

Tratamiento de los Efluentes de la PTAR San Jerónimo mediante el Proceso Fenton

Treatment of the Effluents from the San Jerónimo WWTP by the Fenton Process

Franklin David Porroa Contoy^{1*}, Amelia Callapiña Quico² & Amanda Rosa Maldonado Farfan³

^{1, 2 y 3} *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú*

Autor correspondiente:
Franklin Porroa Contoy
160584@unsaac.edu.pe

Citar como: Porroa Contoy, F. D., Callapiña Quico, A. R., & Maldonado Farfan, A. R. (2025). Tratamiento de los Efluentes de la PTAR San Jerónimo mediante el Proceso Fenton. *Ambiente, Comportamiento y Sociedad*, 8(1), 21–33.
<https://doi.org/10.51343/racs.v8i1.1712>

Recibido: 21 de marzo de 2025

Aceptado: 29 de agosto de 2025

Resumen

Este estudio evaluó la aplicación del proceso Fenton para la remoción de materia orgánica no biodegradable, medida como demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente de la PTAR San Jerónimo, Cusco. Se empleó el diseño factorial Box-Behnken para determinar las concentraciones de Fe^{2+} , H_2O_2 y pH que logren mayor porcentaje de remoción de DQO. La caracterización fisicoquímica del efluente mostró un pH de 7.8, DQO de 180 mg/L, DBO de 75 mg/L, aceites y grasas de 5 mg/L, sólidos suspendidos totales de 150 mg/L y una temperatura de 20 °C. Se realizaron 15 tratamientos con dos réplicas, haciendo un total de 45 pruebas. Los resultados indicaron una alta eficiencia de remoción de DQO, alcanzando un máximo de 89.0% con 60 mg/L de Fe^{2+} , 600 mg/L de H_2O_2 y un pH de 3.0, lo que confirma la viabilidad del proceso Fenton como una alternativa a ser implementada en la PTAR San Jerónimo, que permita la remoción de contaminantes emergentes.

Palabras clave: *Proceso fenton; Diseño Box Behnken; DQO; Efluente de la PTAR San Jerónimo.*



Abstract

This study evaluated the application of the Fenton process for the removal of non-biodegradable organic matter, measured as chemical oxygen demand (COD), in the effluent of the San Jerónimo WWTP, Cusco. A Box-Behnken factorial design was employed to determine the optimal concentrations of Fe^{2+} , H_2O_2 , and pH for achieving the highest COD removal percentage. The physicochemical characterization of the effluent showed a pH of 7.8, COD of 180 mg/L, BOD of 75 mg/L, oils and greases of 5 mg/L, total suspended solids of 150 mg/L, and a temperature of 20°C. A total of 15 experiments were conducted with two replicates, totaling 45 tests. The results indicated a high COD removal efficiency, reaching a maximum of 89.0% with 60 mg/L of Fe^{2+} , 600 mg/L of H_2O_2 , and a pH of 3.0, confirming the feasibility of the Fenton process as an effective alternative for implementation at the San Jerónimo WWTP to enhance the removal of emerging contaminants.

Keywords: *fenton process; Box-Behnken design; COD; San Jerónimo WWTP effluent.*

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista *Ambiente, Comportamiento y Sociedad* de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

Introducción

Hoy en día, los contaminantes persistentes y bioacumulables (fármacos, productos de cuidado personal, insecticidas, plaguicidas, aditivos alimentarios, retardantes de llama, microplásticos, entre otros) están dispersos en el entorno ambiental, afectando el agua, suelo y aire. Estos contaminantes, provenientes de diversas fuentes domésticas e industriales, están presentes en concentraciones bajas pero significativas, lo que puede tener efectos adversos a pesar de sus bajas concentraciones (Medina et al., 2020).

Al llegar a las PTAR, los contaminantes persistentes y bioacumulables atraviesan diversos tratamientos convencionales, los cuales incluyen etapas primarias y secundarias; así como, desinfección mediante cloración; sin embargo, debido a la complejidad y resistencia de estos contaminantes, su eliminación no es completa, permitiendo que algunos de ellos sean liberados al medio ambiente a través del efluente tratado. Estos contaminantes contribuyen al incremento de la concentración total de la materia orgánica no removida en los procesos (León et al., 2020).

