

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Remoción de materia orgánica presentes en las aguas residuales
de un matadero mediante la electrocoagulación**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Liz Keissy Bravo Ramírez

Yolissa Chile Llanque

Asesor:

Msc. Rose Adeline Callata Chura

Juliaca, marzo de 2024

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Msc. Rose Adeline Callata Chura, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“REMOCION DE MATERIA ORGANICA PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DE UN MATADERO MEDIANTE LA ELECTROCOAGULACION”** de los autores **Liz Keissy Bravo Ramirez** y **Yolissa Chile Llanque** tiene un índice de similitud de 12% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 18 días del mes de marzo del año 2024



Msc. Rose Adeline Callata Chura

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chulucani, a 18 día(s) del mes de enero del año 2022 siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Nancy Lucrasi Rafael el (la) secretario(a): Msc. Leyda Abigail Londoño Torres y los demás miembros: Ing. Enrique Mamani Quispe Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera y el (la) asesor(a) Msc. Rosa Adeline Gallata Chura con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

Remoción de materia orgánica presente en las aguas residuales de un matadero mediante la electrocoagulación

del(los) bachiller(a): a) Liz Keissy Bravo Ramirez
 b) Yolissa Chile Llanque
 c) _____

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental
(Derechero 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): Liz Keissy Bravo Ramirez

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Buena</u>

Bachiller (b): Yolissa Chile Llanque

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Buena</u>

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.

[Firma]
 Presidente
[Firma]
 Asesor(a)
[Firma]
 Bachiller (a)

[Firma]
 Miembro
[Firma]
 Bachiller (b)

[Firma]
 Secretaria
[Firma]
 Miembro
 Bachiller (c)

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCION.....	8
2. MATERIALES Y METODOS.....	11
2.1. Ubicación.....	11
2.2. Configuración del reactor	12
2.3. Caracterización de las aguas residuales brutas	13
2.4. Procedimiento experimental	14
2.5. Diseño estadístico experimental.....	15
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	17
3.1. Características de aguas residuales del efluente	17
3.2. Características y porcentaje de remoción de las pruebas experimentales	18
3.3. Efecto del pH.....	19
3.4. Efecto del voltaje eléctrico	20
3.5. Efecto de tiempo de retención hidráulica.....	21
3.6. Análisis estadístico	21
3.7. Ajuste de superficie respuesta.....	23
4. CONCLUSIONES	26
5. REFERENCIAS	28

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación de la planta de beneficio municipal del Distrito Ilave - El Collao.	11
Figura 2 Configuración de diseño del reactor de electrocoagulación.	13
Figura 3 Aireación de la muestra antes del proceso de electrocoagulación.	14
Figura 4 Superficie respuesta para la remoción de la turbidez.	25
Figura 5 Superficie respuesta para la remoción de la DQO.	25
Figura 6 Superficie respuesta para la remoción de la DBO ₅	26

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Referencia metodológica de análisis fisicoquímica de aguas residuales.	13
Tabla 2 Factores de diseño y sus niveles.	15
Tabla 3 Matriz de diseño con valores codificados	15
Tabla 4 Resultados del análisis fisicoquímico de las muestras de efluentes de matadero. .	17
Tabla 5 Matriz de diseño y porcentaje de remoción de turbidez, DQO y DBO ₅ de las aguas residuales tratadas por el proceso de electrocoagulación.	18
Tabla 6 Análisis de varianza para turbidez, DQO y DBO ₅ - EC de efluentes de matadero..	22

INDICE DE ANEXOS

Anexo A Copia de la inscripción de perfil.	33
Anexo B Formato de ubicación del punto de monitoreo.	34
Anexo C Formato de rotulo de muestras de agua residual.	35
Anexo D Formato de cadena de custodia del muestreo de aguas residuales.	36

Remoción de materia orgánica presentes en las aguas residuales de un matadero mediante la electrocoagulación

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la remoción de las materias orgánicas presentes en las aguas residuales de un matadero convencional, mediante la electrocoagulación. El análisis experimental se llevó a cabo empleando la metodología superficie respuesta empleando el diseño central compuesto (DCC) con bloqueo ortogonal para determinar las condiciones operativas más eficientes de pH, Voltaje y TRH, para obtener el mayor porcentaje de remoción de la turbidez, DQO y DBO₅. Los resultados mostraron el máximo porcentaje de remoción de turbidez del 92.55%, DQO 90.38%, DBO₅ 88.32% con valores mínimos 71.14 mg/L, 166.01 mg/L y 81.88 mg/L respectivamente, bajo condiciones de operación de pH: 4, Voltaje: 30V y TRH: 20 min, además se observó que a pH ligeramente ácidos se obtuvieron altas tasas de remoción, por otro lado, a medida que se incrementaba el voltaje y TRH también mejoraba la eficiencia en el tratamiento. En conclusión, el proceso de electrocoagulación demostró ser una tecnología eficiente en el tratamiento de aguas residuales de matadero, con la optimización de las condiciones operativas del modelo superficie respuesta.

Palabras clave: Aguas residuales, Electrocoagulación, Matadero, Optimización, superficie respuesta.

Removal of organic matter present in the wastewater of a slaughterhouse through electrocoagulation

ABSTRACT

In the present investigation, the removal of organic matter present in the wastewater of a conventional slaughterhouse was evaluated, using electrocoagulation. The experimental analysis was carried out using the response surface methodology using the central composite design (CDC) with orthogonal blocking to determine the most efficient operating conditions of pH, Voltage and TRH, to obtain the highest percentage of removal of turbidity, COD and BOD5. The results showed the maximum percentage of turbidity removal of 92.55%, COD 90.38%, BOD5 88.32% with minimum values 71.14 mg/L, 166.01 mg/L and 81.88 mg/L respectively, under operating conditions of pH: 4, Voltaje: 30V and TRH: 20 min, it was also observed that at slightly acidic pH high removal rates were obtained; on the other hand, as the voltage and TRH increased, the treatment efficiency also improved. In conclusion, the electrocoagulation process proved to be an efficient technology in the treatment of slaughterhouse wastewater, with the optimization of the operating conditions of the surface response model.

Keywords: Wastewater, Electrocoagulation, Slaughterhouse, Optimization, response surface.

1. INTRODUCCION

Entre las diversas fuentes de producción de aguas residuales agroindustriales, se encuentran los efluentes de matadero, que se caracterizan por tener altas concentraciones de compuestos contaminantes dependiendo del tipo de animal de sacrificio (Cúvelo Santana *et al.*, 2015), que generalmente está constituido por una mezcla de compuestos orgánicos provenientes de la descomposición de restos orgánicos como: sangre, carne, carbohidratos, proteínas y lípidos que contribuyen a la carga orgánica; sólidos en suspensión como fragmentos de alimentos, materia fecal, grasas, pelos y otros desechos del tejido animal (Carrasquero Ferrer *et al.*, 2015), expresadas en la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) que comprenden su valor alrededor de 9300 mg/L (Salas & Condorhuamán, 2008), demanda química de oxígeno (DQO) de 12121 mg/L (Burkhart *et al.*, 2018), nitrógeno total (N) de 320 mg/L , fósforo total (P) de 272 mg/L, sólidos suspendidos totales (SST) de 2100 mg/L (Quille & Donaires, 2013), grasas y aceites (GyA) de 231,6 mg/L (Becerra-Gutiérrez *et al.*, 2014), con temperaturas alrededor de 20°C (Salas & Condorhuamán, 2008).

