

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Título de la tesis

**Eficiencia de la remoción de materia orgánica por DBO
mediante electrocoagulación para tratar aguas residuales
procedentes de mataderos.**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniería Ambiental

Autor:

Francesca Zenith Guzmán Trujillo

Dayan Troya Paredes

Asesor:

M^{ra}. Kátterin Jina Luz, Pinedo Gómez

Tarapoto, octubre de 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Káttérin Jina Luz Pinedo Gómez, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Eficiencia de la remoción de materia orgánica por DBO mediante electrocoagulación para tratar aguas residuales procedentes de mataderos”** constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) (Francesca Zenith Guzman Trujillo y Dayan Troya Paredes) para obtener el título de Profesional de Ingeniería Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 27 días del mes de octubre del año 2021.



Káttérin Jina Luz Pinedo Gómez

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a 14 día(s) del mes de octubre del año 2021, siendo las 09:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mg. Gelner Archenti Curitima, el (la) secretario(a): Ing. Juana Elizabeth Vásquez Vásquez y los demás miembros: Mg. Erick José Quispe Mamani

y el (la) asesor(a) Mtra. Katterin Jina Luz Pinedo Gómez con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Eficiencia de la remoción de materia orgánica por DBO mediante electrocuagulación para tratar aguas residuales procedentes de mataderos.

del(los) bachiller(es): a) Francesca Zenith Guzman Trujillo
 b) Dayan Troya Paredes
 c)

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller-(a): Francesca Zenith Guzman Trujillo

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

Bachiller -(b): Dayan Troya Paredes

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

Bachiller -(c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente/a


 Secretario/a

 Asesor/a

 Miembro

 Miembro

 Bachiller (a)

 Bachiller (b)

 Bachiller (c)

**Eficiencia de la remoción de materia orgánica por DBO mediante electrocoagulación
para tratar aguas residuales procedentes de mataderos**

**Efficiency of organic matter removal by BOD by electrocoagulation to treat
wastewater from slaughterhouses**

Francesca Zenith Guzmán Trujillo¹
Correo: zenithguzman@upeu.edu.pe
ORCID: 0000-0002-3693-8768
Institución: Universidad Peruana Unión

Dayan Troya Paredes²
Correo: dayantroya@upeu.edu.pe
ORCID: 0000-0001-5982-0394
Institución: Universidad Peruana Unión

Kátherin Jina Luz Pinedo Gómez³
Correo: jina.pinedo@upeu.edu.pe
ORCID: 0000-0003-4072-0515
Institución: Universidad Peruana Unión

Resumen

En los mataderos se genera grandes volúmenes de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, lo cual ocasiona impactos significativos en los cuerpos receptores. Por lo cual, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la eficiencia de la electrocoagulación en la remoción de la materia orgánica por DBO presente en el agua residual procedente de matadero. Para lo cual, se realizaron mediciones antes de la aplicación del sistema de electrocoagulación y después de la aplicación del mencionado sistema, los datos se procesaron en el software IBM SPSS Statistics. Los resultados explican un grado de confiabilidad del 0,95, indicando que dicho sistema con aplicaciones de 12Vx15min (T1) y 24Vx10min (T2) logran reducir los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 585 mg/L a 183.83 mg/L (T1) y 104.17 mg/L (T2), la Turbiedad de 444 UNT a 39.67 UNT (T1) y 26.00 UNT (T2), la Conductividad Eléctrica de 1579 $\mu\text{mho/cm}$ a 359.40 $\mu\text{mho/cm}$ (T1) y 128.92 $\mu\text{mho/cm}$ (T2), los Sólidos Suspendidos Totales (SST) de 466 mg/L a 28.83 mg/L (T1) y 14.50 mg/L (T2) y el Potencial de Hidrógeno (pH) desde

11.77 unidades de pH hasta 8.34 y 7.53 respectivamente; concluyéndose que, existen diferencia significativa entre los tratamientos.

Palabras clave: Agua residual; electrocoagulación; matadero; Parámetros fisicoquímicos.

