pt-Co	35600
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	ppm STD	11670
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	ppm STS	8200
Porcentaje de Cloruro de Sodio	Porcentaje	%	43.4
Turbiedad	Unidades de Turbiedad Nefelométricas	NTU	692
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	ppm O ₂	7489.6


Sergio Belgado Soto
ING. RESPONSABLE
CIP. 56757


Oikoslab SAC


Oikoslab SAC

Psje. San Pedro N°113 - Morro Solar Alto - Jaén
Cel. 970911920
jads14@hotmail.com

Anexo 4. Informe de ensayo para el color postratamiento



ENSAYO DE AGUAS RESIDUALES OIKOSLAB S.A.C. N°1484-2018

Fecha de recepción : 05-10-2018
 Responsable del ensayo : Ing. Químico Jorge Antonio Delgado Soto
 Institución : Universidad Nacional de Jaén
 Escuela Profesional : Ingeniería Forestal y Ambiental
 Responsable de la muestra : Noymer Franklin Barrantes Salazar
 D.N.I : 75126057
 Título de la Investigación :

REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO CONTROLADO “LA PUSHURA”, MEDIANTE PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA, JAÉN, CAJAMARCA

I. Datos de la muestra

Ubicación : Botadero Controlado “La Pushura”
 Tipo de muestra : Lixiviado proveniente de la celda N° 3
 Distrito : Jaén
 Provincia : Jaén
 Región : Cajamarca

II. Datos del ensayo

Tipo : Medición del color
 Unidades de medición : Unidades de Color Verdadero (UCV-Pt-Co)
 Metodología empleada : Método Estándar Platino-Cobalto espectrofotométrico, adaptado al National Council for Air and Stream Improvement (NCASI). Norma: SMEWW. Ed.20 (2120 C) modificado.

III. Resultados

Repetición	Tratamiento				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
R ₁	35,600.00	5,700.00	4,400.00	3,300.00	6,900.00
R ₂	35,600.00	6,800.00	5,400.00	5,100.00	7,400.00
R ₃	35,600.00	4,900.00	4,300.00	4,800.00	8,400.00
R ₄	35,600.00	5,600.00	6,400.00	3,500.00	8,800.00
R ₅	35,600.00	6,000.00	4,400.00	3,400.00	8,400.00
R ₆	35,600.00	5,300.00	6,200.00	3,400.00	8,000.00



Jorge A. Delgado Soto
ING. RESPONSABLE
CIP. 56757




Psje. San Pedro N°113 - Morro Solar Alto - Jaén
 Cel. 970911920
 jads14@hotmail.com

Anexo 5. Informe de ensayo para la DQO postratamiento



ENSAYO DE AGUAS RESIDUALES OIKOSLAB S.A.C. N°1485-2018

Fecha de recepción : 05-10-2018
 Responsable del ensayo : Ing. Químico Jorge Antonio Delgado Soto
 Institución : Universidad Nacional de Jaén
 Escuela Profesional : Ingeniería Forestal y Ambiental
 Responsable de la muestra : Noymer Franklin Barrantes Salazar
 D.N.I : 75126057
 Título de la Investigación :

REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO CONTROLADO "LA PUSHURA", MEDIANTE PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA, JAÉN, CAJAMARCA

I. Datos de la muestra

Ubicación : Botadero Controlado "La Pushura"
 Tipo de muestra : Lixiviado proveniente de la celda N° 3
 Distrito : Jaén
 Provincia : Jaén
 Región : Cajamarca

II. Datos del ensayo

Tipo : Determinación de la demanda química de oxígeno
 Unidades de medición : mgO₂/L
 Metodología empleada : Reflujo cerrado, Colorimetric Method: Digestión a 160 °C por 2 horas. Valoración utilizando Sulfato Ferroso Amoniacal (Sal de Mohr). Finalmente se determina la DQO con relación. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed.

III. Resultados

Repetición	Tratamiento				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
R ₁	7,489.60	5,367.55	3,245.49	2,119.28	6,440.64
R ₂	7,489.60	5,865.47	3,444.80	1,797.92	6,490.99
R ₃	7,489.60	5,740.64	2,496.53	1,622.75	6,241.33
R ₄	7,489.60	5,492.37	3,370.32	1,947.57	6,365.47
R ₅	7,489.60	5,994.45	3,245.40	2,269.63	6,517.20
R ₆	7,489.60	5,495.15	3,369.63	2,244.11	6,216.51



Jorge A. Delgado Soto
ING. RESPONSABLE
CIP. 56767




Psje. San Pedro N°113 - Morro Solar Alto - Jaén
 Cel. 970911920
 jads14@hotmail.com

Anexo 6. Informe de ensayo para la turbiedad postratamiento

ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
DE SUELOS Y AGUAS

OIKOSLAB
S.A.C.

