



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**ELECTROCOAGULACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN EL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL**

AUTORES:

**BRYAN ASDRÚBAL INTRIAGO TERÁN
WENDY DEL ROCÍO VERGARA ARBOLEDA**

TUTOR:

ING. CARLOS LUIS BANCHÓN BAJAÑA, M.SC.

CALCETA, FEBRERO DE 2024

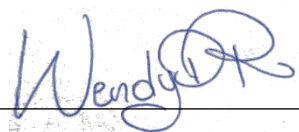
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Bryan Asdrúbal Intriago Terán, con cédula de ciudadanía 131506854-2 y Wendy Del Rocío Vergara Arboleda con cédula de ciudadanía 092296226-1, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **ELECTROCOAGULACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



**BRYAN ASDRÚBAL INTRIAGO
TERÁN
CC: 131506854-2**



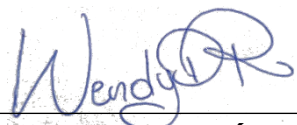
**WENDY DEL ROCÍO VERGARA
ARBOLEDA
CC: 092296226-1**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo Bryan Asdrúbal Intriago Terán, con cédula de ciudadanía 131506854-2 y Wendy Del Rocío Vergara Arboleda con cédula de ciudadanía 092296226-1, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **ELECTROCOAGULACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



**BRYAN ASDRÚBAL INTRIAGO
TERÁN**
CC: 131506854-2



**WENDY DEL ROCÍO VERGARA
ARBOLEDA**
CC: 092296226-1

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Carlos Luis Banchón Bajaña, M.Sc., certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **ELECTROCOAGULACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL**, que ha sido desarrollado por Bryan Asdrúbal Intriago Terán y Wendy Del Rocío Vergara Arboleda, previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Carlos Luis Banchón Bajaña, M.Sc.

CC:091805918-9

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **ELECTROCOAGULACIÓN PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL**, que ha sido desarrollado por Bryan Asdrúbal Intriago Terán y Wendy Del Rocío Vergara Arboleda, previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

MG. JOSÉ MIGUEL GILER MOLINA

CC:131065676-2

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

**MG. JOFRE ANDRADE
CANDELL**

CC:131165139-0

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

**MG. ADRIANA VERGARA
AUQUILLA**

CC:171451630-7

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, queremos expresar nuestro profundo agradecimiento por brindarnos la oportunidad de crecer como seres humanos a través de una educación superior de calidad. Durante este tiempo en esta institución, hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día, y estamos verdaderamente agradecidos por ello.

A nuestros padres y hermanos, queremos expresar nuestra gratitud sincera por su apoyo inmutable, tanto en términos económicos como emocionales. Gracias a su respaldo, hemos podido culminar nuestros estudios y perseguir nuestros sueños de convertirnos en Ingenieros Ambientales de la República del Ecuador. Su sacrificio y confianza en nosotros no tienen precio, y les estamos eternamente agradecidos.

Queremos dedicar un agradecimiento especial a nuestro tutor, el Ing. Carlos Luis Banchón Bajaña M.Sc., por su apoyo constante y su orientación invaluable. Su guía y mentoría fueron fundamentales para culminar nuestro trabajo de Integración Curricular con éxito. Además, él ha sido un referente en nuestras vidas profesionales, inspirándonos a alcanzar nuestro potencial y excelencia en el campo de la Ingeniería.

A todos ustedes, nuestro más sincero agradecimiento por haber sido parte fundamental de este importante capítulo de nuestra vida académica y profesional. Sus contribuciones y apoyo han sido invaluable, y estamos ansiosos por expresar nuestros conocimientos al futuro que nos espera.

**BRYAN ASDRÚBAL
INTRIAGO TERÁN Y
VERGARA ARBOLEDA
WENDY DEL ROCÍO**

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi amada familia, cuyo amor inquebrantable, apoyo incondicional y paciencia infinita me han sostenido a lo largo de este viaje académico. Sin ustedes, nada de esto habría sido posible.

También dedico este trabajo a mi tutor de tesis, el Ing. Carlos Luis Banchón Bajaña M.Sc., cuya orientación experta, sabiduría y dedicación incansable han sido fundamentales en mi desarrollo académico. Gracias por compartir tu conocimiento y por ser un faro de inspiración.

Este logro es suyo como mío, y estoy profundamente agradecido por todo lo que han hecho por mí.

Con cariño y gratitud,

BRYAN ASDRÚBAL

INTRIAGO TERÁN

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con profundo amor y gratitud. A Dios, fuente de inspiración y fortaleza, te dedico este logro. Tu gracia y guía inquebrantable han sido mi luz en los momentos más oscuros.

A la memoria de mi amado hermano Elkyn Francisco Vergara Arboleda, cuya luz y amor siempre han sido una fuente de inspiración en mi vida. A pesar de su partida temprana, su espíritu perdura en mi corazón y me ha dado la fuerza para llevar a cabo este trabajo.

A mi familia, mis padres Heidy Arboleda y Marcelino Vergara, mi hermano Marcelo Vergara Arboleda cuyo apoyo incondicional y amor han sido mi ancla en esta travesía. Este logro es tan suyo como mío.

A mi tutor, el Ing. Carlos Luis Banchón Bajaña M.Sc., por su orientación, paciencia y sabios consejos a lo largo de este proceso. Su guía me ha llevado a alcanzar este hito académico.

Que esta tesis sea un testimonio de mi gratitud hacia todos ustedes y un reflejo de la fe, el amor y el apoyo que han dado forma a mi camino.

**WENDY DEL ROCÍO
VERGARA ARBOLEDA**

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
CONTENIDO GENERAL.....	ix
CONTENIDO DE TABLAS.....	xi
CONTENIDO DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
PALABRAS CLAVE	xiii
ABSTRACT.....	xiv
KEY WORDS.....	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.4. HIPÓTESIS.....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. AGUAS RESIDUALES.....	7
2.1.1. AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	7
2.1.2. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.....	7
2.1.3. AGUAS RESIDUALES PORCINAS.....	8
2.2. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES	8
2.2.1. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES FÍSICOS.....	8
2.2.2. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES QUÍMICOS	9
2.3. TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	9
2.3.1. ELECTROCOAGULACIÓN	10

2.3.2.	MEMBRANAS	13
2.3.3.	SISTEMA DE LAGUNAJE	13
2.3.4.	HUMEDALES ARTIFICIALES	14
2.3.5.	ÓSMOSIS INVERSA	14
2.3.6.	LODOS ACTIVADOS	14
2.4.	AFECTACIÓN A LA BIODIVERSIDAD.....	15
2.4.1.	ESPECIES ACUÁTICAS AFECTADAS	15
2.4.2.	ESPECIES TERRESTRES AFECTADAS.....	15
2.5.	GESTIÓN AMBIENTAL.....	16
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....		17
3.1.	UBICACIÓN.....	17
3.2.	DURACIÓN.....	17
3.3.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	17
3.3.1.	MÉTODO.....	18
3.3.2.	TÉCNICAS	18
3.4.	UNIDAD EXPERIMENTAL.....	19
3.5.	FACTOR DE ESTUDIO.....	19
3.6.	TRATAMIENTOS.....	19
3.7.	VARIABLES A MEDIR	20
3.7.1.	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	20
3.7.2.	VARIABLES DEPENDIENTES	20
3.8.	MANEJO DEL EXPERIMENTO	21
3.8.1	FASE I: CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE PROVENIENTE DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.	21
3.8.2	FASE II: ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN EL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.....	23
3.8.3.	FASE III: REALIZACIÓN DE LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE LA ELECTROCOAGULACIÓN EN EL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.	24
3.9.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	25
3.9.1.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	26

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1. FASE I: CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE PROVENIENTE DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.	27
4.2. FASE II: ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN EL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.....	29
4.3. FASE III: REALIZACIÓN DE LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE LA ELECTROCOAGULACIÓN EN EL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL..	42
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	47
ANEXOS.....	73