Cuando estos contaminantes llegan al medio ambiente, ya sea a través del agua o al interactuar con plantas, pueden generar efectos negativos en los ecosistemas. A pesar de estar presente en bajas concentraciones, su detección ha ido en aumento debido a su carácter persistente y bioacumulable. Esta acumulación puede tener impactos en la salud humana. En particular, el consumo de agua o alimentos contaminados expone a la población a efectos adversos poco previstos. Entre los principales riesgos se encuentra la aparición de nuevas enfermedades, resistencia antimicrobiana y resistencia a compuestos específicos, lo que podría tener consecuencias perjudiciales tanto a nivel local como global (Espinoza & Arriaga, 2021)

Las investigaciones realizadas evidencian la aplicación de procesos de tratamiento de oxidación avanzada (Fenton, foto-Fenton, electro-Fenton, ozono, plasma frío, oxidación con radicales persulfatos, entre otros), dentro de ellos los procesos Fenton y Foto-Fenton han sido reportados como efectivos para la reducción de la DQO en aguas residuales. Así, Rubio et al., (2014) destacaron que la eficiencia del proceso Fenton depende de factores como la concentración de reactivos, pH y tiempo de reacción, logrando hasta un 90 % de degradación en aguas residuales de origen petroquímico. Medina et al., (2020) aplicaron el proceso Fenton en efluentes del camal de Chota-Perú, obteniendo una remoción del 79.9 % de DQO. León et al. (2020) lograron un 92.21 % de reducción de DQO en aguas residuales lácteas con Foto-Fenton. Zuñiga (2023) alcanzó una remoción 97.5 % de DQO en el tratamiento de los efluentes del camal municipal, optimizando concentraciones de catalizador, oxidante y pH. Choque (2024) evaluó la calidad del efluente de la PTAR de Viacha, encontrando valores de DQO entre 121 y 324 mg O₂/L, valor por encima de los LMP, el cual evidencia la presencia de contaminantes emergentes.

El objetivo de la investigación fue remover la materia orgánica residual no biodegradable presente en el efluente de la PTAR San Jerónimo mediante la aplicación del proceso Fenton, evaluando el efecto del pH del efluente, y la concentración de peróxido de hidrógeno y del catalizador sulfato de hierro, sobre la remoción de la materia orgánica total expresando como porcentaje de DQO eliminado.

Materiales y Métodos

La investigación es de tipo aplicado, de alcance explicativo, enfoque cuantitativo y diseño experimental.

Materiales

Equipo de prueba de jarras DAIHAN 3T-MGC, digestores para viales de DQO 115V-HI839800, espectrofotómetro UV-vis SP-UV1100, termómetro digital con espiga, cronómetro digital, pH metro Hach 50075, turbidímetro Luton TU2016, balanza analítica Eurotech FSH-H22043, sulfato de hierro heptahidratado 99% HiMedia, ácido sulfúrico 95-97% Merck, hidróxido de sodio 99% Merck. Materiales de vidrio, papel filtro, micropipeta y frascos de 250 mL.

Recolección y Muestra

La muestra compuesta, con un volumen de 20 litros, fue recolectada en el canal de salida del efluente de la PTAR San Jerónimo, ubicada en el distrito de San Jerónimo de la región Cusco. La Figura 1 muestra esta etapa

Figura 1

Recolección de la muestra.



Caracterización Físicoquímica de la Muestra

La caracterización físicoquímica de la muestra comprendió la determinación de aceites y grasas, DQO, DBO, pH, sólidos totales en suspensión, temperatura.

La concentración de aceites y grasas se determinó mediante extracción Soxhlet con benceno, cuantificando el residuo obtenido. La demanda química de oxígeno (DQO) se midió mediante digestión con dicromato y espectrofotometría (HACH COMPANY, 2019; HANNA Instruments S.A.S., 2023), mientras que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) se evaluó por incubación durante cinco días a 20°C (Lambertz et al., 2024).

El pH se midió con un pH-metro portátil tras la calibración adecuada, y la temperatura se registró con un termómetro tras su estabilización. Finalmente, los sólidos totales en suspensión (STS) se cuantificaron por filtración y secado a 106 °C, obteniendo el peso diferencial de los residuos. Estos análisis brindaron información esencial sobre la calidad del efluente.