Abstrac

Slaughterhouses generate large volumes of wastewater with a high content of organic matter, which causes significant impacts on the receiving bodies. Therefore, the objective of this research was to evaluate the efficiency of electrocoagulation in the removal of organic matter by BOD present in wastewater. For which, measurements were made before the application of the electrocoagulation system and after the application of the aforementioned system, the data were processed in the IBM SPSS Statistics software. The results explain a degree of reliability of 0.95, indicating that said system with applications of 12Vx15min (T1) and 24Vx10min (T2) manage to reduce the Biochemical Oxygen Demand (BOD) parameters from 585 mg / L to 183.83 mg / L (T1) and 104.17 mg / L (T2), turbidity from 444 NTU to 39.67 NTU (T1) and 26.00 NTU (T2), electrical conductivity from 1579 $\mu\text{mho} / \text{cm}$ to 359.40 $\mu\text{mho} / \text{cm}$ (T1) and 128.92 $\mu\text{mho} / \text{cm}$ (T2), total suspended solids (SST) from 466 mg / L to 28.83 mg / L (T1) and 14.50 mg / L (T2) and the hydrogen potential (pH) from 11.77 pH units to 8.34 and 7.53 respectively ; concluding that, there is a significant difference between the treatments.

Keywords: Waste water; electrocoagulation; slaughterhouse; physico-chemical parameters.

Introducción

En la actualidad, la problemática ambiental relacionada con la contaminación de los recursos hídricos, pone en riesgo el equilibrio ambiental, la seguridad alimentaria, la salud poblacional y el desarrollo económico sostenible de la población mundial.

Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (UNESCO, 2017), los países del continente europeo tratarían un 71% de sus aguas residuales, en Medio Oriente y África del Norte un 51%, mientras que en América Latina alrededor del 20%. Se debe indicar, además, que en 32 países de los 48 del continente africano no presentan registro sobre la generación y tratamiento.

Por su parte la Interamerican Network of Academies of Sciences (IANAS 2019), en el Perú muchos de los cuerpos de agua se encontrarían afectados debido a las descargas de aguas residuales. Por lo que, las entidades reguladoras deberían asumir la responsabilidad para su control, considerando la normativa actual, según sector y los parámetros indicadores de contaminación, que se deben corroborar con los Límites Máximos Permisibles correspondientes, donde los aportes de la industria manufacturera, alimentaria, minera, hidrocarburífera y pesquera son de atención prioritaria.

La región San Martín, no es ajena a la realidad de la gran mayoría de ciudades ubicadas en zonas tropicales del Perú y otras de Latinoamérica, pues estas evidencian graves problemas de contaminación de los cuerpos de agua como fuentes receptoras del vertimiento de agua residual urbanas, municipales e incluso industriales sin o escaso tratamiento, lo cual impacta negativamente a su calidad, alterando el ecosistema acuático y conllevando a graves problemas de las poblaciones que lo aprovechan.

Son diversos los factores que conllevan a esta problemática, entre ellas la capacidad de gestión y administrativa por parte de las entidades relacionadas, así como, la escasa investigación por parte de las instituciones públicas y privadas para promover nuevas tecnologías o mejorar las existentes a fin de brindar alternativas de solución viables y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales.

La UNESCO (2019), menciona que, el aprovechamiento de las aguas residuales cobra gran importancia como fuente alterna de agua; cambiando el paradigma de la gestión de estas, que pasa por un problema para su tratamiento y su posterior vertimiento a contemplar su reutilización y recuperación; cubriendo así la necesidad del agua para la población (agua potable, aguas de riego y agua para la industria); que gracias a una serie de tecnologías emergentes como la electrocoagulación, la cual ofrece ciertas ventajas frente a las tecnologías tradicionales.

A la actualidad, los mataderos “clandestinos”, otros en proceso de formalización y los ya formados, siguen vertiendo sus aguas residuales de manera ilegal a los cuerpos de agua o a las redes de alcantarillado. Razón por la cual, la presente investigación busca evaluar las características del agua residual del matadero del distrito de Zapatero inscrito a la provincia de Lamas de la región San Martín y que, mediante electrocoagulación como alternativa ambientalmente amigable mejore sus características respecto a la concentración de materia orgánica a fin de poder ser vertidas sin generar alteraciones significativas.