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 3.2. Variables de diseño y sus niveles de estudio.	26
Tabla 3.3. Análisis de varianza	26
Tabla 4.1 Parámetros de mayor influencia en el agua residual.	27
Tabla 4.2 Parámetros evaluados mediante la electrocoagulación.	31
Tabla 4.3 Datos de variación de pH.....	33
Tabla 4.4 Datos de variación de conductividad eléctrica.....	34
Tabla 4.5 Datos de variación de turbidez.....	36
Tabla 4.6 Datos de variación de color.....	38
Tabla 4.7. Valoración económica del tratamiento.....	42
Tabla 4.8. Datos comparativos de distintos estudios.....	44

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama esquemático de una celda de electrocoagulación de dos electrodos	12
Figura 3.1 Ubicación geográfica del área de estudio	17
Figura 4.1 Variación de pH en el tiempo.....	33
Figura 4.2. Variación Cond. Eléctrica	35
Figura 4.3. Variación de Turbidez.....	37
Figura 4.4. Variación de Color.....	39

Figura 4.5. Porcentaje de remoción de turbidez	40
Figura.4.6. Porcentaje de remoción de color	41

RESUMEN

La investigación que se presenta se centra en la evaluación de la electrocoagulación como método de clarificación de las aguas residuales procedentes del hato porcino de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. El objetivo de la presente investigación es reducir la contaminación presente en estas aguas residuales mediante la implementación de un sistema de electrocoagulación que consta de un convertidor de corriente, una cuba de vidrio de 20 litros y dos series de electrodos compuestos de hierro (Fe) y aluminio (Al). Estos electrodos son sometidos a corrientes de 7 A y 15 A durante periodos estimados de 30 y 120 minutos, respectivamente. Los resultados obtenidos indican que el sistema más eficiente para la eliminación de turbidez y color fue aquel que empleó electrodos de aluminio durante 120 minutos, logrando una remoción del 96% para ambos parámetros y alcanzando un pH final de 7,6. Desde la perspectiva económica, se determinó que la inversión inicial en esta tecnología ascendió a 460,91 USD. No obstante, dado que el tratamiento se llevó a cabo durante 12 días, con una duración diaria de 120 minutos y utilizando una muestra de 20 litros, el costo de la energía eléctrica no resultó prohibitivamente elevado en este contexto específico. El análisis económico establece que el costo energético por metro cúbico de agua residual tratada fue de 2,40 USD, lo que respalda la viabilidad económica de esta tecnología en esta aplicación concreta.

PALABRAS CLAVE

Valoración económica, efluente, turbidez, electrodos.

ABSTRACT

The research presented here focuses on the evaluation of electrocoagulation as a method for clarification of wastewater from the pig herd of the Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. The objective is to reduce the contamination present in this wastewater by implementing an electrocoagulation system consisting of a current converter, a 20-liter glass tank and two series of electrodes composed of iron (Fe) and aluminum (Al). These electrodes are subjected to currents of 7 A and 15 A for estimated periods of 30 and 120 minutes, respectively. The results obtained indicate that the most efficient system for the elimination of turbidity and color was the one that used aluminum electrodes for 120 minutes, achieving a removal of 96% for both parameters and reaching a final pH of 7.6. From an economic perspective, it was determined that the initial investment in this technology amounted to US\$460.91. However, given that the treatment was carried out for 12 days, with a daily duration of 120 minutes and using a 20-liter sample, the cost of electrical energy was not prohibitively high in this specific context. The economic analysis establishes that the energy cost per cubic meter of treated wastewater was USD 2.40, which supports the economic feasibility of this technology in this specific application.

KEY WORDS

Economic assessment, effluent, turbidity, electrodes

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El agua residual es de gran preocupación debido a la contaminación de los recursos naturales y extinción de especies acuáticas (Abessa y Ambrozevicius, 2020; Sanchez, 2010). En el continente africano, éste es un problema del diario vivir ya que los tratamientos de aguas residuales son poco eficientes o nulos (Silva et al., 2011). En Senegal, el medio marino costero también sufre una contaminación permanente debido a la sobrepoblación e industrialización (Madrid, 2021; Pardo y Murillo, 2017). En las playas de Mbao, Hann y Soumbédioune la acumulación de empresas grandes y pequeñas que no brindan tratamiento a sus aguas residuales han desencadenado altos contenidos de nitratos y fosfatos en el agua provocando la muerte de innumerables especies acuáticas (Torrens et al., 2020; Toure y Casals, 2013).

Por otro lado, en Adakpamé, se ha demostrado que el agua tanto de pozos abiertos como entubados contienen gran cantidad gérmenes; de acuerdo con estudios realizados, se identificó que el mal manejo de residuos sólidos, líquidos y lodos fecales son los principales factores de contaminación de aguas subterráneas (Kebe et al., 2021; Ward et al., 2019).

América Latina no es la excepción con el problema de las aguas residuales debido a sus pobres tratamientos. En Paraguay, en la ciudad de Asunción, el crecimiento de la población hace que grandes cantidades de aguas residuales fluyan hacia el río Paraguay, afectando el uso del agua ya que se alteran los niveles de oxígeno disuelto, sólidos, microorganismos, entre otros (Abessa y Ambrozevicius, 2020; Martínez et al., 2016).

Además, los derivados de hidrocarburos descargados por gasolineras, los productos como pesticidas y plaguicidas, los residuos de industria, detergentes y demás contaminantes han hecho que el río se convierta en un cuerpo de agua muy contaminado exterminando la mayor parte de vida acuática de la zona y enfermando a las poblaciones cercanas (Bernal et al., 2022; Cañete, 2019).

Informes del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA2012) indica que para el 2025 habrá unos 7.200 millones de personas

en el mundo, y cerca de dos tercios se concentrarán en las ciudades. Aunque la urbanización no es un problema en sí mismo, el crecimiento mal planificado suele generar problemas ambientales como el agotamiento de los recursos agua, aire y suelo y la contaminación por el vertido y manejo inadecuado de los desechos líquidos y sólidos resultantes (Bejarano y Carvajal, 2015; Rodríguez et al., 2010).

Los países en desarrollo generalmente están ubicados en climas tropicales y subtropicales y tienen los niveles más bajos de recolección y tratamiento adecuado de aguas residuales "AR" (Rout et al., 2021; Widyanani et al., 2022). Debido a los efectos ambientales y de salud, el tratamiento de AR está recibiendo más atención por parte de entidades como el Banco Mundial, los gobiernos y las agencias reguladoras (Meoño et al., 2015; Torres, 2012). Por otro lado, el potencial de aplicación de las aguas residuales tratadas se encuentra principalmente en áreas con escasez de agua (Sanchez, 2010; Silva et al., 2011).

En Ecuador, la calidad del agua es afectada y modificada por las actividades antropogénicas desarrolladas cerca de los sistemas fluviales como, ríos, lagos, entre otros, provocando un impacto negativo en la salud humana y en los ecosistemas (Benítez et al., 2019; Pauta et al., 2019). Apenas un 61,9% de los municipios tratan las aguas residuales que producen: La región Sierra concentra el 49,9% de esa cobertura, y las zonas rurales de la región tienen una gama de tratamientos que no han sido analizados desde una perspectiva ambiental, económica o social (Mejía et al., 2017; Morillo et al., 2019).

En la provincia de Manabí se han contaminado importantes ríos, como el río Burro del cantón Manta, el cual se encuentra contaminado en su mayoría por aguas residuales domésticas (Municipio de Manta, 2021). La contaminación de los recursos hídricos con vertido de sustancias químicas, orgánicas e industriales ocasionan cambios en las características físicas, químicas y biológicas del agua alterando el equilibrio ambiental lo que afecta de manera directa a las personas (Marín et al., 2015; Ramalho, 2021; Sánchez et al., 2018).

El cantón Bolívar es una pequeña zona de la provincia de Manabí, que no está exenta de problemas de contaminación en sus diversas áreas, la industria

porcina tiene impactos negativos en el aire, el agua y el suelo, principalmente debido a la contaminación de las aguas residuales porcinas tratadas inadecuadamente, o sin ningún tratamiento (Pacco et al., 2018; Sandoval et al., 2020). Es habitual en las granjas la observación de un exceso de animales en áreas reducidas, lo que impide que el suelo absorba la gran cantidad de residuos que producen, lo que plantea serios problemas para su gestión (L. Cruz et al., 2018; Valdez et al., 2022). Alrededor del 82% del agua que ingresa a las granjas sale en forma de aguas residuales, junto con heces, orina, alimentos desechados y otros materiales que se descargan por los desagües (Sánchez et al., 2020; Yumbo et al., 2018).