Habitualmente estos efluentes son vertidas a cuerpos de agua sin algún tipo de tratamiento previo o déficit en algunos (McBeath *et al.*, 2020) , que llegan a causar la escasez de oxígeno en el cuerpo de agua receptor debido a su alta composición en materia orgánica, a su vez las grasas y aceites provocan la formación de capas superficiales que conducen alteraciones negativas de los ecosistemas acuáticos (Carrasquero Ferrer *et al.*, 2015), también provoca consecuencias negativas en la salud pública del ser humano y animales debido a la generación de olores, producción de vectores (Ruiz Martín, 2019).

Por lo tanto, ante esta realidad surge el interés en la mejora e innovación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales, que sean sostenibles, fiables, económicas

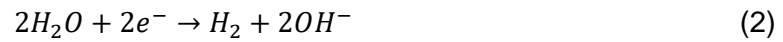
y rentables (Ding *et al.*, 2018) . Investigadores en las últimas décadas han trabajado en la búsqueda de tratamientos óptimos de aguas residuales (AR) mediante métodos biológicos: Lodos activados, lagunas aireadas, filtro anaerobio, lagunas de oxidación (Boinpally *et al.*, 2023), químicos: Oxidación química, proceso de coagulación – floculación y tecnologías de adsorción (Wang *et al.*, 2023) que presentan ciertas limitaciones por la demanda significativa de consumo de energía no renovable, costos altos de inversión, tiempo de vida útil limitado, tiempo de retención hidráulica prolongados y emiten grandes cantidades de dióxido de carbono (Gatsios *et al.*, 2015).

Dentro de este marco los métodos electroquímicos han mostrado una amplia aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales industriales de composiciones orgánicas, metales y químicos (Garcia-Segura *et al.*, 2017). Como la electrocoagulación(EC) que consiste en la incorporación de los beneficios de la flotación - coagulación química, que en tratamientos convencionales requieren aditivos y sales metálicas o polielectrolitos para su proceso, a diferencia y ventaja de ello la EC produce coagulantes in-situ (Garcia-Segura *et al.*, 2017), forman menos lodos y el espacio para su instalación es muy compacto ya que consta de un reactor que adopta placas metálicas denominados ánodo/cátodo, de fácil operación al ser controlados por un circuito externo de corriente eléctrica continua (Widarti & Raharjo, 2021).En el proceso de EC se genera iones metálicos que forman grandes cadenas de poli hidróxidos en la superficie del metal y liberación de burbujas de hidrogeno gaseoso que permite la flotación de las partículas, respectivamente (Widarti & Raharjo, 2021), denominadas reacciones redox sean oxidación indirecta y directa - electrodeposición y reducción de metales (Sivakumar *et al.*, 2017), que da a lugar a cuatro mecanismos fundamentales: atrapamiento de contaminantes, adsorción de contaminantes, neutralización de las cargas y formación de complejos así descartando la adición de otros agentes químicos (Garcia-Segura *et al.*, 2017), las principales reacciones que ocurren son:

Ánodo:



Cátodo:



General:



De acuerdo a diversos estudios realizados la EC se ha aplicado como una alternativa de tratamiento con resultados muy convincentes de remoción superiores al 90% en parámetros de DQO (Ilhan *et al.*, 2008) , DBO₅ (Uğurlu *et al.*, 2008) , turbidez (Garg & Prasad, 2016), solidos suspendidos (Muruganathan *et al.*, 2004) , aceites y grasas (Moussavi *et al.*, 2021), en efluentes de esta naturaleza.

Por lo tanto, la investigación tiene como objetivo evaluar la remoción de materia orgánica (DBO₅, DQO, turbidez) presentes en las aguas residuales de un matadero mediante la electrocoagulación.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Ubicación

Las aguas residuales empleadas en la investigación se obtuvieron del matadero municipal de Ilave, Puno, Perú. Generadas por diferentes procesos de operación del matadero como noqueo, izado, sangrado y degüello, desmembramiento de patas y cabeza, deshollado, eviscerado y limpieza de las mismas que se recolectaron en la entrada de la estación de tratamiento de aguas residuales del matadero.

Figura 1

Mapa de ubicación de la planta de beneficio municipal del Distrito Ilave - El Collao.



2.2. Configuración del reactor

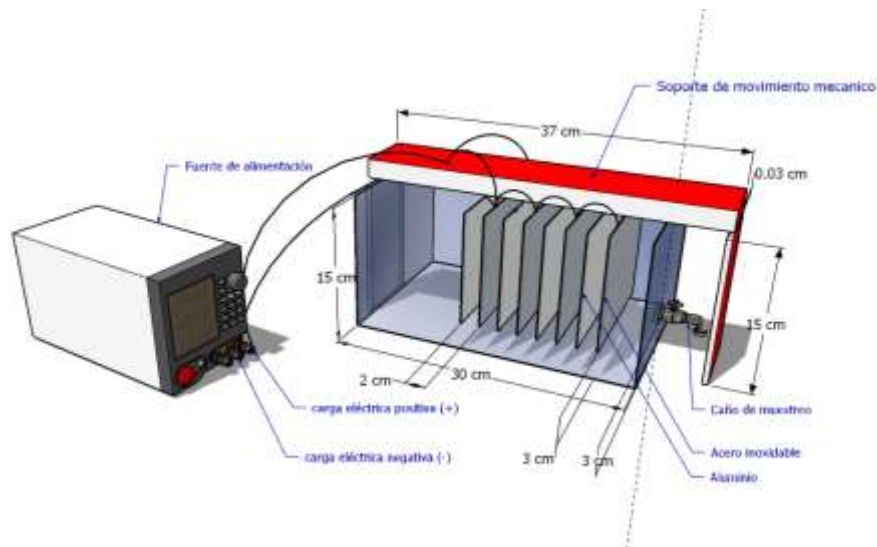
Para el diseño del reactor de electrocoagulación se adoptó la metodología optimizada por Beltrán (2016). Los experimentos se ejecutaron usando un reactor de vidrio, construido con las siguientes dimensiones: 30 cm de largo, 20 cm de alto y 15 cm de ancho teniendo así una capacidad total de 8.26 L. Se emplearon placas de aluminio (Al) y Acero Inoxidable (Ai) como cátodo y ánodo respectivamente, cada electrodo con 12 cm ancho, 15 cm de altura y 1.5 mm de espesor formando una superficie total de 368.1 cm² y una pureza de 100%.

Las celdas electrolíticas formadas por 4 electrodos (Al) y 4 electrodos (Ai) fueron colocadas de forma intercalada con una separación de 2 cm, las mismas que se sujetaron con un soporte de movimiento mecánico (Figura 1).

El sistema eléctrico fue conformado por una fuente de alimentación modelo UNI-T; UTP-3315TFL-II, que distribuía la energía eléctrica a través de dos conductos, uno alimentado con carga eléctrica positiva (+) y el otro con carga eléctrica negativa (-), dispuestos de tal forma que cada placa tenía como vecina a otra placa con carga eléctrica opuesta, formando un circuito (en paralelo).

Figura 2

Configuración de diseño del reactor de electrocoagulación.



2.3. Caracterización de las aguas residuales brutas

El análisis fisicoquímico del agua residual para la caracterización y los tratamientos se realizó de acuerdo los procedimientos establecidos por método estándar para examen del agua y aguas residuales, 23 a edición 2017 (Baird et al. 2017) (Tabla 1).