Bien se sabe que, entre las principales alternativas aplicadas para tratar estas aguas residuales se encuentran las lagunas de oxidación, humedales y los procesos de coagulación química, donde los primeros demandan un tiempo de retención hidráulica relativamente considerable y su tiempo de vida útil es limitado (Butler et al., 2017), mientras que el último hace uso del sulfato de aluminio, lo cual que por ser de origen sintético genera impactos negativos en el ambiente y a la salud de las poblaciones (Krupińska, 2020).

Es ahí en donde radica la importancia de la electrocoagulación, teniendo en cuenta que, no es una tecnología nueva, pero que ha sido poco estudiada y desarrollada; en los últimos años, ha logrado convertirse en la solución para el tratamiento de muchos contaminantes como una técnica limpia comparada con las tecnologías tradicionales, por lo que, su aplicación adecuada permitiría remediar muchos problemas, que pueda ser una alternativa viable y eficiente sin provocar efectos negativos al ambiente y/o a la salud. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la electrocoagulación en la remoción de materia orgánica por DBO presente en el agua residual procedente de un matadero.

Material y método

Lugar de ejecución

El experimento se desarrolló en el distrito de Morales, provincia y región San Martín, en el laboratorio de la Universidad Peruana Unión ubicada en el Jr. Los Mártires 340 Urb. Santa Lucía – Morales con coordenadas 6°28'21.42" S y 76°23'45.88"O a una altitud de 271 m.s.n.m., con una temperatura media anual de 27,5 °C y una precipitación de 988 mm anuales.

Diseño del sistema

El sistema de electrocoagulación presentó las siguientes estructuras, una plataforma metálica de 27x22x1.5 cm, la cual constituye el soporte de un tanque de vidrio con las siguientes dimensiones 15x20x25 cm (7 500 mL capacidad volumétrica total) y donde se ancla un soporte universal con una llave nuez, la cual sujeta al cabezal con los electrodos de aluminio (placas de 13x2x02 cm) dispuestos en dos filas y con una separación de 5 cm; el soporte universal, además, sujeta a un transformador de corriente eléctrica de 220 voltios – 12

voltios, un regulador de voltaje de 12 y 24 voltios y un switch para encender y apagar el sistema.

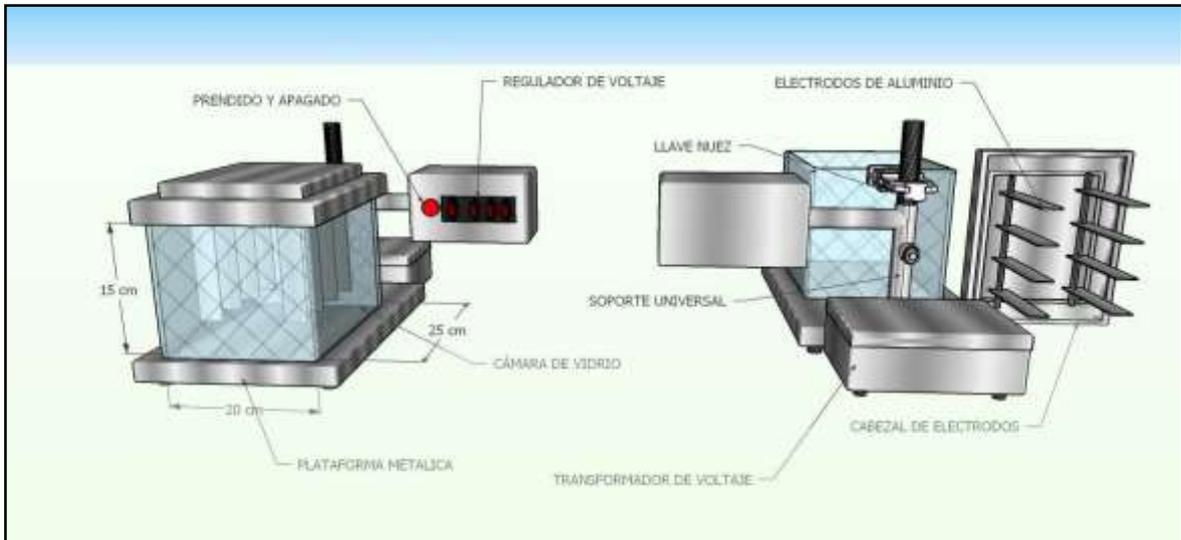


Figura 1
Características del sistema de electrocoagulación.