En el hato porcino ESPAM MFL, la baja profundidad del nivel freático y el tratamiento inadecuado del agua residual hacen que esta ingrese a los acuíferos en un período de tiempo relativamente corto, contaminando las fuentes de agua y representando una grave amenaza para la salud pública (González et al., 2019; Jiménez, 2021). Por otro lado, estos residuos suelen ser arrojados a terrenos más bajos o incluso directamente al pozo, lo que crea serios problemas de contaminación de bacterias coliformes y nitratos en el suelo y los acuíferos (Cedeño et al., 2020; Guerra et al., 2016).

Todo lo anteriormente expuesto refieren principales causas de la contaminación a causa del escaso tratamiento de aguas residuales. En especial, es objeto del presente estudio el hato porcino de la ESPAM MFL puesto que se ha evidenciado descargas directas de las aguas a los sistemas hídricos. La falta de tratamiento adecuado a esta descarga es de alta preocupación hacia la biodiversidad acuática. Por tanto, el presente trabajo se enfoca hacia la aplicación de tecnologías que permitan la clarificación del efluente a un alto grado. En tanto, la siguiente es pregunta de investigación del presente trabajo:

¿Cuál será la eficiencia del tratamiento por electrocoagulación en los efluentes del hato porcino de la ESPAM MFL?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de integración curricular es de alta relevancia para el ambiente, la sociedad, la vida acuática porque permite la recuperación de un

agua residual que generalmente se descarga sin un óptimo tratamiento en un cuerpo natural de agua.

Para el tratamiento de aguas residuales se pretende eliminar los contaminantes hasta alcanzar los valores máximos permisibles de acuerdo a las normas y estándares nacionales o internacionales (Cárdenas et al., 2012; Vargas et al., 2020). En el ámbito legal, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que las aguas residuales están constituidas en un elevado porcentaje por agua, cerca de 99,9 % y apenas 0,1 % de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, esta pequeña fracción de sólidos es la que presenta los mayores problemas en su tratamiento y su disposición (Aguilar, 2015; Magaña et al., 2020).

Este proceso de electrocoagulación aplica los principios de la coagulación-floculación en un reactor con electrodos de Hierro y Aluminio, la cual permite la recuperación del recurso hídrico sin generar ningún tipo de contaminación, gracias a la fuerza electromotriz (Ebba et al., 2021; García et al., 2012). La eficiencia en remoción de turbidez y color utilizando ánodo de aluminio varía entre el 40% al 80% bajo las mejores condiciones de voltaje aplicado, la separación entre los electrodos y tiempo de tratamiento, sin embargo los porcentajes con ánodo de hierro oscilan en un rango de 10% a 50% en las mejores condiciones del sistema (Cuicas et al., 2017; Cuadra et al., 2017).

En el ámbito ambiental, la regeneración y reutilización de las aguas residuales se perfila como una alternativa de gran futuro ya que realiza dos funciones fundamentales, una es que aumenta la oferta de recursos hídricos disminuyendo así la presión sobre los recursos naturales convencionales y, por otra parte, reduce el problema de la contaminación al evitar el vertido de agua residual en el medio ambiente (Chávez, 2018; Gandarillas et al., 2017). En este sentido, ya no debe considerarse a las aguas residuales un como un residuo, sino más bien un recurso, ya que es un principio fundamental de la economía circular (Araujo et al., 2018; Centeno et al., 2019). A medida que las ciudades sigan creciendo, en el futuro deberán aplicarse estrategias para el desarrollo urbano que minimicen el consumo de recursos y que se centren en su recuperación (Fúquene y Yate, 2018; Menéndez y Dueñas, 2018).

En el ámbito socioeconómico, invertir eficientemente en aguas residuales y otras infraestructuras de saneamiento es crucial para lograr beneficios de salud pública, mejorar el medio ambiente y la calidad de vida (Mantari y Maravi, 2020; Stazi y Tomei, 2018). Por ello, la OMS en su agenda 2030 donde se establecieron los Objetivos De Desarrollo Sostenible (ODS) en el objetivo 6 indica que para garantizar el acceso universal al agua potable segura y asequible para todos en 2030 (OMS, 2020). Se debe mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial (Bunce et al., 2018; Kumar y Dutta, 2019).

En la presente investigación, se plantea la electrocoagulación como una alternativa tecnológica para el tratamiento de los efluentes del hato porcino de la ESPAM MFL, haciendo énfasis en su aplicación para la remoción de contaminantes que se encuentran en suspensión en el agua.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las condiciones de electrocoagulación para la clarificación de aguas residuales provenientes del hato porcino de la ESPAM MFL para la reducción de la contaminación.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la calidad del efluente proveniente del hato porcino de la ESPAM MFL.
- Establecer las condiciones de electrocoagulación para la remoción de turbidez en el hato porcino de la ESPAM MFL.
- Realizar la valoración económica de tratamiento de aguas residuales por medio de la electrocoagulación en el hato porcino de la ESPAM MFL.

1.4. HIPÓTESIS

Hipótesis nula: La electrocoagulación en ninguno de sus tratamientos genera efecto en la remoción de turbidez del efluente que se descarga del hato porcino de la ESPAM MFL.

Hipótesis alternativa: La electrocoagulación permite remover turbidez en al menos un tratamiento para mejorar la calidad del efluente que se descarga del hato porcino de la ESPAM MFL.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. AGUAS RESIDUALES

Las aguas negras son un tipo de agua que está contaminada con sustancias tóxicas como heces y orina humana e incluso animal, considerándose un desecho de las actividades diarias (Droste y Gehr, 2018; Farkas et al., 2020). Tales aguas contaminadas contienen no sólo contaminantes orgánicos, sino también otros residuos como los domésticos e industriales, que son nocivos para los seres vivos (Crini y Lichtfouse, 2019; Rivera et al., 2021). El agua residual no es agua limpia, está sucia y contaminada por sus usos múltiples conteniendo elementos como detergentes, grasas, materia orgánica, desechos agrícolas e industriales que provienen del diario vivir de los seres humanos (Ferrer et al., 2021; Urbina y Solano, 2020).

2.1.1. AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Las aguas residuales domésticas, son el resultado del uso que se le da al líquido en diversas funciones del hogar, lo que genera un nivel de contaminación del agua que se puede expresar en presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas que se descargan en los sistemas de alcantarillado o directamente en el medio ambiente (Araque et al., 2018; Duque et al., 2018).

La composición de las aguas residuales domésticas es muy variable y sus propiedades físico-químicas y biológicas son cambiantes, por lo que en ese estado no son aptas para el consumo humano (Castillo y Chimbo, 2021; Cirujeda, 2019).

2.1.2. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Las aguas residuales industriales son aguas que se originan en instalaciones comerciales e industriales durante la fabricación, producción, conversión, consumo, tratamiento o mantenimiento (Fúquene y Yate, 2018; Hernández et al., 2018). Contienen químicos orgánicos e inorgánicos y pueden reconocerse por la reducción del oxígeno producido por el proceso de descomposición biológica (Gilpavas et al., 2018; Zaruma et al., 2018).

Es de suma importancia señalar que toda industria produce contaminación debido a sus actividades, pero la contaminación generada por todas las empresas no es igual, por lo que dependiendo de la actividad que realicen se dará un tratamiento para mitigar el daño provocado hacia el medio ambiente (Merizalde et al., 2019; Morales et al., 2018).

2.1.3. AGUAS RESIDUALES PORCINAS

Las aguas residuales porcinas son el resultado del uso de agua municipal y están compuestas por estiércol de cerdo, trazas de antibióticos, desechos de alimentos y subproductos utilizados para limpiar los corrales de cerdos (Fuente et al., 2018; García et al., 2021). Por su origen contienen mucha materia orgánica o también llamado lodo, son ricos en nutrientes, especialmente fósforo, nitrógeno y potasio, y bajos en metales pesados (Domingues et al., 2021; Nagarajan et al., 2019).