Proceso Fenton

El proceso se desarrolló en el equipo de prueba de jarras y consistió en tratar muestras de un litro a diferentes pH (2.5, 3.0 y 3.5), mediante la adición de H₂SO₄ 0.1 N, añadiendo diferentes concentraciones de FeSO₄·7H₂O (30, 60 y 90 mg) y agitando a 100 rpm durante 5 minutos para su disolución. Posteriormente se incorporó diferentes concentraciones de H₂O₂ (300, 600 y 900 mg), para la generación del agente oxidante (OH[•]), con agitación a 150 rpm por 60 minutos (Torres Andrade, 2014). La Figura 2 muestra esta etapa.

Tras el tiempo de reacción, se redujo la velocidad de agitación a 30 rpm y se elevó el pH a 7 con NaOH 0.5 N, promoviendo la precipitación del catalizador por la formación de hidróxidos de hierro insolubles (Gulkaya et al., 2006). Este ajuste de pH garantizó el cumplimiento de la normativa ambiental vigente (DS N° 003-2010-MINAM), que establece un rango permisible de 6.5 a 8.5 para la disposición final del efluente (MINAM, 2010). Finalmente, se recolectaron 250 mL de cada muestra tratada para la medición de la demanda química de oxígeno residual (DQOr).

Figura 2

Acidificación de las muestras y experimentación en la prueba de jarras.



El desarrollo experimental comprendió el diseño Box Behnken. Usando la ecuación (1), se determinó el número de tratamientos.

$$N=2k(k-1)+ C_0 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

K= número de factores; C₀ = número de puntos centrales

La Tabla 1 muestra las variables y niveles.

Tabla 1

Variables y niveles

Variable independiente (k)	Unidades	Niveles	
		bajo	alto
Fe ²⁺	mg/L	30	90
H ₂ O ₂	mg/L	300	900
pH		2.5	3.5

Teniendo los tres factores, dos niveles y tres puntos medios se desarrollaron 15 tratamientos a los cuales se añadieron dos réplicas para mejorar la confiabilidad de los resultados, haciendo un total de 45 tratamientos realizados.

El porcentaje de remoción de DQO (%DQOr) se calculó usando la Ecuación (2).

$$\%DQO_r = \frac{DQO_0 - DQO_f}{DQO_f} * 100 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

DQO₀ (mg/L): demanda química de oxígeno inicial.

DQO_f (mg/L): demanda química de oxígeno final.

%DQO_r (mg/L) : porcentaje de demanda química de oxígeno removido.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de los 45 experimentos fueron tratados estadísticamente para determinar el efecto de las variables independientes (Fe₂⁺, H₂O₂ y pH) sobre la variable dependiente (%DQO_r); así como la significancia de las mismas mediante la prueba ANOVA. Asimismo, se estableció el modelo matemático que relaciona las variables en estudio.

Determinación de parámetros

En base a los datos obtenidos, se seleccionó el tratamiento en el cual se logró mayor %DQOr, estableciendo como parámetros del proceso las condiciones de concentración de Fe²⁺, H₂O₂ y pH.

Resultados

Caracterización Fisicoquímica de la Muestra

Los resultados de la caracterización fisicoquímica de la muestra se visualizan en la Tabla 2.

Tabla 2

PARÁMETRO	UNIDAD	Datos experimentales
Aceites y grasas	mg/L	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	75
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	180
pH	Jan-14	7.8
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	20

Caracterización fisicoquímica.

Los parámetros de aceites y grasas, DQO, DBO, pH, solidos totales en suspensión y temperatura del efluente de la PTAR de San Jerónimo, cumplen con los límites máximos permisibles (LMP) (DS N° 003-2010-MINAM). Respecto al LMP de la DQO en Perú es superior a los estándares internacionales, observándose que países desarrollados implementan regulaciones más estrictas. Por ejemplo, Alemania establece como LMP 20 mg/L, China de 100 mg/L y la India de 125 mg/L (Liqtech, 2024; Ministerio del Ambiente del Gobierno de India, 2024; Ministerio Federal de Alemania, 2005). Por tanto, amerita considerar la reducción de la DQO por los impactos que genera en el ambiente.