Tabla 1

Referencia metodológica de análisis fisicoquímica de aguas residuales.

Parámetro	Referencia
pH	SM 2510 B
Temperatura (°C)	-
Conductividad eléctrica (mS/cm)	SM 2120 C
Color (hz)	SM 2120 B
Turbidez (NTU)	SM 2130D
DQO (mg/L)	SM 5220 D
DBO ₅ (mg/L)	SM 5210 B
Fosforo (mg/L)	SM 4500 P E
Nitrógeno total (mg/L)	SM 4500 NH3
Solidos sedimentables (mg/L)	SM 2540 F
Solidos suspendidos (mg/L)	SM 2540B

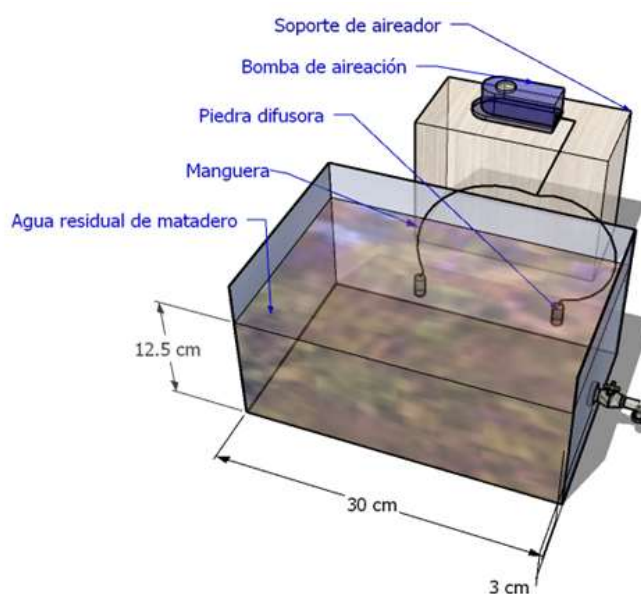
Aceites y grasas	SM 5520 D
Aluminio (mg/L)	SM 3030 E
Hierro (mg/L)	SM 3500 Fe B

2.4. Procedimiento experimental

Antes del proceso de electrocoagulación la muestra de 7L fue acondicionada, alterándose el valor del pH entre 3.37 a 6.63 con ácido clorhídrico al 50% de tal manera que este se rigiera a las condiciones del diseño experimental, seguidamente se aireó durante 10 min. con una bomba de aire modelo ELITE 802 de 220V (Figura 2).

Figura 3

Aireación de la muestra antes del proceso de electrocoagulación.



El proceso de electrocoagulación se inició con la sumersión de las placas a las cuales se les suministro energía de forma manual a través del regulador de voltaje (0-30V) que cuenta la fuente de alimentación (UNI-T; UTP-3315TFL-II), asimismo, durante el

proceso se realizaron movimientos mecánicos de derecha a izquierda y viceversa del conjunto de placas en intervalos de 2 minutos.

2.5. Diseño estadístico experimental

Para el análisis de los datos se utilizó el diseño central compuesto (DCC) con bloqueo ortogonal para determinar la influencia de los factores operativos: pH, voltaje y tiempo de retención hidráulica; con valores máximos, mínimos, medios y axiales del DCC se muestran en la tabla 2 que como respuestas del modelo tuvieron turbidez, DQO y DBO₅.

Tabla 2

Factores de diseño y sus niveles.

Factores operativos	Código	Nivel				
		-α	-1	0	1	α
pH	A	3.63	4	5	6	6.63
voltaje (V)	B	0.25	5	12.5	20	24.74
Tiempo de retención hidráulica (min)	C	3.67	10	20	30	36.3

Nota: El valor de $\alpha = \sqrt{\frac{F(2k + a_0)}{2(F + F_0)}}$

Donde:

F₀: Número de puntos centrales en el bloque factorial.

k: Número de variables independientes.

a₀: Número de puntos centrales en el bloque axial.

F: Número de puntos no centrales en el bloque factorial.

Tabla 3

Matriz de diseño con valores codificados

N°	bloque	valor codificado			Valor real		
		x ₁	x ₂	x ₃	pH	Voltios	TRH

1	1	-1	-1	-1	4	5	10
2	1	1	-1	-1	6	5	10
3	1	-1	1	-1	4	20	10
4	1	1	1	-1	6	20	10
5	1	-1	-1	1	4	5	30
6	1	1	-1	1	6	5	30
7	1	-1	1	1	4	20	30
8	1	1	1	1	6	20	30
9	1	0	0	0	5	12.5	20
10	1	0	0	0	5	12.5	20
11	1	0	0	0	5	12.5	20
12	1	0	0	0	5	12.5	20
13	2	$-\alpha$	0	0	3.37	12.5	20
14	2	A	0	0	6.63	12.5	20
15	2	0	$-\alpha$	0	5	0.25	20
16	2	0	α	0	5	24.75	20
17	2	0	0	$-\alpha$	5	12.5	3.67
18	2	0	0	α	5	12.5	36.33
19	2	0	0	0	5	12.5	20
20	2	0	0	0	5	12.5	20

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Características de aguas residuales del efluente

Los resultados de la caracterización de las aguas residuales provenientes del proceso de la planta de beneficio presentan valores semejantes que obtuvieron Quille & Donaires (2013) de las muestras obtenidas del mismo lugar de estudio (Ver Tabla 4).

Los efluentes de matadero evidenciaron tener un alto contenido en materia orgánica, con DBO₅ de 900 mg/L y DQO de 1726.5mg/L con índice de biodegradabilidad de 0.52, Morón *et al.* (2019) indica que se considera biodegradable al ser superior a 0.5, por tanto, la muestra estudiada se denomina un efluente biodegradable, asimismo, la turbidez presenta un valor alto lo significa que atribuye un alto contenido de partículas coloidales, que son características más relevantes aptos para este tipo de tratamiento.

Tabla 4

Resultados del análisis fisicoquímico de las muestras de efluentes de matadero.

Parámetros	Resultados
pH	7.43
Temperatura (°C)	14
Conductividad eléctrica (mS/cm)	2.27
Color (hz)	100
Turbidez (NTU)	955
DQO (mg/L)	1726.5
DBO ₅ (mg/L)	900
Fosforo (mg/L)	6.8
Nitrógeno total (mg/L)	46.4
Solidos sedimentables (mg/L)	130
Solidos suspendidos (mg/L)	997.5
Aceites y grasas	915.38
Aluminio (mg/L)	7.94

Hierro (mg/L)	12.5
---------------	------

3.2. Características y porcentaje de remoción de las pruebas experimentales

La matriz de diseño con valores reales, resultados de análisis de los parámetros de salida después del tratamiento y los porcentajes de remoción alcanzados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5

Matriz de diseño y porcentaje de remoción de turbidez, DQO y DBO₅ de las aguas residuales tratadas por el proceso de electrocoagulación.