En la industria porcina, el tamaño del caudal es proporcional a la escala de la industria, es decir, cuanto mayor es el número de cerdos, mayor es la cantidad de agua residual producida (Borja et al., 2019; Nani et al., 2020). En general, la industria porcina, debido a sus actividades diarias, tiene un gran impacto en los recursos naturales, especialmente debido a la producción intensiva y el manejo deficiente de los animales (Li et al., 2020; Zhang et al., 2018).

2.2. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, cuyo objeto es eliminar las impurezas del agua destinada a usos domésticos o de otro tipo (Droste y Gehr, 2018; Ferro et al., 2019).

La solución más habitual para la gestión de la contaminación por aguas residuales es tratarla en instalaciones donde se elimina la mayor parte de la contaminación, dejando una pequeña parte de las aguas residuales en el cuerpo receptor que eliminará la naturaleza (Choque et al., 2018; Ibarra et al., 2018a).

2.2.1. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES FÍSICOS

El proceso consiste en separar los sólidos grandes y medianos del agua a través de diferentes mallas o tamices de diferentes espesores (Centeno y Murillo, 2019; Montalván et al., 2019). Luego se aplican removedores de arena al agua para

eliminar pequeñas partículas de arena que pueden disolverse en el agua y no pueden ser filtradas por las pantallas (Flores et al., 2019; Koutsou et al., 2018).

El agua, la grasa y el aceite disueltos en agua se eliminan con desengrasantes especiales. Finalmente, el agua se almacena durante un tiempo en tanques especiales de sedimentación y decantación, donde la gravedad atrae los sólidos restantes y los deposita en el fondo, dejando el agua libre de ellos (Romo, 2021; Ruiz, 2022).

2.2.2. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES QUÍMICOS

Los tratamientos químicos mejoran la calidad final del agua antes de que sea liberada de nuevo al medio ambiente, para ello se utilizan compuestos químicos para alcanzar los valores permitidos del agua establecidos por ley (Arias et al., 2021; Martins et al., 2019).

El tratamiento químico de las plantas de tratamiento de aguas residuales incluye la neutralización, desinfección, precipitación de fosfato, eliminación de nitrógeno, hierro y manganeso en las aguas residuales (Díaz et al., 2019; López et al., 2021).

La neutralización se usa para obtener un valor de pH específico y se logra agregando un ácido o una base, por otro lado, en la desinfección, los patógenos se destruyen mediante la adición de cloro o dióxido de cloro (González et al., 2020; Magwaza et al., 2020). Los fosfatos se eliminan por precipitación química o floculación, mientras que el nitrógeno se elimina por nitrificación y desnitrificación (Malacatus et al., 2019; Meneses et al., 2019). El hierro y manganeso presente en las aguas residuales se lo elimina mediante la oxidación de estos compuestos permitiendo así su fácil extracción (Domínguez et al., 2018; Velarde et al., 2018).

2.3. TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son muy diferentes según el uso previsto, por lo que el proceso de tratamiento del agua debe elegirse con cuidado, teniendo en cuenta la calidad de las aguas residuales (Jauregui y González, 2022; Song et al., 2018).

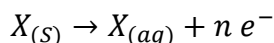
Por tanto, algunas de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales se describen a continuación:

2.3.1. ELECTROCOAGULACIÓN

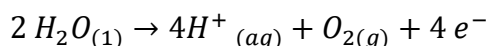
Es un proceso electroquímico que consiste en aplicar una corriente eléctrica a electrodos de diferentes materiales (Chacon y Huampotupa, 2021; Rubí et al., 2022). En estos electrodos, como resultado de la disolución de iones, se forman coagulantes, que permiten que las partículas coloidales se aglomeren y se depositen en la superficie por flotación, de esta manera, el agua se vuelve clara y se puede recoger mientras se elimina el sedimento que queda en la superficie (Nawarkar y Salkar, 2019; Pérez, 2018).

Un reactor de electrocoagulación se compone de un ánodo y un cátodo. Cuando se aplica un potencial eléctrico desde una fuente de alimentación externa, el ánodo se oxida; y el cátodo se reduce (Chauca et al., 2018; Garcia et al., 2017). Las reacciones que ocurren en ambos electrodos con un metal X son:

En el ánodo:

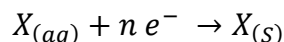


[2.1]

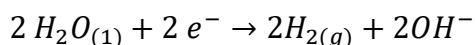


[2.2]

En el cátodo:



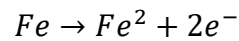
[2.3]



[2.4]

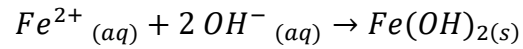
De acuerdo con Magnisali et al. (2022) las reacciones que se producen en cada celda electrolítica con ánodos de aluminio y hierro se muestran a continuación:

Para el hierro.



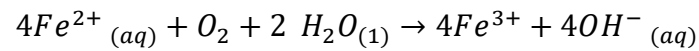
[2.5]

Bajo condiciones alcalinas



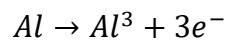
[2.6]

Bajo condiciones acidas



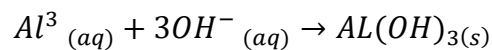
[2.7]

Para el aluminio.



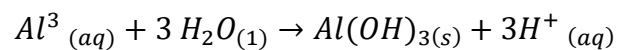
[2.8]

Bajo condiciones alcalinas



[2.9]

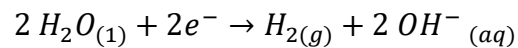
Bajo condiciones acidas



[2.10]

La formación de estos compuestos provoca la aglomeración de partículas coloidales negativas, después de lo cual son eliminadas por atracción electrostática (Tahreen et al., 2020).

Según Syam et al. (2020) al momento de reaccionar los contaminantes con los electrodos se generan burbujas de hidrogeno que se muestran a continuación:



[2.11]

Los electrodos que componen esta tecnología están compuestos de hierro y aluminio, estos elementos se disuelven mediante corriente eléctrica generando iones metálicos correspondientes, que se hidrolizan a hierro polimérico o hidróxido de aluminio (Liu et al., 2018; Shahedi et al., 2020). Estos hidróxidos poliméricos son excelentes agentes coagulantes. El Fe y Al entonces componen el ánodo consumible (de sacrificio) y se utilizan continuamente para producir estos hidróxidos poliméricos y la coagulación ocurre cuando estos cationes Fe/Al se combinan con partículas contaminantes de carga negativa (Garcia et al., 2017). Dado que los electrodos de sacrificio son consumidos, entonces es necesario una reposición periódica de estos materiales.

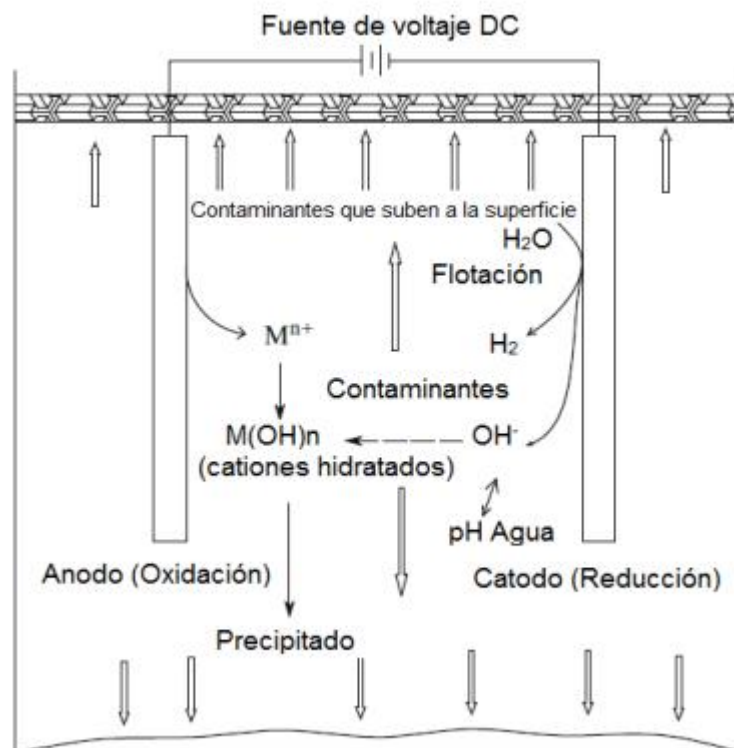


Figura 2.1. Diagrama esquemático de una celda de electrocoagulación de dos electrodos
Fuente. Datos tomados de (Zaied et al., 2020)