El índice de biodegradabilidad (DBO5/DQO) resulto 0.41, lo que indica presencia importante de materia orgánica no biodegradable, por tanto se puede optar por un tratamiento fisicoquímico como el de oxidación avanzada (Garcia *et al.*, 2020).

Proceso Fenton

Los resultados del proceso Fenton se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3*Resultados del proceso Fenton*

Tratamiento	Fe ²⁺ (ppm)	H ₂ O ₂ (ppm)	pH	Promedio %DQO _r
1	90	300	3	82.9 ± 0.87
2	90	600	3.5	80.2 ± 1.25
3	60	900	3.5	82.7 ± 2.08
4	60	600	3	84.7 ± 2.55
5	30	600	2.5	73.6 ± 2.18
6	60	300	2.5	85.5 ± 2.86
7	60	600	3	87.7 ± 0.70
8	60	300	3.5	62.7 ± 7.32
9	60	600	3	89.0 ± 3.30
10	60	900	2.5	63.3 ± 3.80
11	90	600	2.5	82.7 ± 5.09
12	90	900	3	81.4 ± 1.23
13	30	900	3	60.7 ± 3.19
14	30	600	3.5	81.9 ± 1.33
15	30	300	3	83.7 ± 1.51

A partir de los resultados, se observa que el mayor %DQO_r se realizó a condiciones de 60 ppm de Fe²⁺, 600 ppm de H₂O₂ y un pH de 3.0. Esta eficiencia se debería a que existe un balance en la relación H₂O₂/Fe²⁺ de 10 a 1 (Pignatello et al., 2007), Un porcentaje más alto fue obtenido por León et al., (2020) quienes presentaron resultados de %DQO_r de 92.21%, con una concentración inicial de DQO 6925,00 mg/L y se redujo a 539,25 mg/L, del efluente de una industria láctea; este resultado consideró también un pH de 3; pero con una relación H₂O₂/Fe²⁺ de 16 a 1; es decir utilizaron mayor cantidad de oxidante. Por otro lado, Rubio et al., (2014) lograron reducir un 97.5% de DQO pero utilizando un mayor tiempo de experimentación (100 minutos) y menor pH (2.8).

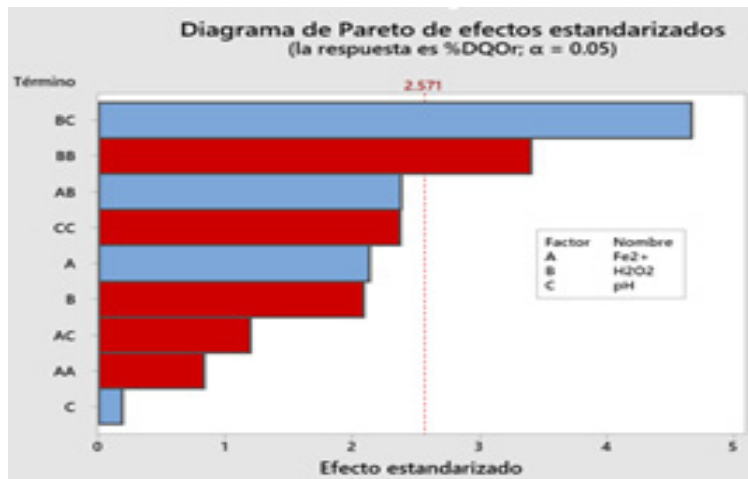
En contraste, el menor %DQO_r (60.7%) se registró en el tratamiento 13, donde se utilizó cantidades bajas de Fe²⁺ que podrían haber sido insuficientes para la generación de OH* del peróxido de hidrogeno.

Análisis estadístico

Los resultados de los efectos de las variables independientes sobre la variable dependiente se muestran en la figura 3.

Figura 3

Diagrama de Pareto de efectos estandarizados



La interacción entre H₂O₂ y pH (BC) resulta de mayor efecto sobre la variable de respuesta, que indica que cuando cambian de niveles bajos a niveles altos estas variables, aumenta considerablemente el %DQOr, que indicaría un incremento en la formación de radicales hidroxilos (OH[•]), efectivos para la oxidación de la materia orgánica, esto implica que ambas variables no son independientes, sino que actúan sinérgicamente. El término cuadrático de la concentración de H₂O₂ (BB) también presenta efecto importante de característica no lineal (Zuñiga, 2023, p. 108).