Metodología

La muestra de agua residual de matadero fue colectada durante la etapa de producción, una muestra compuesta, colectada en la cámara de mezcla a diferentes tiempos mientras duró el proceso; luego fue transportada en cadena de frío hasta las instalaciones del laboratorio de ingeniería ambiental de la Universidad Peruana Unión – Tarapoto, lugar donde se desarrolló el ensayo. El muestreo y el transporte de la muestra se realizó de acuerdo con PHA, AWWA & WEF (Baird, Eaton, & Rice, 2017).

De la muestra de agua residual, se tomaron 5 000 mL (volumen de trabajo) para ser depositados en el tanque de vidrio, posteriormente se montó el cabezal con los electrodos de aluminio, se reguló el sistema eléctrico a 12 voltios y se cronometró por 15 min, concluido este proceso, con una nueva muestra se ensayó a 24 voltios por 10 min; para ambos casos se realizaron 6 repeticiones, a fin de alcanzar un volumen de muestra que permita cumplir con los volúmenes necesarios que fueron remitidos al laboratorio acreditado para el análisis respectivo de los parámetros de interés.

La toma de la muestra para el análisis de los parámetros antes del proceso y después del proceso, como son pH, Conductividad Eléctrica, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendedos Totales (SST) y Turbiedad se realizó en frascos plásticos facilitado por

el laboratorio acreditado. Todas las muestras fueron refrigeradas a 4 °C durante su traslado, para su posterior análisis en el Laboratorio Environmental Quality Analytical Services S.A. (EQUAS S.A.) de la ciudad de Lima.

Análisis de datos

Los datos fueron sometidos a la prueba de normalidad, teniendo en cuenta que se contó con menos de 50 observaciones, por lo que, según Melo et al., (2020), la prueba a establecer fue Shapiro-Wilk, donde el p-valor fue < 0.05 indicando que ninguna variable se ajusta a la normal, debiendo utilizarse una prueba no paramétrica (test de Kruskal Wallis), el cual arrojó un p-valor de 0.00352, indicando que, existe diferencia altamente significativa (< 0.01). La prueba de comparaciones múltiples Post-hoc se realizó mediante el test de Conover mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics V 25 (Zhang, Wang, Zhao, & Cai, 2018).

El proceso estadístico inferencial, fue realizado a partir de los datos registrados y su posterior sistematización al proceso experimental, donde se analizó el grado de relación entre las variables de investigación. Este proceso recalca los momentos y distribuye la información de manera ordenada (Melo, López, & Melo, 2020). La eficiencia del sistema de electrocoagulación en función a la remoción de la materia orgánica por DBO se realizó mediante una la fórmula matemática, además de su comparación con los Límites máximos permisibles (LMP).

Resultados y discusión

Los resultados de los tratamientos correspondientes a los parámetros de interés que explican la eficiencia del sistema de electrocoagulación para el tratamiento del agua residual de matadero (Figura 1). Los valores correspondientes a la DBO se presentan en la Tabla 1. Donde el segundo tratamiento mediante aplicación de 24 voltios por 10 minutos (E24V) respecto al primero con aplicación de 12 voltios por 15 minutos (E12V) arrojó un p-valor de 0.00352, por tanto, teniendo en cuenta lo descrito por Dul, et al., (2020), existe una diferencia altamente significativa al ser menores 0.01; posteriormente, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples Post-hoc, considerando que no es paramétrica y se utilizó las medianas mediante el test de Conover.