ENSAYO DE AGUAS RESIDUALES OIKOSLAB S.A.C. N°1486-2018

Fecha de recepción : 05-10-2018
Responsable del ensayo : Ing. Químico Jorge Antonio Delgado Soto
Institución : Universidad Nacional de Jaén
Escuela Profesional : Ingeniería Forestal y Ambiental
Responsable de la muestra : Noymer Franklin Barrantes Salazar
D.N.I : 75126057
Título de la Investigación :

REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL LIXIVIADO DEL BOTADERO CONTROLADO “LA PUSHURA”, MEDIANTE PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA, JAÉN, CAJAMARCA

I. Datos de la muestra

Ubicación : Botadero Controlado “La Pushura”
Tipo de muestra : Lixiviado proveniente de la celda N° 3
Distrito : Jaén
Provincia : Jaén
Región : Cajamarca

II. Datos del ensayo

Tipo : Medición de la turbiedad
Unidades de medición : NTU
Metodología empleada : Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 22nd Ed Turbidity. Título: Nephelometric Method.

III. Resultados

Repetición	Tratamiento				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
R ₁	692.00	290.00	184.00	148.00	383.00
R ₂	692.00	275.00	238.00	155.00	355.00
R ₃	692.00	250.00	196.00	187.00	388.00
R ₄	692.00	280.00	220.00	163.00	400.00
R ₅	692.00	235.00	192.00	150.00	405.00
R ₆	692.00	266.00	229.00	179.00	375.00

Jorge A. Delgado Soto
ING. RESPONSABLE
CIP. 56757

Psje. San Pedro N°113 - Morro Solar Alto - Jaén
Cel. 970911920
jads14@hotmail.com

Anexo 7. Georreferenciación del lugar de muestreo de lixiviado



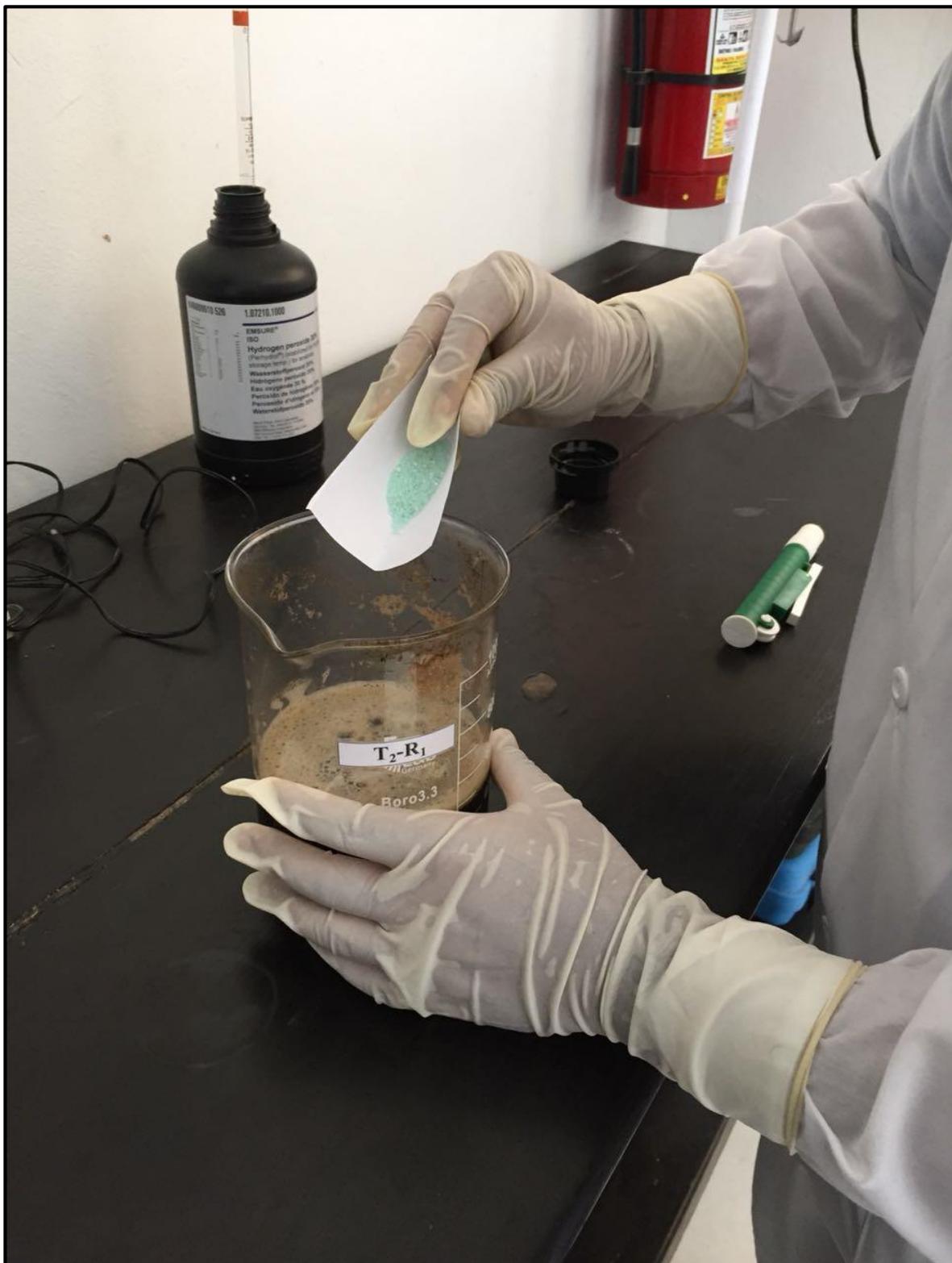
Anexo 8. Colecta de la muestra de lixiviado