N° de Trat.	Variables independientes			Valores de remoción			Remoción (%)		
	A: pH	B: Voltaje (V)	C: TRH (min)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Turbidez (%)	DQO (%)	DBO ₅ (%)
1	4	5	10	360.07	716.66	433.06	62.3	58.49	38.22
2	6	5	10	379.04	761.03	433.81	60.31	55.92	38.12
3	4	20	10	261.47	509.1	328.21	72.62	70.51	53.18
4	6	20	10	298.54	656.41	406.13	68.74	61.98	42.06
5	4	5	30	235.96	551.58	322.97	75.29	68.05	53.93
6	6	5	30	314.4	575.55	334.26	67.08	66.66	52.32
7	4	20	30	71.14	166.01	81.88	92.55	90.38	88.32
8	6	20	30	167.69	292.92	170.34	82.44	83.03	75.7
9	5	12.5	20	213.25	485	246.67	77.67	71.91	64.81
10	5	12.5	20	215.42	485.41	247	77.44	71.88	64.76
11	5	12.5	20	214.54	486.52	245.91	77.53	71.82	64.92
12	5	12.5	20	214.72	486.54	246.42	77.52	71.82	64.85
13	3.36	12.5	20	94.21	361.61	168.05	90.13	79.06	76.03
14	6.63	12.5	20	188.52	501.46	240.88	80.26	70.95	65.64
15	5	0.25	20	291.24	588.94	330.23	69.5	65.89	52.89
16	5	24.74	20	90.94	188.7	110.78	90.48	89.07	84.2

17	5	12.5	3.67	286.22	629.13	401.33	70.03	63.56	42.75
18	5	12.5	36.33	78.03	197.55	118.92	91.83	88.56	83.04
19	5	12.5	20	225.24	467.69	253.35	76.41	72.91	63.86
20	5	12.5	20	215.69	484.96	244.35	77.41	71.91	65.14

3.3. Efecto del pH

Los experimentos fueron desarrollados con un pH mínima de 3.367 y máxima de 6.633, los resultados presentaron la mayor eficiencia de remoción a pH: 4 que se puede observar en la Tabla 5, para la turbidez el porcentaje de remoción máxima fue del 92.55%, para DQO 90.38% y para DBO₅ 88.32%. Durante el proceso de EC se observó la variación frecuente de pH, tal como Hasani *et al.* (2019) argumenta, que efectivamente el pH en procesos de EC suelen variar, generalmente el valor incrementa (Eric *et al.*, 2022).

Al tener una mayor eficacia de remoción con pH 4, Indriani *et al.* (2021) sostiene que el valor óptimo para la remoción de materia orgánica es pH 3, puesto que el pH a condiciones ácidas se ve forzada a estimular más interacción a contaminantes orgánicos, pues al tener un valor bajo, las moléculas aniónicas de la materia orgánica presentes en la solución acuosa se acoplan con los cationes metálicos que liberan los electrodos y forman complejos eficaces de hidróxidos poliméricas y monoméricas (Emerick *et al.*, 2020), por el contrario al tener un pH alcalino las especies poliméricas y monoméricas presentan una baja capacidad de adsorción lo que puede disminuir el rendimiento del proceso de EC (Das *et al.*, 2022), por lo tanto, la variación se debe mantener efectiva con el fin de mejorar el proceso mediante la mejora de capacidad de adsorción de contaminantes de especies coagulantes.

Por otro lado un factor importante influyente en el pH es el material del electrodo, en nuestro estudio los electrodos utilizados fueron de material Ai/Al, al ser acero inoxidable un

material inerte el mecanismo de remoción que ocurre es una reducción electroquímica de la solución acuosa en el cátodo, por lo que el pH tiende a incrementar proporcionando a formar sales básicas bajas en solubilidad y formación de hidróxidos metálicos polivalentes que tienden a precipitar (Soberanía *et al.*, 2011).

3.4. Efecto del voltaje eléctrico

En la tabla 3 se muestra la variación de valores de voltaje aplicado y porcentajes de remoción obtenidos, se observó que mayores proporciones de corriente agregada se aprecia mayores cantidades de remoción de las variables respuesta siendo el porcentaje de remoción más eficiente de turbidez 71.14%, DQO 90.38% y DBO5 88.32% trabajado a un voltaje 30 V, por el contrario al trabajar a un voltaje bajo en su mayoría presentan una remoción menos eficiente; (Kobyra *et al.*, 2006) en su investigación trabajo con efluentes de matadero para la reducción de la DQO y aceites y grasas, trabajo a voltajes de 16, 20 y 24 V, siendo su resultado más eficiente en remoción del 93% en DQO y 98% en aceites y grasas trabajado a un voltaje de 24 V, llego a la conclusión de que al aumentar el voltaje aumenta el porcentaje de remoción; en todos los tratamientos electroquímicos el voltaje es una condición operativa en el proceso global, que influye en el control de velocidad de reacción en la producción de coagulantes (Sandoval & Salazar, 2021), según Bayar *et al.* (2011) al incrementar la corriente se generan mayores cantidades de iones hidroxilos que forman hidróxidos metálicos (coagulantes), del mismo modo en el cátodo se generan gases de hidrogeno, lo que resulta la desestabilización de partículas suspendidas en el medio acuoso que incita un mayor flujo ascendente y hace que la reducción de la materia orgánica sea más rápida (Vasudevan *et al.*, 2013), sin embargo un voltaje eléctrico muy alto puede provocar una sobredosis de coagulante y ocasionar efectos secundarios como reducir la vida útil de los electrodos debido que estos llegan a pasivarse, desperdicio de energía y causar deficiencias en el proceso de la EC (Bani-Melhem *et al.*, 2023), por lo que es importante determinar un voltaje controlado en función a otros parámetros con el que se

pueda relacionar, como el tipo de material y cantidad de electrodos, tiempo de reacción en la celda de EC.

3.5. Efecto de tiempo de retención hidráulica

Otro factor importante en los procesos electroquímicos es el tiempo de operación en el reactor, en este estudio el tiempo de reacción que se le aplicó fue como mínimo 3.67min y máximo 36.33min, la mayor eficiencia de remoción de Turbidez, DQO y DBO₅ se obtuvo a 30 minutos siendo los porcentajes de remoción más eficientes de 71.14%, 90.38%, 88.32% respectivamente demostrando que el aumento en el tiempo de reacción podría aumentar la eficiencia de la remoción de los contaminantes.

Esto se debe a la liberación de iones metálicos y formación de hidroxilos metálicos que cumplen un rol muy importante en la electrocoagulación, los cuales dependen del tiempo para su formación, pues a mayor tiempo, la corrosión de electrodos libera mayor cantidad de iones lo que incrementará la formación de flóculos y se almacenan más especies de coagulante hasta alcanzar una etapa estable (Gomes et al. 2018), así mismo Medel *et al.* (2019) considera que el tiempo de operación debe ser controlado, ya que al prolongar demasiado podría traer efectos secundarios como el desperdicio de la energía suministrada, elevación de temperatura del efluente causando deficiencias en el proceso de EC.

3.6. Análisis estadístico

La tabla 6 corresponde al ANOVA para la remoción de la turbidez, DQO y DBO, contrastan las significancias estadísticas de los factores de operación como el pH(A), Voltaje (B), TRH (C) e interacciones AB, AC, BC, AA, BB y CC en el proceso de la EC. Las pruebas se realizaron con un nivel de confianza del 95% y valor $p < 0,05$ lo cual señala que

el factor provoca una varianza estadísticamente significativa sobre la variable respuesta (Sarabia and Ortiz 2009).

Tabla 6

Análisis de varianza para turbidez, DQO y DBO₅ - EC de efluentes de matadero.