La DBO que constituye los agentes que alteran la calidad del agua (Ascón, 2018), teniendo en cuenta que esta proviene de un matadero, en su mayoría estaría constituida por carbohidratos (Aleksić, et al., 2020), los cuales gracias a sus características polares, estos resultan desestabilizados y cambian su configuración electrónica al ser sometidos a una determinada intensidad de corriente (Navarro et al., 2019), promoviendo una reorganización molecular que conlleva a la coagulación final (Aguilar et al., 2020).

Los valores de la DBO lograron disminuir desde 585 mg/L hasta 184 mg/L en el ensayo E12V y 104 mg/L en el ensayo E24V, que en términos porcentuales de tratabilidad representa el 68.575% y 82.194% respectivamente; que al ser comparados por ejemplo con el trabajo realizado por Rusdianasari et al. (2021), donde utilizaron variaciones de flujo eléctrico de 12, 15 y 18V y tiempos de retención de 30, 60, 90, 120 y 150 min, alcanzó una mayor eficiencia con 18 V y un tiempo de 150 min, aunque esta puede ser variable dependiendo de muchos factores como las características fisicoquímicas de las moléculas que constituyen al DBO (Hawari et al., 2020).

El tratamiento de las aguas residuales, independiente de la actividad productiva que lo genera asegura la calidad de agua del cuerpo receptor, su disponibilidad y aprovechamiento de manera sostenible (Morsy, Mishra, & Galal, 2020); ya que, estos compuestos orgánicos afectan directa o indirectamente los servicios eco-sistémicos que los cuerpos de agua brindarían (Chen et al., 2021).

Es así que a la actualidad cada país evalúa y fiscaliza los vertimientos de las aguas residuales, en el Perú, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014), señala que, las aguas residuales que no presenten tratamiento o este sea inadecuado, alteran la tratabilidad por sobrecarga en las planta de tratamiento, lo cual genera que los efluentes tratados excedan los Límites correspondientes.

El primer tratamiento (E12V), explica un menor porcentaje de remoción en función de la turbiedad, conductividad eléctrica y sólidos suspendidos totales. Lo que permite explicar que los coloides que constituyen la turbiedad inicial (444 UNT) no lograron ser desestabilizados suficientemente mediante la aplicación de 12 voltios por 15 minutos logrando alcanzar una turbiedad final de 39.67 UNT (91% de eficiencia) respecto al segundo tratamiento (E24V) donde se alcanzó 26 UNT (eficiencia del 94%), esto guarda relación directa con lo descrito por Sun, et al., (2019), que para sedimentar los coloides requiere de una energía y un tiempo suficiente capaz de desestabilizarlos, constituyan el floc adecuado

y su posterior sedimentación. Recalcando que, electro-coagulación utiliza una fuente de poli electrodos que aportan iones desestabilizadores de las partículas coloidales, semejante a la acción de los coagulantes utilizados en el tratamiento convencional (Yasri et al., 2020).