La Tabla 4 muestra el análisis ANOVA de los datos obtenidos

Tabla 4

Análisis ANOVA

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
[Fe ²⁺]	1	93.16	93.161	4.57	0.086
[H ₂ O ₂]	1	89.11	89.111	4.37	0.091
pH	1	0.72	0.72	0.04	0.858
[Fe ²⁺]*[Fe ²⁺]	1	14.1	14.1	0.69	0.444
[H ₂ O ₂]* [H ₂ O ₂]	1	236.55	236.554	11.6	0.019
pH*pH	1	114.93	114.931	5.63	0.064
[Fe ²⁺]*[H ₂ O ₂]	1	115.56	115.562	5.66	0.063
[Fe ²⁺]*pH	1	29.16	29.16	1.43	0.285
[H ₂ O ₂]*pH	1	445.21	445.21	21.82	0.005
Falta de ajuste	3	92.27	30.758	6.32	0.14
Error	5	102	20.4		
Error puro	2	9.73	4.863		
Total	14	1206.6			

El análisis ANOVA demuestra que las variables de efecto significativo son: la interacción [H₂O₂]*pH y [H₂O₂]² al presentar p-valores inferiores a 0.05 con un nivel de significancia del 95%.

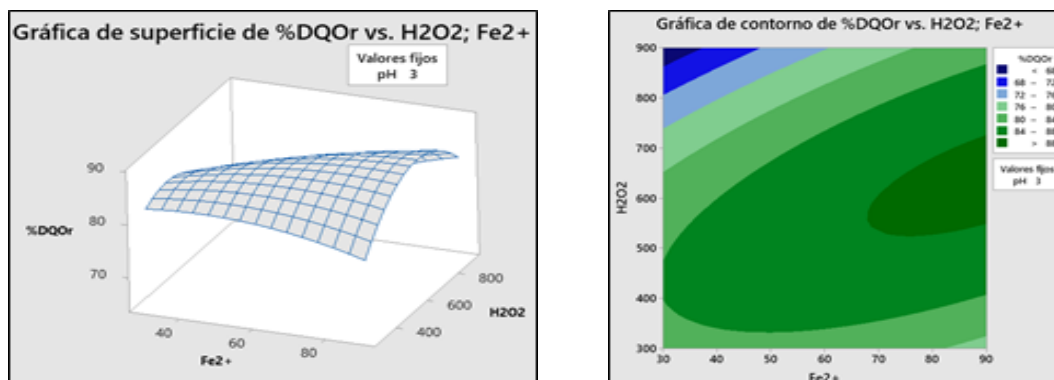
El modelo matemático que representa la relación entre las variables de estudio se muestra en la Ecuación (3), con un R² de 91.55% que explica la variabilidad en el %DQO_r; por tanto, es representativo de los datos experimentales.

$$\begin{aligned}
 \%DQO_r = & -39.8 + 0.556Fe^{2+} - 0.1512H_2O_2 + 103.1pH \\
 & - 0.00217 Fe^{2+} * Fe^{2+} - 0.000089H_2O_2 * H_2O_2 \\
 & - 22.32 pH * pH + 0.000597 Fe^{2+} * H_2O_2 \\
 & - 0.180 Fe^{2+} * pH + 0.0703 H_2O_2 * pH
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

La Figura 4 muestra gráficamente el modelo matemático

Figura 4

Gráficos de superficie de respuesta



La gráfica de superficie (izquierda) indica una tendencia creciente en la remoción de la DQO conforme se incrementan las concentraciones de ambos reactivos. Los mejores resultados se logran con concentraciones más altas Fe^{2+} (entre 60 y 90 mg/L) y H_2O_2 (aproximadamente 700 – 800 mg/L), alcanzando remociones superiores al 88%. La gráfica de contorno (derecha) evidencia una mejor vista, mostrando que la mayor eficiencia de remoción de DQO se encuentra en la región intermedia derecha del gráfico, siendo la región donde se obtiene la mayor remoción de la DQO en el área de color verde oscuro.