Factor	Remoción de turbidez			Remoción de DQO			Remoción de DBO ₅		
	GI	CM	Valor-P	GI	CM	Valor-P	GI	CM	Valor-P
A: pH	1	122	0.0075	1	82.0175	0.0016	1	81.9	0.0156
B: Voltaje	1	550	5.00E-07	1	671.776	4.80E-07	1	743	8.82E-06
C: TRH	1	594	3.00E-07	1	781.078	2.50E-07	1	1231	1.00E-06
AA	1	5.59	0.4817	1	4.41192	0.3307	1	2.89	0.5896
AB	1	1.8	0.6871	1	17.7763	0.069	1	36.8	0.0773
AC	1	19.4	0.2048	1	0.69826	0.6921	1	0.69	0.7916
BB	1	22.4	0.1761	1	1.61637	0.5491	1	17.1	0.2075
BC	1	24	0.1624	1	53.1551	0.006	1	115	0.0065
CC	1	11.9	0.3119	1	0.44071	0.7526	1	103	0.0088
Bloque	1	201	0.0017	1	121.572	0.0004	1	199	0.0012
Modelo	-	-	5.00E-10	-	-	4.80E-10	-	-	5.00E-10
Error total	9	10.4	-	9	4.17302	-	9	9.25	-
Total (corr.)	19	-	-	19	-	-	19	-	-
Coeficiente de determinación	R2 = 0.968			R2 = 0.9788			R2 = 0.9432		
	R2 (aj.) = 0.9325			R2 (aj.) = 0.9553			R2 (aj.) = 0.8802		

El efecto de pH (A), voltaje (b), TRH (C) para la turbidez presentan valor-P inferior a 0.05 por lo tanto indica que son estadísticamente significativas en el proceso de la EC (Amani-Ghadim et al. 2013), a excepción de las interacciones y R2 superior al 0.80 indicador que el modelo es significativo.

En la remoción de la DQO los factores y la interrelación de voltaje y TRH (BC) tiene efectos estadísticamente significativos al presentar un valor – p inferior a 0.05 y valor de coeficiente de determinación $r^2 = 0.988$ y r^2 ajustado = 0.9553 (Ahmadzadeh et al. 2017).

Para la remoción de la DBO₅, todos los factores y las interrelaciones de voltaje - TRH (BC) y Voltaje – Voltaje (CC) tienen valor – p menores a 0.05 con valor de coeficiente de determinación $r^2 = 0.968$ y r^2 ajustado = 0.9325 siendo el modelo estadísticamente significativo, además se observa que los bloques también evidencian un efecto debido a los días (Supriya et al. 2023).

3.7. Ajuste de superficie respuesta

Empleando el diseño central compuesto se determinaron parámetros significativos de las eficiencias en eliminación de turbidez, DQO y DBO, para desarrollar una respuesta, al evaluar la respuesta de los tratamientos, los modelos de regresión cuadrática se presentan en las ecuaciones **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para y_1 , y_2 y y_3 .

- El coeficiente asociado a la variable "pH" es (-3.0238). Esto indica que un aumento en el valor de "pH" conducirá a una disminución en el valor predicho de " y_1 ". Por ejemplo, si incrementamos el pH, esperaríamos una disminución en el valor predicho de " y_1 ".
- El coeficiente asociado a la variable "voltaje" es positivo (6.4219). Esto significa que un aumento en el valor de "voltaje" resultará en un aumento en el valor predicho de " y_1 ". Por lo tanto, si aumentamos el voltaje, esperaríamos ver un aumento en el valor predicho de " y_1 ".
- El coeficiente asociado a la interacción entre "pH" y "voltaje" es (-0.4739). Esto indica que el efecto combinado de un aumento en "pH" y "voltaje" resultará en una

disminución en el valor predicho de "y₁". Si ambos "pH" y "voltaje" aumentan, el valor predicho de "y₁" disminuirá.

$$\begin{aligned}
 y_1 = & 68.8914 + \text{bloque} * 6.4669 + \text{pH} * -3.0238 + \text{voltaje} * 6.4219 + \text{TRH} & (4) \\
 & * 6.6746 + \text{pH} * \text{voltaje} * -0.4739 + \text{pH} * \text{TRH} * -1.5571 \\
 & + \text{voltaje} * \text{TRH} * 1.7335 + \text{pH}^2 * -0.5779 + \text{voltaje}^2 \\
 & * -1.3017 + \text{TRH}^2 * -0.9498
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_2 = & 65.4472 + \text{bloque} * 5.0326 + \text{pH} * -2.4802 + \text{voltaje} * 7.0981 + \text{TRH} & (5) \\
 & * 7.6538 + \text{pH} * \text{voltaje} * -1.4906 + \text{pH} * \text{TRH} * 0.2954 \\
 & + \text{voltaje} * \text{TRH} * 2.5776 + \text{pH}^2 * -0.5779 + \text{voltaje}^2 * 0.3498 \\
 & + \text{TRH}^2 * -0.18267
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_3 = & 64.1179 + \text{bloque} * 6.4334 + \text{pH} * -2.4779 + \text{voltaje} * 7.4658 + \text{TRH} & (6) \\
 & * 9.6077 + \text{pH} * \text{voltaje} * -2.1437 + \text{pH} * \text{TRH} * -0.2926 \\
 & + \text{voltaje} * \text{TRH} * 3.7845 + \text{pH}^2 * -0.4680 + \text{voltaje}^2 \\
 & * -1.1364 + \text{TRH}^2 * -2.7872
 \end{aligned}$$

El porcentaje de remoción de turbidez, DQO y DBO fue evaluado en función a la interacción de las variables independientes. Los efectos de las variables analizadas se muestran en las Figuras 3, 4 y 5 utilizando la RSM.

Se observó un aumento en la eficiencia de eliminación de las variables respuesta al elevar el voltaje y el TRH como muestra la Figura 3, de manera análoga la Figura 4 y 5 que a valores de pH ligeramente ácidos también se tienen remociones significativas.

Figura 4

Superficie respuesta para la remoción de la turbidez.

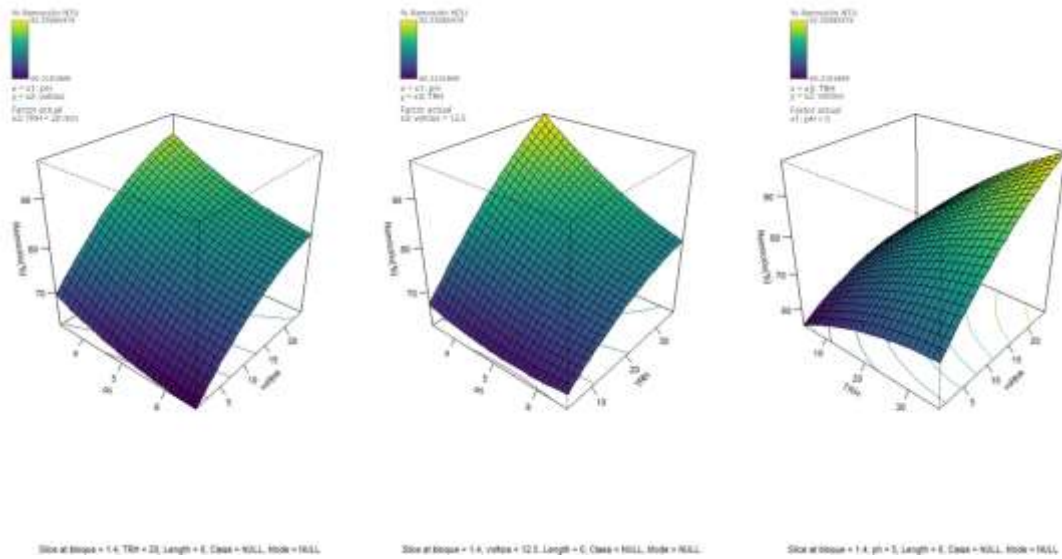


Figura 5

Superficie respuesta para la remoción de la DQO.