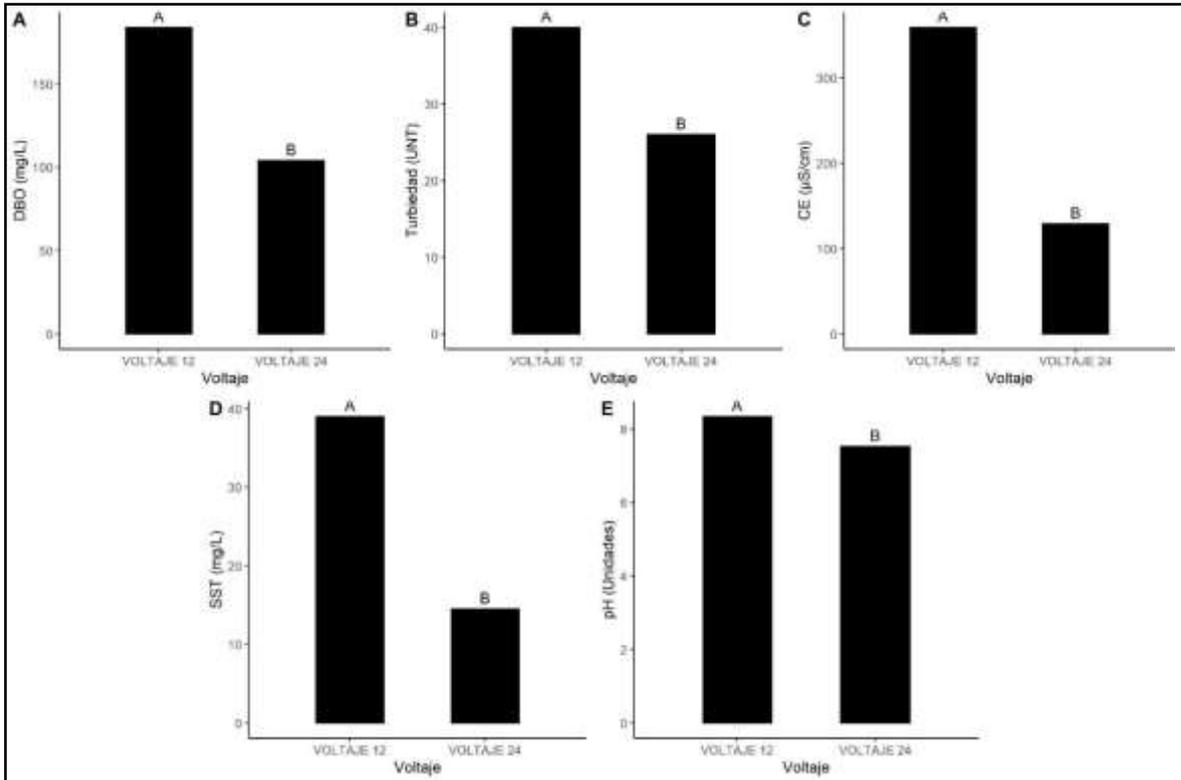


Figura 2. Valores de cada uno de los parámetros lineales.

La materia orgánica soluble presente en el agua residual (Meyo et al., 2021), tiene influencia directa sobre la conductividad eléctrica, por lo que resulta importante su evaluación en la determinación de la calidad del agua (Han et al., 2021). Al realizar la evaluación de la conductividad eléctrica, esta disminuyó desde 1579 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 359.35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el tratamiento E12V y 129 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el tratamiento E24V, lo cual representa una eficiencia en la remoción del 77.230 % y 91.836 % respectivamente (Tabla 1).

La materia orgánica soluble presente en el agua residual resulta ser un problema grave si no se trata y alcanza cuerpos de agua lénticos, ya que, estos compuestos pueden ser asimilados fácilmente y desencadenarían un procesos de eutrofización gracias el alto contenido de compuestos nitrogenados y azufrados (Smol et al., 2020).

Tabla 1. Eficiencia de la remoción en agua residual de matadero.

Parámetro	Eficiencia (%)	
	E12V	E24V
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	68.575	82.194
Turbiedad	91.066	94.144
Conductividad Eléctrica	77.239	91.836
Sólidos Suspendidos Totales	93.813	96.888

Los sólidos suspendidos totales (SST) presentes en el agua residual de matadero está constituida básicamente por las excretas, sangre, grasas, pelos y otros que se desprenden o se generan en las actividades propias de cada una de las etapas del proceso (Ziara, Li, Subbiah, & Dvorak, 2018); algunos de estos, dependiendo del volumen y peso molecular, logran sedimentar fácilmente, mientras que otros pueden flotar o en el peor de los casos pueden quedar en suspensión por un tiempo mayor y pasar a constituir los denominados coloides (AlJaberi et al., 2020).

Los SST en la presente evaluación se lograron disminuir desde los 466mg/L hasta 29mg/L en el tratamiento E12V y hasta 14.5mg/L en el tratamiento E24V, lo que correspondería a una eficiencia en la remoción del 93.813% y 96.888% respectivamente; lo cual permite corroborar los trabajos realizados por Reátegui et al (2020) y Chakchouk et al. (2017), donde emplearon la electrocoagulación para tratar agua residual de matadero teniendo en cuenta el voltaje y el tiempo de retención hidráulica obtuvieron una tratabilidad mayor del 50%, dependiendo del parámetro indicador analizado.