La electrocoagulación es una tecnología que en la actualidad está dando muchos resultados favorables en el combate contra las aguas residuales como lo menciona Oviedo et al. (2022) en su estudio donde utiliza la electrocoagulación

más la radiación UV para el tratamiento de aguas residuales en la industria textil, donde obtuvo resultados de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) en un 33%, de carbono orgánico total (COT) de 18% y de sólidos disueltos totales de 16%, valores que dentro de este estudio son muy beneficiosos ya que el agua tratada, es un agua que ha pasado por una Planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR), con la que cuenta la industria. Por otro lado Dobrosz et al. (2020) en su investigación donde trata aguas residuales de la industria del café con esta tecnología obtuvo resultados de remoción de DQO de 75% y de color de 87%, llevando el agua residual de esta industria a cumplir con los límites máximos permisibles de la normativa vigente.

2.3.2. MEMBRANAS

En el tratamiento del agua, las membranas son barreras que permiten el paso del agua, pero impiden el paso de sustancias no deseadas (Asif y Zhang, 2021; Zhang et al., 2018). Son membranas técnicas, que funcionan de la misma forma que las paredes celulares de nuestro cuerpo, filtran sales, impurezas, virus y otras partículas del agua (Pan et al., 2019; Yalcinkaya et al., 2020).

El proceso de membrana es cualquier método basado en filtrar o eliminar partículas del agua con una barrera de membrana, en el cual el líquido pasa a través de la membrana debido a la diferencia de presión en un lado de la membrana y las impurezas permanecen en el otro lado (Firman et al., 2018; Goh et al., 2022).

2.3.3. SISTEMA DE LAGUNAJE

El lagunaje es el tratamiento de aguas residuales en estanques impermeables utilizando microorganismos, algas o plantas acuáticas (Cuello et al., 2018; Echeverría et al., 2021). Las instalaciones de la laguna permiten optimizar el tratamiento de la contaminación, que no asfixia a la naturaleza, sino que la nutre (Santillán y Paredes, 2018). Consisten en estanques artificiales que se pueden usar individualmente, pero más a menudo en serie para mejorar la eficiencia.

Es un tratamiento biológico que se promueve por la radiación solar, es una alternativa fiable, interesante y asequible al procesamiento de los equipos de

limpieza convencionales y es más eficaz en la eliminación de sustancias patógenas (Cabral et al., 2019; Cabrera et al., 2022).

2.3.4. HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales son sistemas diseñados que utilizan recursos naturales para limpiar las aguas residuales (Aguilar, 2019; Purihuamán y Rojas, 2018). Consisten en un terreno sobre el que se coloca un material impermeable al agua, que evita que el líquido fluya hacia el subsuelo, sobre este material se coloca una mezcla de sustrato que consiste en arena, grava, roca y otros componentes, luego se utilizan plantas acuáticas que flotan en el agua (Giosa et al., 2018; Pérez et al., 2018).

Tanto el sustrato como la vegetación absorben partículas contaminantes, que utilizan como nutrientes, de esta forma, el agua se vuelve más limpia para ser reutilizada en determinadas actividades o integrada a los sistemas de agua (Arteaga et al., 2019; Basantes, 2021). El tamaño de un humedal depende de cuántas casas o industrias sirve, del mismo modo, las plantas y el sustrato se adaptan a las materias impuras contenidas en el fluido (Asprilla et al., 2020; Velasco et al., 2019).

2.3.5. ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa es una avanzada tecnología de purificación del agua que emplea una membrana semipermeable para eliminar de manera efectiva minerales e iones del agua, con el propósito de depurar las partículas de mayor tamaño presentes en el agua potable (Al et al., 2020; Trishitman et al., 2020).

La ósmosis inversa funciona aplicando presión al agua y forzándola a través de una membrana de ósmosis semipermeable para filtrarla y esta membrana semipermeable permite el paso de determinadas moléculas o iones por difusión (Arola et al., 2019; Jbari y Abderafi, 2020).

2.3.6. LODOS ACTIVADOS

Un sistema de lodos activados es un proceso de tratamiento de agua basado en el uso de microorganismos que crecen en las aguas residuales y que transforman la materia orgánica disuelta en productos más simples, como

nuevas bacterias, dióxido de carbono y agua (Korzeniewska y Harnisz, 2018; Waqas et al., 2020).

Es un tratamiento secundario o biológico en una planta de tratamiento de aguas residuales y se usa más comúnmente en aplicaciones tanto municipales como industriales, el proceso mejora la calidad de las aguas residuales con alta carga orgánica (Nierychlo et al., 2019; Wilén et al., 2018).

2.4. AFECTACIÓN A LA BIODIVERSIDAD

La falta de equipos de tratamiento de aguas residuales en las ciudades, la industria, los hoteles, minas, la agricultura y la ganadería provoca grandes cantidades de desechos de agua contaminada, lo que causa un gran daño al medio ambiente (Cardozo et al., 2018; López, 2021). La mayor parte de estas aguas son vertidas a ríos, lagos, mares, al exterior o bajo tierra a través de las denominadas fosas sépticas y vertederos (Cusiche y Miranda, 2019; Gallo y Jaimes, 2021).

2.4.1. ESPECIES ACUÁTICAS AFECTADAS

De acuerdo con Moreira (2021) las principales especies afectadas por la contaminación proveniente de aguas residuales son las que habitan en ese medio, las aguas residuales agregan aproximadamente 6,2 millones de toneladas de nitrógeno a las costas de todo el mundo cada año, lo que contribuye a la proliferación de algas nocivas, la eutrofización y las zonas muertas de los océanos. Las principales especies afectadas son:

- Peces
- Moluscos
- Crustáceos
- Algas

2.4.2. ESPECIES TERRESTRES AFECTADAS

Según He et al. (2018) la contaminación del recurso agua afecta de manera general la vida de todos los seres en el planeta, ya que sin él la vida se acabaría, por ende, las afectaciones terrestres van desde:

- Mamíferos

- Reptiles
- Plantas
- Hongos

2.5. GESTIÓN AMBIENTAL

Los recursos hídricos están bajo presión debido al continuo crecimiento de la población y la urbanización, especialmente en los países en desarrollo (Bennett et al., 2018; Weißhuhn et al., 2018). Muchas de estas ciudades carecen de sistemas adecuados de tratamiento de aguas residuales amenazando la salud y el bienestar humanos, así como los ecosistemas en todo el mundo (Latan et al., 2018; Marchese et al., 2018).