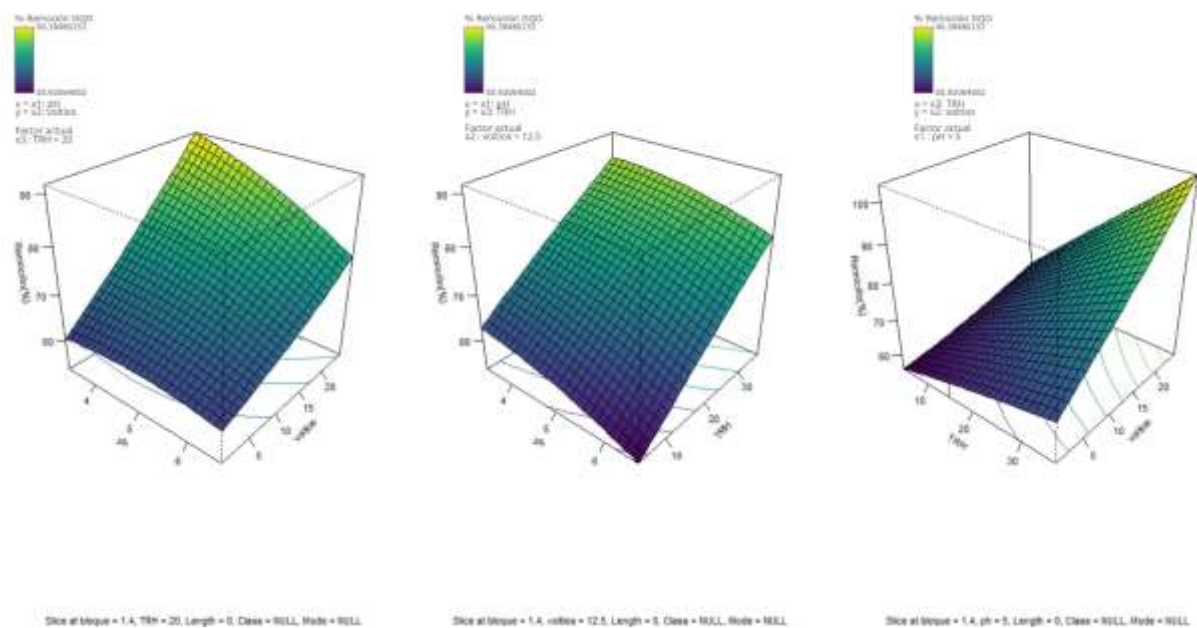
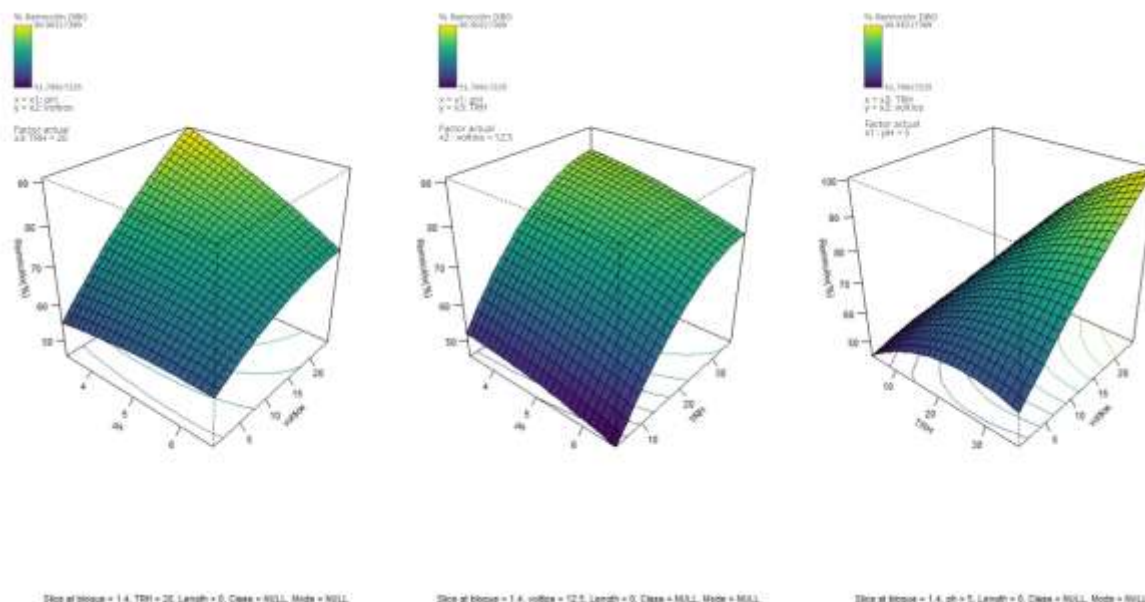


Figura 6

Superficie respuesta para la remoción de la DBO₅.



4. CONCLUSIONES

En este estudio se aplicó el sistema de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales de matadero con previo tratamiento por aireación, con la finalidad de remover la turbidez, DQO y DBO₅, los factores operativos del proceso a fueron pH, voltaje y TRH, utilizando electrodos de Al/Al; se llevaron a cabo 20 experimentos que se diseñaron por el modelo superficie respuesta.

El mejor tratamiento de los efluentes de matadero se obtuvo a condiciones de pH: 4, Voltaje: 20V y TRH: 30min, se logró registrar el valor mínimo de turbidez: 71.14 mg/L, DQO: 166.01 mg/L y DBO₅: 81.88 mg/L representando el porcentaje de remoción de 92.55%, 90.38% y 88.32%, respectivamente.

El ANOVA de acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas experimentales permitió validar el modelo como significativo, al determinar valor de coeficiente ($R^2 > 0.80$) en todos los parámetros; durante el proceso de EC los factores tuvieron un gran impacto, se observó que a pH ligeramente ácidos se obtuvieron altas tasas de remoción, por otro lado, a medida se incrementaba el voltaje y TRH también aumentaba la eficiencia en el tratamiento.

En general modelo superficie respuesta demostró ser una herramienta valiosa para optimizar las condiciones operativas óptimas para obtener las mayores tasas de remoción de turbidez, DQO y DBO_5 en el tratamiento de aguas residuales de matadero por medio del proceso de electrocoagulación.