Parámetros del proceso

Según los resultados de la experimentación, se determinó que el %DQOr más alto fue de 89.0%; por tanto, los parámetros del proceso: 60 ppm de Fe^{2+} , 600 ppm de H_2O_2 y un pH de 3.0.

Como limitaciones de la investigación se puede indicar que la muestra no fue del todo representativa por cuanto la composición del afluente a la PTAR San Jerónimo varía con el tiempo. Por otro lado, los laboratorios de la UNSAAC donde se realizaron los análisis químicos no son acreditados.

Desde una perspectiva social, la remoción de contaminantes persistentes y bioacumulables contribuye directamente con la protección de la salud pública, especialmente en comunidades que dependen de fuentes de agua que reciben descargas de plantas de tratamiento.

Discusión

El índice de biodegradabilidad obtenido fue de 0.41, valor concordante con el reportado por Cabrera y Mucha (2024), de 0.4 en aguas residuales de la industria láctea, el cual concluye que la baja biodegradabilidad se relaciona con la presencia de contaminantes orgánicos recalcitrantes, lo que requiere la combinación de tratamientos adicionales de oxidación avanzada para mejorar la degradación.

Torres Andrade (2014) al aplicar el tratamiento Fenton en efluentes de la industria gráfica, consiguió aumentar el índice de biodegradabilidad del efluente de 0.17 a 0.4, logrando descomponer las complejas cadenas de carbono en estructuras más simples.

El %DQOr fue 89%, sin embargo, los estudios de León et al., (2020) presentaron resultados de %DQOr de 92.21%, teniendo una concentración inicial de DQO 6925,00 mg/L y se redujo a 539,25 mg/L del efluente de una industria láctea; esto con las concentraciones de $\text{Fe}^{2+}=331$ mg/L, $\text{H}_2\text{O}_2=5537$ mg/L, pH=3. También, Rubio et al., (2014) que según investigación bibliográfica se logra obtener un porcentaje de reducción del 97.5% con concentraciones de Fe^{2+} de 0.06 M con un tiempo de experimentación de 100 min.

Muszyńska et al. (2020) y Pignatello et al. (2007), respaldan que en pH alejados de 3.0, la formación de radicales OH^{\bullet} , es menos eficiente, lo que se refleja en la disminución de la tasa de oxidación de la materia orgánica. Por otro lado, aunque los resultados a pH cercanos a 3.0 siguen siendo adecuados, muestra que la capacidad oxidante del proceso no se maximiza, sugiriendo que, para obtener los mejores rendimientos en la remoción de DQO, es preferible trabajar en rangos de pH cercanos a 3.0. Por último, en cuanto al porcentaje de remoción, Rubio et al., (2014) concluyen que se logra obtener un porcentaje de reducción del 97.5% con concentraciones de Fe^{2+} de 0.06 M en un tiempo de tratamiento de 100 min.

Conclusiones

El proceso Fenton demostró ser altamente eficaz para la remoción de la materia orgánica residual no biodegradable del efluente de la PTAR San Jerónimo. Se estudió el efecto de las dosis de peróxido de hidrogeno, sulfato de hierro y pH utilizando un diseño experimental de Box Behnken. Los resultados permitieron identificar los parámetros del proceso, alcanzando una remoción máxima del DQO del 89.0%, con condiciones de 60 ppm de Fe^{2+} , 600 ppm de H_2O_2 y un pH de 3.0.

Se logró establecer el modelo matemático predictivo (R^2 91.55%) que describe la relación entre las variables en estudio. En conjunto, los resultados obtenidos son consistentes con la literatura, lográndose una eficiencia significativa, lo cual valida el potencial del proceso Fenton para la mejora del tratamiento de aguas residuales en contextos reales como el de la PTAR San Jerónimo.

Declaración de Conflicto de Intereses

Los autores declaran no presentar ningún tipo de conflicto de intereses.