Al menos 1,8 millones de niños menores de cinco años mueren cada año a causa de enfermedades relacionadas con el agua, y más de la mitad de las camas de los hospitales del mundo están ocupadas por pacientes que padecen dichas enfermedades (Dávalos et al., 2019; Vera y Cañón, 2021).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

Esta investigación se realizó en el hato porcino de la ESPAM MFL ubicado en la parroquia Calceta, cantón Bolívar, Provincia de Manabí. Ubicado en su punto centro con las coordenadas: Este 591490.73 y Sur 9909135.40

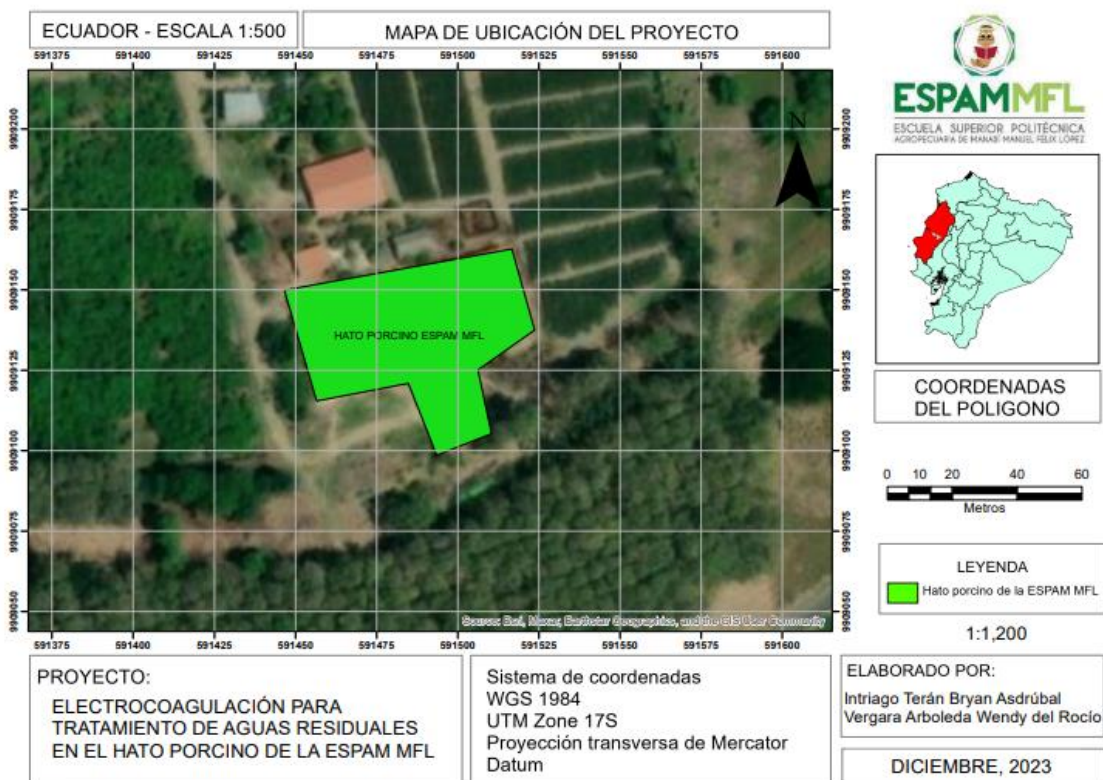


Figura 3.1 Ubicación geográfica del área de estudio

3.2. DURACIÓN

La investigación se llevó a cabo en un periodo de 8 meses una vez aprobada la planificación del trabajo de integración curricular.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Según las características de este proyecto, este trabajo de investigación fue de tipo cuantitativo experimental, donde se analizó el objeto de estudio en su contexto natural. En este caso, la electrocoagulación como medida de tratamiento de aguas residuales, lo que hizo posible analizar los datos recolectados con base en muestras de agua. En este estudio se utilizaron los siguientes métodos y técnicas:

3.3.1. MÉTODO

3.3.1.1. METODO CUANTITATIVO

Son un conjunto de estrategias, métodos y herramientas de investigación que se centran en la medición objetiva y el análisis estadístico de los datos recopilados a través de encuestas o cuestionarios, o mediante el uso de datos estadísticos existentes utilizando técnicas computacionales (Hernández et al., 2018). Con este método, se identificó y cuantifico algunos de los parámetros de la calidad del agua del hato porcino de la ESPAM MFL, basados en los puntos de muestreo.

3.3.2. TÉCNICAS

3.3.2.1. OBSERVACIÓN

Implica el uso de los sentidos para obtener de forma consciente y dirigida, datos que nos proporcionen elementos para nuestra investigación (Otero, 2018). Es el primer paso en el método científico que le permite formular una hipótesis basada en eso y luego usar las observaciones nuevamente para probar si la hipótesis es verdadera (Portell y Vives, 2019). Esta técnica se empleó con la finalidad de registrar situaciones puntuales asociadas a las descargas del efluente del hato porcino.

3.3.2.2. DE CAMPO

Implica recopilar datos directamente de la realidad sin manipular ni controlar variables, estudiando los fenómenos sociales en su ambiente natural (Arenas, 2021). Este método se aplicó para el diagnóstico de la situación actual y la obtención de muestras que se llevarán a cabo en el área de estudio.

3.3.2.3. ESTADÍSTICO

Este método permite recolectar, analizar y caracterizar los resultados alcanzables en la investigación, con el propósito de describir de forma clara y sencilla los datos de este conjunto en cuadros, tablas, figuras o gráfico (Castro, 2019; Gamboa, 2018). Para el presente estudio, se trabajó con un análisis descriptivo e inferencial para cada una de las variables.

3.4. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental esta conformada por una cuba de electrocoagulación con capacidad de 20 litros la cual tiene una serie de cuatro electrodos tanto de hierro como de aluminio conectados a una fuente de poder.

3.5. FACTOR DE ESTUDIO

FACTOR A: Tensión eléctrica

- A₁: (14/2) voltios/amperios
- A₂: (21/3) voltios/amperios

FACTOR B: Tiempo

- B₁: 30 minutos
- B₂: 120 minutos

FACTOR C: Materiales

- C₁: (Fe)
- C₂: (Al)

3.6. TRATAMIENTOS

A continuación, se muestran las interacciones de los factores que se estudiaron y la relación que existe en cada uno de ellos en sus distintos niveles. Se realizaron 8 tratamientos con 3 repeticiones cada uno establecidos por el diseño experimental factorial completamente al azar 2³ (DFCA) los cuales se evaluaron en función de las variables respuesta (Y) (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Matriz de diseño experimental 2³, con sus corridas experimentales.

Tratamientos	A	B	C	Y ₁ ...Y ₄
T ₁	A ₁	B ₁	C ₁	• Turbidez (NTU)
T ₂	A ₁	B ₂	C ₁	
T ₃	A ₁	B ₂	C ₂	
T ₄	A ₂	B ₂	C ₂	

T_5	A_2	B_1	C_1	• Conductividad eléctrica ($\mu S/cm$)
T_6	A_2	B_1	C_2	
T_7	A_1	B_1	C_2	• pH
T_8	A_2	B_1	C_2	• Color (Pt/Co)

3.7. VARIABLES A MEDIR

3.7.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

Condiciones de operación como:

- Tensión eléctrica (14/2, 21/3) voltios/amperios.
- Tiempo (Horas)
- Materiales (Fe y Al)

3.7.2. VARIABLES DEPENDIENTES

Parámetro de calidad de agua:

- Turbidez (NTU)
- Conductividad eléctrica ($\mu S/cm$)
- pH
- Color (Pt-Co)

3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO

El procedimiento de la investigación se desarrolló con base en los objetivos específicos:

3.8.1 FASE I: CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE PROVENIENTE DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.

ACTIVIDAD 1: ENTREVISTA CON EL ENCARGADO/A DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL

En esta actividad, se realizaron visitas a las instalaciones del hato porcino de la ESPAM MFL. Se tomaron datos mediante una entrevista realizada a la encargada del hato porcino, la Ing. Nadia Mendoza la cual supo manifestar el estado actual de las descargas del efluente hato porcino, gracias a la información obtenida y los análisis donde se midieron las variables turbidez, color, conductividad eléctrica y pH del agua residual producida se pudo establecer las condiciones en la que se encuentran las descargas provenientes del hato porcino de la ESPAM MFL.

ACTIVIDAD 2: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras se tomaron con base en la Norma NTE INEN 2169:2013, la cual indica que, para la toma de las mismas, los recipientes deben estar completamente llenos y cerrados con tapas herméticas para evitar el aire sobre la muestra; esto limita las reacciones en fase gaseosa y la agitación durante el transporte.

ACTIVIDAD 3: CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

Se realizaron análisis de turbidez (NTU), conductividad eléctrica (mS/cm), color (Unidades de Pt-Co) y pH (Unidades de pH) dado que estos son los parámetros con mayor influencia en un tratamiento mediante electrocoagulación. Estos análisis fueron desarrollados en los laboratorios de la ESPAM MFL.