Es importante, tener en cuenta que en toda evaluación se deben monitorear parámetros básicos, donde se incluye el pH, ya que estos pueden permitir una mejor interpretación del proceso en sí, por ejemplo De Oliveira et al., (2020), señala que el pH en los procesos donde se aplica electrocoagulación es muy variable. Así, en la presente, el pH varió desde 11.77 hasta 8.345 y 7.525, lo cual permite interpretar que si se diera el caso donde el agua post tratamiento se vierte a un cuerpo de agua, esta se aplicaría según la normativa nacional actual.

Se concluye que la electrocoagulación es una alternativa viable para tratar el agua residual procedente de matadero, donde la utilización de electrodos de aluminio con una intensidad de 12 y 24 voltios por 15 y 10 minutos respectivamente, es eficiente (>90%) para tratar a la materia orgánica en función de la DBO.

Conclusiones

La aplicación del sistema de electrocoagulación con electrodos de aluminio a 12Vx15min y 24Vx10min permitieron reducir significativamente los valores de la Conductividad Eléctrica, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y la Turbiedad, por lo que el agua residual procedente del proceso de matadero tratada con esta tecnología podría ser utilizadas para riego agrícola o vertidas a un cuerpo receptor sin ocasionar impacto ambiental significativo. Se recomienda realizar ensayos experimentales con otros voltajes y otros tiempos de retención hidráulica.

Agradecimientos

Al personal administrativo de la municipalidad del distrito de Zapatero, por facilitarnos el acceso al Matadero Municipal del mismo distrito, provincia de Lamas y región San Martín.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, E., Marrufo, L., & Neyra, W. (2020). Efficiency of electrocoagulation method to reduce COD, BOD and TSS in tannery industry wastewater: Application of the Box-Behnken Design. *Leather and Footwear Journal*, 20(3), 217–228.
<https://doi.org/10.24264/lfj.20.3.1>
- Aleksić, N., Nešović, A., Šušteršič, V., Gordić, D., & Milovanović, D. (2020). Slaughterhouse water consumption and wastewater characteristics in the meat processing industry in Serbia. *Desalination and water treatment*, 190, 98–112.
<https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25745>
- AlJaberi, F., Ahmed, S., & Makki, H. (2020). Electrocoagulation treatment of high saline oily wastewater: evaluation and optimization. *Heliyon*, 6(6), e03988.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03988>
- Ascón, E. (2018). Elimination of chemical oxygen demand from domestic residual water by electrocoagulation with aluminum and iron electrodes. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 13(5), 1. <https://doi.org/10.4136/ambiente-agua.2240>
- Baird, R., Eaton, A., & Rice, E. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23a ed.; American Public Health Association, ed.). Washington - EE UU.

- Butler, E., Hung, Y.-T., Suleiman, M., Yeh, R., Liu, R., & Fu, Y.-P. (2017). Oxidation pond for municipal wastewater treatment. *Applied Water Science*, 7(1), 31–51. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0285-z>
- Chakchouk, I., Elloumi, N., Belaid, C., Mseddi, S., Chaari, L., & Kallel, M. (2017). A combined electrocoagulation-electrooxidation treatment for dairy wastewater. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 34(1), 109–117. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20170341s20150040>
- Chen, X., Wang, Y., Sun, T., Huang, Y., Chen, Y., Zhang, M., & Ye, C. (2021). Effects of sediment dredging on nutrient release and eutrophication in the gate-controlled estuary of Northern Taihu Lake. *Journal of Chemistry*, 2021, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2021/7451832>
- De Oliveira, A., Ribeiro, J., Neto, E., De Lima, A., Amazonas, Á., Da Silva, L., ... do Nascimento, R. (2020). Removal of natural organic matter from aqueous solutions using electrocoagulation pulsed current: optimization using response surface methodology. *Water Science and Technology*, 82(1), 56–66. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.323>
- Dul, J., van der Laan, E., & Kuik, R. (2020). A statistical significance test for necessary condition analysis. *Organizational Research Methods*, 23(2), 385–395. <https://doi.org/10.1177/1094428118795272>
- Han, Z., Xiao, M., Yue, F., Yi, Y., & Mostofa, K. (2021). Seasonal variations of dissolved organic matter by fluorescent analysis in a typical river catchment in northern China. *Water*, 13(4), 494. <https://doi.org/10.3390/w13040494>
- Hawari, A., Alkhatib, A., Hafiz, M., & Das, P. (2020). A novel electrocoagulation electrode configuration for the removal of total organic carbon from primary treated municipal wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(19), 23888–23898. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08678-4>
- InterAmerican Network of Academies of Sciences. (2019). *Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades* (7a ed.; Ianas Print, ed.). Ciudad de México.
- Krupińska, I. (2020). Aluminium drinking water treatment residuals and their toxic impact on human health. *Molecules*, 25(3), 641. <https://doi.org/10.3390/molecules25030641>
- Melo, O. O., López, L. A., & Melo, S. E. (2020). *Diseño de experimentos - Métodos y aplicaciones* (2a ed.; Maqueta Latex, ed.). <https://doi.org/10.36385/FCBOG-4-0>
- Meyo, H. B., Njoya, M., Basitere, M., Ntwampe, S. K. O., & Kaskote, E. (2021).