5. REFERENCIAS

- Ahmadzadeh, S., Asadipour, A., Pournamdari, M., Behnam, B., Rahimi, H. R., & Dolatabadi, M. (2017). Removal of ciprofloxacin from hospital wastewater using electrocoagulation technique by aluminum electrode: Optimization and modelling through response surface methodology. *Process Safety and Environmental Protection*, 109, 538–547. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.04.026>
- Amani-Ghadim, A. R., Aber, S., Olad, A., & Ashassi-Sorkhabi, H. (2013). Optimization of electrocoagulation process for removal of an azo dye using response surface methodology and investigation on the occurrence of destructive side reactions. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 64, 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2012.10.012>
- Baird, R., Bridgewater, L., Association., A. P. H., Association., A. W. W., & Federation., W. E. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). Washington, D.C. : American Public Health Association 2017. <https://cmc.marmot.org/Record/.b57522091>
- Bani-Melhem, K., Elektorowicz, M., Tawalbeh, M., Al Bsoul, A., El Gendy, A., Kamyab, H., & Yusuf, M. (2023). Integrating of electrocoagulation process with submerged membrane bioreactor for wastewater treatment under low voltage gradients. *Chemosphere*, 339, 139693. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139693>
- Bayar, S., Yildiz, Y. S., Yilmaz, A. E., & Irdemez, S. (2011). The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method. *Desalination*, 280(1–3), 103–107. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.06.061>
- Becerra-Gutiérrez, L. K., Horna-Acevedo, M. V., & Barrionuevo-Albújar, K. I. (2014). Nivel de contaminación en los efluentes provenientes de camales de la región la libertad. *Level of Pollution of Effluent from Theslaughterhouses in the Region La Libertad.*, 7(3), 23–26. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=116301041&lang=es&site=ehost-live>
- Boinpally, S., Kolla, A., Kainthola, J., Kodali, R., & Vemuri, J. (2023). A state-of-the-art review of the electrocoagulation technology for wastewater treatment. *Water Cycle*, 4(January), 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2023.01.001>
- Burkhart, K., Bernhardt, C., Pelton, T., Schaeffer, E., & Phillips, A. (2018). Water Pollution from Slaughterhouses. *Environmental Integrity Project*, 1–36. <https://environmentalintegrity.org/reports/water-pollution-from-slaughterhouses/>

- Carrasquero Ferrer, S. J., Marquina Gélvez, D. C., Marquina Gélvez, D. C., Soto López, J. G., Vilorio Rincón, S., Pire Sierra, M. C., Díaz Montiel, A. R., Vilorio Rincón, S., Pire Sierra, M. C., & Díaz Montiel, A. R. (2015). Remoción de nutrientes en aguas residuales de un matadero de reses usando un reactor biológico secuencial. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 43. <https://doi.org/10.18359/rcin.1431>
- Cúrvulo Santana, J. C., de Araújo, S. A., M. Biazus, J. P., & de Souza, R. R. (2015). Simulación del proceso de biodegradación de aguas residuales de la industria de carne mediante una red neuronal artificial perceptrón multicapa. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 23(2), 269–275. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052015000200011>
- Das, P. P., Sharma, M., & Purkait, M. K. (2022). Recent progress on electrocoagulation process for wastewater treatment : A review. *Separation and Purification Technology*, 292(March), 121058. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121058>
- Ding, J., Wang, K., Wang, S., Zhao, Q., Wei, L., Huang, H., Yuan, Y., & Dionysiou, D. D. (2018). Electrochemical treatment of bio-treated landfill leachate: Influence of electrode arrangement, potential, and characteristics. *Chemical Engineering Journal*, 344(December 2017), 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.03.043>
- Emerick, T., Vieira, J. L., Silveira, M. H. L., & João, J. J. (2020). Journal of Environmental Chemical Engineering Ultrasound-assisted electrocoagulation process applied to the treatment and reuse of swine slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6), 104308. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104308>
- Eric, K., Rodrigue, A., Donatien, A., Dayal, R., & Drogui, P. (2022). Coupling anaerobic digestion process and electrocoagulation using iron and aluminium electrodes for slaughterhouse wastewater treatment. *Scientific African*, 16, e01238. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01238>
- García-Segura, S., Eiband, M. M. S. G., de Melo, J. V., & Martínez-Huitle, C. A. (2017). Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 801(November 2016), 267–299. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.07.047>
- Garg, K. K., & Prasad, B. (2016). Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers Treatment of multicomponent aqueous solution of purified terephthalic acid wastewater by electrocoagulation process : Optimization of process and analysis of sludge. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60(October 2015), 383–393. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.10.038>
- Gatsios, E., Hahladakis, J. N., & Gidarakos, E. (2015). Optimization of electrocoagulation (EC) process for the purification of a real industrial wastewater from toxic metals.

- Journal of Environmental Management*, 154, 117–127.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.02.018>
- Gomes, A. J. G., Atambo, D. O., Das, K. K., Cocke, D. L., & Das, K. P. (2018). Electrochemical remediation of chicken processing plant wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(5), 6028–6036.
<https://doi.org/10.1016/J.JECE.2018.09.039>
- Hasani, G., Maleki, A., Daraei, H., Ghanbari, R., & Safari, M. (2019). A comparative optimization and performance analysis of four different electrocoagulation-flotation processes for humic acid removal from aqueous solutions. *Process Safety and Environmental Protection*, 121, 103–117. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.10.025>
- Ilhan, F., Kurt, U., Apaydin, O., & Gonullu, M. T. (2008). Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1–3), 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.035>
- Indriani, Harris, M., & Agoes, A. S. (2021). Applying Hand Gesture Recognition for User Guide Application Using MediaPipe. *Proceedings of the 2nd International Seminar of Science and Applied Technology*, 207(Issat), 101–108.
<https://doi.org/10.2991/aer.k.211106.017>
- Kobyas, M., Senturk, E., & Bayramoglu, M. (2006). Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 133(1–3), 172–176. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.10.007>
- McBeath, S. T., Nouri-Khorasani, A., Mohseni, M., & Wilkinson, D. P. (2020). In-situ determination of current density distribution and fluid modeling of an electrocoagulation process and its effects on natural organic matter removal for drinking water treatment. *Water Research*, 171, 115404.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115404>
- Medel, A., Ramírez, J. A., Cárdenas, J., Sirés, I., & Meas, Y. (2019). Evaluating the electrochemical and photoelectrochemical production of hydroxyl radical during electrocoagulation process. *Separation and Purification Technology*, 208, 59–67.
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.05.021>
- Mhatre, S., Vivacqua, V., Ghadiri, M., Abdullah, A. M., Hassanpour, A., Hewakandamby, B., Azzopardi, B., & Kermani, B. (2015). Electrostatic phase separation : A review. *Chemical Engineering Research and Design*, 96(February 2015), 177–195.
<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.02.012>
- Morón, G. R., Mario, I., Veizaga, J., Miguel, L., Quiroga, B., Mario, I., Veizaga, J., Janneth, I., Ph, G., Moreno, G. R., Ángel, M., & Zeballos, Q. (2019). Efecto de la electrocoagulación en la biodegradabilidad de efluentes industriales mezclados