- **Turbidez:** Los turbidímetros de bujía de Jackson están diseñados para medir la turbidez entre 50 y 1000 unidades. Las soluciones con una

turbidez superior a esta deben diluirse; las soluciones con una turbidez inferior se analizan mejor con un instrumento de dispersión de luz, como un turbidímetro Hach o un espectrofotómetro con equipo nefelométrico. Los útiles de transmisión y nefelometría se estandarizan usando una suspensión estándar de polímero de formacina. En un nefelómetro, la turbidez se lee como "unidades de turbidez nefelométrica" o "NTU" (González y García, 2020).

- **Conductividad eléctrica:** La conductividad en medios líquidos se mide con un conductímetro o medidor de conductividad, un material de laboratorio especial para determinar el nivel de conductividad eléctrica. La medición se realiza utilizando un medidor de conductividad con una celda de medición de conductividad que consiste en un par de electrodos (polos) a los que se les aplica un voltaje. El medidor mide la corriente que fluye y calcula la conductividad. La unidad de medida de la conductividad eléctrica es los Siemens/cm (Sánchez y Irigoin, 2021).
- **Color:** El color puede evaluarse de forma instrumental tanto en materiales opacos como en translúcidos, y tanto en sólidos como en líquidos, mediante el uso de espectrofotómetros y colorímetros. El espectrofotómetro es un equipo para la evaluación del color más complejos en cuanto a diseño y más precisos que los colorímetros. Estos equipos son utilizados para control de calidad del color en procesos que precisen de mayor exactitud, se mide mediante unidades de (Pt/Co) (Torres et al., 2019).
- **pH:** Indica la acidez o alcalinidad del agua, para encontrar la medida exacta se utiliza una escala numérica de 0 a 14. Normalmente el agua corriente debe tener un pH de 7,0, aunque esta medida puede variar dependiendo del contenido en minerales que existan en la zona donde se encuentre. La medición del pH, con papel o tiras reactivas, es un método ampliamente utilizado, para la medición ocasional, está basado en el cambio de color, que experimenta el papel o las tiras reactivas, dependiendo del grado de pH de la muestra (Ibarra et al., 2018).

3.8.2 FASE II: ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN EL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.

ACTIVIDAD 4: DISEÑO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN

Se implementó un sistema de electrocoagulación de capacidad 20 litros construido de material vidrio; con electrodos de hierro y aluminio, provistos de una fuente eléctrica de 21 voltios y 3 amperios (Azüero, 2019; Schenkel y Pérez, 2019).

ACTIVIDAD 5: EFICIENCIA DE LA ELECTROCOAGULACIÓN

Según Alvino (2019) para medir la eficacia de funcionamiento del equipo, se midió la turbidez inicial del agua residual a tratar, y la turbidez final luego de la electrocoagulación. Mediante la siguiente ecuación [3.1], se determinará la mencionada eficacia:

$$\% \text{ Remoción de turbidez} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} * 100$$

[3.1]

De acuerdo con Gallegos y Prado (2022) en su estudio sobre “La Remoción de Aceites y Grasa por el Proceso de Electrocoagulación de Aguas Residuales” cuando la muestra se expuso a pH 8 a una densidad de corriente de 25 A/m² y se utilizó Fe como electrodo de sacrificio, los resultados experimentales arrojaron una tasa de remoción del 99,1%, comprobándose que, para obtener una mayor tasa de remoción de aceite y grasa, la densidad de corriente no debe superar los 25 A/m², pues los medios alcalinos y el uso de hierro como electrodo de sacrificio son la mejor combinación para producir coagulantes que favorezcan la remoción.

Según Muñoz y Velázquez (2022) en su estudio tuvo como objetivo determinar la eficiencia de un prototipo funcional de celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales textiles contaminadas con colorantes utilizando ánodos de hierro. De acuerdo con los resultados obtenidos, se logró una eficiencia de eliminación de DQO de más del 60 %, la concentración de sólidos

disueltos se redujo entre un 30 % y un 40 % y el valor de turbidez se redujo en un 63 %.

Por otro lado Espitia et al. (2022) en su estudio sobre Electrocoagulación con electrodos de aluminio para tratamiento de aguas residuales de curtiembres en Villapinzón, Cundinamarca, Colombia; el objetivo de ese estudio fue evaluar la capacidad de un sistema de electrocoagulación a escala de laboratorio para eliminar la turbidez y la DQO mediante la realización de una prueba de 45 minutos en modo discontinuo, con cambio del número de electrodos y la intensidad de corriente aplicada de 12 A y 10 V, las tasas máximas de remoción de turbidez y DQO alcanzaron 99.77 % y 74.18 %, respectivamente. Para la turbidez, se puede lograr un valor de eliminación del 98 % con un electrodo perforado.

Según Acuña (2020) en su estudio para el tratamiento de aguas residuales de un camal el sistema utiliza electrodos de aluminio para reacciones de reducción (cátodo) y oxidación (ánodo), con tensiones de alimentación de 20 y 30 voltios (V), y concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) de 10 y 15 g/L. Tiempos de espera 15 y 30 minutos. Se determinó que T6 era el mejor tratamiento utilizando 30 V, 15 g/L de NaCl y un tiempo de 30 min, logrando remover un 97,2% de DBO, un 94,5% de SST y un 97% de DQO.

Cuando el agua residual del hato porcino de la ESPAM MFL, pasó por el tratamiento mediante la electrocoagulación, se midió el efecto que tuvo en el agua residual mediante el análisis con la normativa vigente. Obteniendo así la eficiencia del tratamiento aplicado en el área de estudio.

3.8.3. FASE III: REALIZACIÓN DE LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE LA ELECTROCOAGULACIÓN EN EL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.

ACTIVIDAD 6: ESTUDIO ECONÓMICO DEL MEJOR TRATAMIENTO

El sistema de electrocoagulación se diseñó a escala de laboratorio permitiendo observar los costos derivados del diseño, construcción y tratamiento, entre los

principales equipos se tiene la fuente de poder, el reactor de electrocoagulación y por último el consumo de energía eléctrica que se estimó al momento de hacer las pruebas (Calderón y Castillo, 2022). Este tratamiento se lo realizó con una muestra de 20 litros, por lo cual el costo de la energía eléctrica se estima no representaría un valor elevado, ya que este es uno de los aspectos a tener en cuenta para la implementación de este tipo de tratamiento principalmente a escala industrial (Aguilar y Cornejo, 2021).

- **Costo directo (Cd):** Materiales (Fe y Al), Fuente de Poder (Se especificará el costo de la maquinaria implementada), Reactor de electrocoagulación (Se dará a conocer el costo de la construcción del reactor), Materiales variados (Cables, lagartos, tornillos, llaves de paso, etc.)
- **Costo indirecto (Ci):** Se considero los costos adicionales (Energía eléctrica, mano de obra, entre otros.) que afectan de manera indirecta al tratamiento de aguas residuales del hato porcino de la ESPAM MFL.
- **Costo total (Ct):** Es la sumatoria del costo directo más el costo indirecto, como se muestra en la siguiente ecuación [3.2].

$$Ct = (Cd + Ci)$$

[3.2]

3.9. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño factorial completamente al azar 2^3 (DFCA) para analizar el efecto de los factores sobre las variables de respuesta y los niveles de prueba de cada factor. En este diseño, se analizaron tres factores: el factor tiempo, el material de las placas de electrocoagulación y tensión eléctrica para comprender el tiempo óptimo de tratamiento (Tabla 3.2), además se detalla las fuentes de variación de varianza aplicada en esta investigación (Tabla 3.3).

Tabla 3.2. Variables de diseño y sus niveles de estudio.

Variables	Nivel bajo	Nivel alto
Material	Fe	Al
Tiempo	30 min	120 min
Tensión eléctrica	14 voltios /2 amperios	21 voltios /3 amperios

Fuente. los autores

Tabla 3.3. Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Factor A	1	-	-	-	-
Factor B	1	-	-	-	-
Factor C	1	-	-	-	-
Interacción BC	1	-	-	-	-
Interacción AB	1	-	-	-	-
Interacción AC	1	-	-	-	-
Interacción ABC	1	-	-	-	-
Error	16				
Total	23				

3.9.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis inferencial se aplicaron las técnicas de análisis de varianza (ANOVA) y un test de comparaciones múltiples Tukey HSD, con base en la normalidad de los datos, mediante el uso del software Minitab.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. FASE I: CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE PROVENIENTE DEL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.