- Treatment of poultry slaughterhouse wastewater (PSW) using a pretreatment stage, an expanded granular sludge bed reactor (EGSB), and a membrane bioreactor (MBR). *Membranes*, 11(5), 345. <https://doi.org/10.3390/membranes11050345>
- Morsy, K., Mishra, A., & Galal, M. (2020). Water quality assessment of the Nile Delta lagoons. *Air, Soil and Water Research*, 13, 117862212096307. <https://doi.org/10.1177/1178622120963072>
- Navarro, D., Abelilla, J., & Stein, H. (2019). Structures and characteristics of carbohydrates in diets fed to pigs: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0345-6>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. En OEFA (Ed.), *Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-05991* (1a ed., Vol. 1). Lima - Perú.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la C. y la C. (2017). Aguas residuales: El recurso desaprovechado. En Umbria (Ed.), *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas* (1a ed., Vol. 1). Paris - Francia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la C. y la C. (2019). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019*. Paris - Francia.
- Reátegui, W., Tuesta, S., Ochoa, C., Huamán, J., King, M., Estrada, E. F., ... Fernández-Guzmán, V. (2020). Electrocoagulation in batch mode for the removal of the chemical oxygen demand of an effluent from slaughterhouse wastewater in Lima Peru: Fe and Al electrodes. *Desalination and water treatment*, 201(January 2020), 206–218. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26175>
- Rusdianasari, Bow, Y., Syakdani, A., & Mayasari, D. (2021). The Effectiveness of Electrocoagulation Process in Rubber Wastewater Treatment using Combination Electrodes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 709(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/709/1/012009>
- Smol, M., Preisner, M., Bianchini, A., Rossi, J., Hermann, L., Schaaf, T., ... Svanström, M. (2020). Strategies for sustainable and circular management of phosphorus in the Baltic sea Region: The holistic ppproach of the InPhos Project. *Sustainability*, 12(6), 2567. <https://doi.org/10.3390/su12062567>
- Sun, Y., Zhou, S., Chiang, P.-C., & Shah, K. (2019). Evaluation and optimization of

- enhanced coagulation process: Water and energy nexus. *Water-Energy Nexus*, 2(1), 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.01.001>
- Yasri, N., Hu, J., Kibria, M. G., & Roberts, E. (2020). Electrocoagulation separation processes. En ACS (Ed.), *Multidisciplinary advances in efficient separation processes* (1a ed., Vol. 1348, pp. 167–203). <https://doi.org/10.1021/bk-2020-1348.ch006>
- Zhang, J., Wang, Y., Zhao, Y., & Cai, X. (2018). Applications of inferential statistical methods in library and information science. *Data and Information Management*, 2(2), 103–120. <https://doi.org/10.2478/dim-2018-0007>
- Ziara, R., Li, S., Subbiah, J., & Dvorak, B. (2018). Characterization of wastewater in Two U.S. Cattle Slaughterhouses. *Water Environment Research*, 90(9), 851–863. <https://doi.org/10.2175/106143017X15131012187971>