- Effect of electrocoagulation in the biodegradability of mixed industrial effluents. *Bolivia Tecnociencia Universitaria*, 1(14), 3–16.
- Moussavi, M., Pendashteh, A., & Alinia, H. (2021). Treatment of a natural gas refinery effluents by electrocoagulation. *Environmental Challenges*, 3(January), 100036. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100036>
- Muñoz, D. (2005). SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE MATADERO : PARA UNA POBLACIÓN MENOR 2000 HABITANTES. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 3(Marzo 2005), 87–98. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117975>
- Murugananthan, M., Bhaskar Raju, G., & Prabhakar, S. (2004). Removal of sulfide, sulfate and sulfite ions by electro coagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 109(1–3), 37–44. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2003.12.009>
- Quille, G., & Donaires, T. (2013). Tratamiento de efluentes líquidos y sólidos de camal municipal de Ilave. *Revista Investigacion Altoandina*, 15(1), 65–72. <https://docplayer.es/49416379-Tratamiento-de-efluentes-liquidos-y-solidos-de-camal-municipal-ilave.html>
- Ruiz Martín, A. M. (2019). *Estudio de la problemática de las aguas residuales de un matadero: opciones tecnológicas* [Universidad Politécnica de Cartagena]. <http://hdl.handle.net/10317/9346%0Ahttps://repositorio.upct.es/handle/10317/9346>
- Salas, G., & Condorhuamán, C. c. (2008). Tratamiento De Las Aguas Residuales De Un Centro De Beneficio O Matadero De Ganado. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 11(1), 29–35.
- Sandoval, M. A., & Salazar, R. (2021). Electrochemical treatment of slaughterhouse and dairy wastewater: Toward making a sustainable process. *Current Opinion in Electrochemistry*, 26, 100662. <https://doi.org/10.1016/J.COEELEC.2020.100662>
- Sarabia, L. A., & Ortiz, M. C. (2009). Response Surface Methodology. In *Comprehensive Chemometrics* (Vol. 1, pp. 345–390). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044452701-1.00083-1>
- Sivakumar, D., Shankar, D., & Mohana, M. (2017). Removal of Toc and Cod From Municipal Solid Waste Leachate Using Aluminium Electrode in Electrocoagulation. *International Research Journal of Multidisciplinary Science & Technology*, 02(April 2017), 11–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.035>
- Soberania, P., Dominguez, M., Ramirez, G., Garcia, P., Lara, G., & Espinoza, G. (2011). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10(2), 257–271.
- Supriya, V., Sowjanya, B., Kiran Kumar, D., Poiba, V. R., & Vangalapati, M. (2023). Modelling and optimization of nitrates adsorbed on iron plate electrodes by

- electrocoagulation process analyzed by response surface methodology. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.154>
- Uğurlu, M., Gürses, A., Doğar, Ç., & Yalçın, M. (2008). The removal of lignin and phenol from paper mill effluents by electrocoagulation. *Journal of Environmental Management*, 87(3), 420–428. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2007.01.007>
- Vasudevan, S., Lakshmi, J., & Sozhan, G. (2013). Electrochemically assisted coagulation for the removal of boron from water using zinc anode. *Desalination*, 310, 122–129. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2012.01.016>
- Wang, H., Qi, T., Qiao, X., Li, X., Ding, S., & Liu, Y. (2023). Method for ensuring the safety and effectiveness of wastewater treatment under centralized treatment mode by using a petrochemical park as case study. *Journal of Water Process Engineering*, 56(September), 104421. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104421>
- Widarti, S., & Raharjo, A. H. (2021). Initial pH Influence on Organic Pollutants, Total Suspended Solids, and Nickel Removal from Citarum River Water Using Electrocoagulation. *Proceedings of the 2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2021)*, 207(Issat), 93–100. <https://doi.org/10.2991/aer.k.211106.016>
- Yavuz, Y., & Ögütveren, B. (2018). Treatment of industrial estate wastewater by the application of electrocoagulation process using iron electrodes. *Journal of Environmental Management*, 207, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.034>

6. ANEXOS

Anexo A

Copia de la inscripción de perfil.



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0251-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 30 de mayo de 2023

VISTO:

El expediente de **Yolissa Chile Llanque**, identificado(a) con Código Universitario N° 201710738 y **Liz Keissy Bravo Ramírez**, identificado(a) con Código Universitario N° 201812068, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Yolissa Chile Llanque** y **Liz Keissy Bravo Ramírez**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Remoción de materia orgánica presentes en las aguas residuales de un matadero mediante la electrocoagulación" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 30 de mayo de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Remoción de materia orgánica presentes en las aguas residuales de un matadero mediante la electrocoagulación**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **MSc. Rose Adeline Callata Chrua** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Ing. Enrique Mamani Cuela** y **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

cc:
-Interesado
-Asesor
-Dirección General de Investigación
-Archivo

Anexo B

Sumisión del artículo a la revista *Tecnología y Ciencias del agua*.



Jiutepec, Morelos, a 19 de diciembre de 2023

LIZ KEISSY BRAVO RAMIREZ
YOLISSA CHILE LLANQUE
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN, PERÚ
P R E S E N T E

Con esta fecha recibimos en nuestra redacción su trabajo "Remoción de materia orgánica presentes en las aguas residuales de un matadero mediante la electrocoagulación" y la carta de originalidad respectiva.

Apreciamos su colaboración. De acuerdo con la Política Editorial de *Tecnología y ciencias del agua*, su texto será sometido a un proceso de revisión del cual les estaremos informando.

Sin más por el momento, les reitero nuestro agradecimiento por habernos distinguido con su confianza.

ATENTAMENTE
LA COORDINADORA EDITORIAL



LIC. HELENA RIVAS LÓPEZ

Plano Cuernavaca 8533, Progreso, 62500 Jiutepec, Morelos, México. Teléfono: + (52) (777) 329 3820, exts. 532 y 625, fax: 329 3670 y 329 2881. Coordinación editorial y proceso de edición: scia@imta.mx, suscripciones: comercial@imta.mx. Registrada en Thomson Reuters Science Citation Index® (SCI) • Registrada Thomson Reuters Research Alert® (RA) • Índice de Estudios Científicos de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT) (2013-2018) • BSC20 (Fuente Académica Premier WOS) (Geotitles, como Article, Geotitles and Fulltext Resources) • ProQuest (Cambridge Scientific Abstracts) • Elsevier (Full Abstract, Process Engineering, Full Abstract, Civil Engineering) • CAS Abstracts, CAS International • Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal), Universidad Nacional Autónoma de México • Periódica (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias), Universidad Nacional Autónoma de México • Catálogo HEN (Herencia Latinoamericana), Universidad Nacional Autónoma de México • Actualidad Interconexión, CIT-IE, Instituto Benemérito de Información en Ciencias y Tecnología • Sistema de Información Científica Redalyc, Universidad Autónoma del Estado de México. Otras fuentes: también puede encontrarse su nombre en Google académico.

Revista *Tecnología y Ciencias del Agua* No. 8333, Cód. Progreso: CP 62580, Jiutepec, Morelos.
Tel. (777) 329 30 09 www.guaa.mx/mo



Anexo C

Formato de ubicación del punto de monitoreo.

UBICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO			
Nombre del Municipio:			
Nombre del canal:			
Ubicación del canal:			
Localidad:	Distrito:	Provincia:	Departamento:
IDENTIFICACION DEL PUNTO DE MONITOREO - EFLUENTE			
Denominación del punto de muestreo (efluente)			
Coordenadas U.T.M. WGS 84			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
Datos del GPS (Marca, modelo, número de serie, precisión del equipo)			
REGISTRO DE DATOS DE CAMPO			
Efluente			
Fecha	Hora	pH	Temperatura

Anexo D

Formato de rotulo de muestras de agua residual.

ROTULO DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL

Nombre del lugar de muestreo						
Denominación del punto de monitoreo:						
N° de muestras:						
Fecha:				Hora:		
Ensayo físico -químicos:		NTU	°C	pH	SST	
		CE	DBO5	DQO	A y G	
Otros parámetros:						
Preservación:						
Operador del muestreo:						