Anexo 9. Unidades experimentales para el T₄



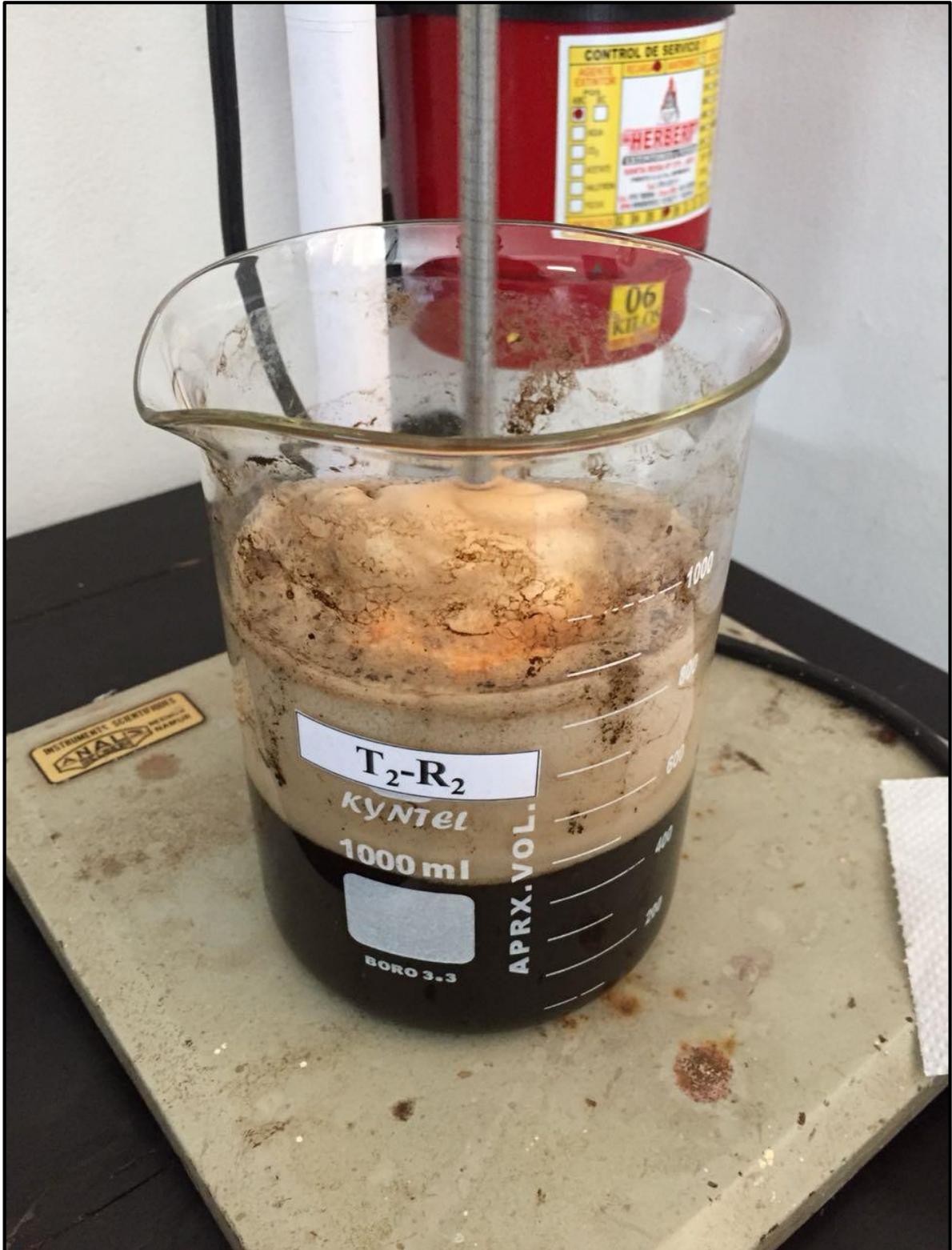
Anexo 10. Adición del catalizador



Anexo 11. Adición del peróxido de hidrógeno



Anexo 12. Agitación de la muestra



Anexo 13. Digestión de la muestra en termorreactor para DQO



Anexo 14. Determinación de la DQO por titulación



Anexo 15. Determinación del color y la turbiedad



Anexo 16. Muestras de lixiviado pos-Fenton