Referencias

- Choque, L. D. (2024). *Evaluación de la calidad hídrica de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio de Viacha del departamento de la Paz* [Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Institucional UNSA. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/38759>
- Espinoza, A. C., & Arriaga, J. A. (2021). *Contaminantes emergentes en el agua: causas y efectos*. Impluvium, 17, 90. <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num8/art54/int54.htm%0Ahttp://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero17.pdf#page=62>
- García, M., Pérez, L., & Rodríguez, A. (2020). *Tratamiento avanzado para la mejora de la biodegradabilidad en aguas residuales urbanas*. Journal of Environmental Studies, 3(15), 120–132
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., van der Ploeg, M., van de Zee, S. E. A. T. M., & Ritsema, C. J. (2015). *Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management*. International Soil and Water Conservation Research, 3(1), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>
- Gulkaya, I., Surucu, G. A., & Dilek, F. B. (2006). *Important of H₂O₂/Fe²⁺ ratio in Fenton's treatment of a carpet dyeing wastewater*. ELSEVIER, 136, 763–769. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.01.006>
- HACH COMPANY. (2019). TNT 822 *Demanda Química de Oxígeno*. WORLD HEADQUARTERS, 1–3. <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=56639331160&srsId=AfmBOop724cfwkdnLGZ5aq6IRWP3TUk2Ds4iZY-Gy94J-17yjoq7ITrfw>
- HANNA Instruments S.A.S. (2023). *Guía para el análisis de la demanda química de oxígeno (DQO)*. <https://www.hannacolombia.com/blog/post/115/guia-para-el-analisis-la-demanda-quimica-oxigeno-dqo?srsId=AfmBOoqfXA3BGNN-VF-Ig2A52tdb1tEypsMGZpEM25Cht78Ucygpbrtas>
- Lambertz, S., Franke, M., Stelter, M., & Braeutigam, P. (2024). *Determination of Chemical Oxygen Demand with electrochemical methods: A review*. Chemical Engineering Journal Advances, 18(May), 14. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.100615>
- León, J., Medina, C., & Segovia, E. (2020). *Aplicación del método Foto-fenton para el tratamiento de aguas residuales en la industria láctea*. Dominio de las Ciencias, 6(3), 785-801.
- Liqtech. (2024). *Industrial Wastewater Discharge Limits and Requirements*. <https://liqtech.com/systems/industrial-wastewater/industrial-wastewater-discharge-limits-and-requirements/>

- Medina-serrano, C. A., & Segovia-obando, E. N. (2020). *Aplicación del método Foto-fenton para el tratamiento de aguas residuales en la industria láctea*. 6, 785–800.. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7539702.pdf>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2010). *Decreto Supremo N°003-2010-MINAM*. In *El Peruano*. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>
- Ministerio del Ambiente del Gobierno de India. (2024). *Junta Central de Control de la Contaminación. Centro de Control de La Contaminación*. <https://cpcb.nic.in/effluent-emission/>
- Promulgación de la Enmienda a la Ley de Tasas de Aguas Residuales*, 15 (2005). <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0684-z>
- Minitab* (19.0). (2024). Minitab, LLC. <https://www.minitab.com>
- Muszyńska, J., Gawdzik, J., Bqk, L., Górski, J., Górska, K., & Sałata, A. (2020). Application of a modified Fenton method for landfill leachate treatment - a case study. *Desalination and Water Treatment*, 199, 33–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25797>
- Pignatello, J. J., Oliveros, E., & Mackay, A. (2007). *Advanced Oxidation Processes for Organic Contaminant Destruction Based on the Fenton Reaction and Related Chemistry. Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 3389(36), 85. <https://doi.org/10.1080/10643380500326564>
- Rubio, A., Chica, E. L., & Peñuela, G. A. (2014). *Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico*. *Ingeniería y Competitividad*, 16(2), 211–223. <http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v16n2/v16n2a19.pdf>
- Torres Andrade, G. F. (2014). *Tratamiento De Aguas Residuales Mediante La Combinación De Técnicas Avanzadas De Oxidación Y Biofiltros* [Universidad de Las Palmas de Gran Canaria]. In Universidad De Las Palmas De Gran Canaria. hchrome-extension://efaidnbmnribpcajpcglclefindmkaj/https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/11899/4/0699295_00000_0000.pdf
- Zuñiga, M. M. (2023). Reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) aplicando el proceso Fenton en las aguas residuales del camal municipal de Calca - Cusco. Universidad Andina del Cusco. <https://repositorio.uandina.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/0e1d341f-5253-4332-a08d-6d993331acc8/content>