En la Tabla 4.1 se muestran los resultados del monitoreo llevado a cabo en tres réplicas de agua residual proveniente del hato porcino. En esta tabla, se presentan los valores obtenidos para diferentes parámetros como turbidez, conductividad eléctrica, color y el pH, que es un indicador clave de la acidez o alcalinidad del agua. Al analizar los datos, se destaca que el rango de pH registrado durante el estudio osciló entre 7,20 y 7,35, lo cual indica que se trata de un pH cercano a la neutralidad. Además, se exhiben resultados concernientes a la turbidez del agua residual, los cuales revelan datos que varían de 665 a 681 NTU. Esta amplitud en la turbidez sugiere una marcada presencia de sólidos suspendidos en el agua. Sin embargo, se han registrado valores de conductividad eléctrica que oscilan entre 0,98 y 3,5 mS/cm, indicando niveles algo elevados en términos de conductividad eléctrica y en relación al color presente dentro del agua residual se registraron datos que van desde los 581 a 592 Pt/Co que sugieren un alto contenido de sólidos disueltos.

Es importante resaltar que el monitoreo de agua residual es una práctica esencial para garantizar la sostenibilidad ambiental en entornos donde se desarrollan actividades ganaderas o agrícolas intensivas, como el hato porcino. Los resultados de este estudio brindan una visión detallada de la calidad del agua residual producida y pueden ser fundamentales para implementar estrategias de manejo adecuadas y mitigar el impacto ambiental de dicha actividad.

Tabla 4.1 Parámetros de mayor influencia en el agua residual.

REPETICIONES	MUESTRA	Ph	TURBIDEZ (NTU)	COND. ELÉCTRICA (mS/cm)	COLOR (Pt/Co)
1	M. INICIAL	7,20	675	3,5	581
2	M. INICIAL	7,24	665	3,43	573
3	M. INICIAL	7,35	681	0,98	592

De acuerdo con las normativas nacionales e internacionales para el cumplimiento de los estándares de calidad de agua, se indican los valores máximos permisibles que deben tener las descargas de cuerpos de agua con respecto a los diferentes parámetros a analizar, así también para determinar si la calidad del agua es apta para preservar los ecosistemas acuáticos. Según el Ministerio del Ambiente (MAE) y la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), el rango de pH permitido va entre los 6,5 a 8,5 lo cual es relativamente amplio para garantizar que las descargas de agua no sean demasiado ácidas ni alcalinas. Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), proporcionan directrices y estándares en el que se establece con un rango de pH permitido de 6 a 9, y la turbidez no puede superar ciertos valores, como 100 NTU.

Esto en comparación con el Texto Unificado de Legislación Secundaria en Materia Ambiental (TULSMA) del libro VI Anexo 1, establece que el límite máximo permisible para descargas a cuerpos de agua dulce en el caso del pH varía en un rango de 6 a 9, mientras que la turbidez no debe superar el valor de 100 NTU.

Sin embargo, la investigación llevada a cabo por Cazco y Jarrín (2016) revela un factor positivo en el manejo de los efluentes porcinos en Ecuador, relacionado con el pH. Según sus hallazgos, el pH de estos efluentes se encuentra en un rango neutro de 7,3 a 7,6. Este dato es relevante porque sugiere que algunos procesos de biodigestión anaeróbica, utilizados en el tratamiento de efluentes porcinos, podrían ser favorables en este contexto. La biodigestión anaeróbica es un método eficiente para descomponer la materia orgánica presente en los efluentes, y un pH neutro como el observado en este estudio es propicio para estos procesos. En la presente investigación el pH se mantiene en un rango de 7,20 a 7,35.

Según Rivas (2017) es importante porque un pH neutro en el agua residual sugiere una menor presencia de sustancias ácidas o alcalinas que podrían ser perjudiciales para el medio ambiente y los organismos acuáticos.

En un trabajo realizado por Qi et al. (2021) en granjas porcinas del distrito de Ninghe, Tianjin, China se encontró que la turbidez alcanzó valores por encima de los 4000

NTU, esto indica la presencia de partículas suspendidas que albergan contaminantes que comprometen la vida acuática. En el presente trabajo los valores de turbidez fueron menores de 700 NTU, un valor menor al previamente reportado.

De acuerdo con Mores et al. (2016) se considera relevante el aporte de la irradiación con electrodos acelerados ya sea de hierro o aluminio, sobre el proceso de electrocoagulación, aquellos en los que la diferencia entre las respectivas remociones sea mayor al 10% ya que dicha condición cumple el incremento de la turbidez. Sin embargo, Solórzano y Sornoza (2018) indican que el voltaje entre electrodos es independiente del pH, si el agua tratada no se aleja mucho de un valor de pH de 7; este voltaje puede minimizarse decreciendo la distancia entre electrodos e incrementando su área de sección transversal y la conductividad específica de la solución. Según los resultados aquí obtenidos, mientras mayor sea la densidad de corriente aplicada mayor será la producción en los electrodos.

Además, según Jaramillo (2016) una diferencia de potencial mayor se requiere para un mismo flujo de corriente cuando se realiza el arreglo en serie, porque las celdas conectadas en serie tienen una mayor resistencia mientras que en un arreglo en paralelo la corriente eléctrica se divide entre los electrodos de manera proporcional a la resistencia de la celda individual.

4.2. FASE II: ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ EN EL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.

En la tabla 4.3, se observan los datos obtenidos para evaluar la eficiencia del sistema de electrocoagulación empleado. Para este estudio, se utilizaron dos tipos de materiales como son el hierro (Fe) y aluminio (Al) como sacrificios para el funcionamiento del sistema. En esta tabla, se detallan los valores obtenidos para diferentes parámetros como turbidez, conductividad eléctrica, color y el pH, además de los cálculos de remoción de turbidez y color. Al analizar los datos, se observa que el rango de pH registrado durante el estudio para los electrodos de hierro osciló entre 7,3 y 9,62, lo cual indica que se trata de un pH que puede llegar a ser alcalino si se lo mantiene demasiado tiempo en contacto con los electrodos de hierro. Además, la

tabla exhibe los resultados concernientes a la turbidez del agua residual, los cuales revelan datos que varían de 317 a 563 NTU. Esta amplitud en la turbidez sugiere presencia de sólidos suspendidos en el agua. Además, se han registrado valores de conductividad eléctrica que oscilan entre 0,83 y 2,58 mS/cm, indicando niveles un poco elevados en términos de conductividad eléctrica y en relación al color presente dentro del agua residual se registraron datos que van desde los 230 a 460 Pt/Co que sugieren contenido de sólidos disueltos.

Por otro lado, dentro de la misma tabla también se aprecian los resultados obtenidos con electrodos de aluminio, donde se destaca que el rango de pH registrado durante el estudio osciló entre 7,05 y 9,0 lo que sugiere un pH que puede llegar a ser alcalino si se lo mantiene demasiado tiempo en contacto con los electrodos de aluminio. Para los resultados concernientes a la turbidez del agua residual, los datos varían de 580 a 25 NTU. Esta amplitud en la turbidez indica que a medida que se aplicó el tratamiento los electrodos fueron reduciendo la turbidez hasta llegar a un agua clarificada. Además, se han registrado valores de conductividad eléctrica que oscilan entre 0,72 y 1,33 mS/cm, indicando niveles moderados en términos de conductividad eléctrica y en relación al color presente dentro del agua residual se registraron datos que van desde los 490 a 21 Pt/Co que sugieren como en el caso de la turbidez una eliminación de color óptima mediante el tratamiento aplicado.

En la tabla, adicionalmente, también se encuentran los datos de remoción de turbidez y color, donde el tratamiento aplicado con electrodos de aluminio logró remover el 96% de contaminantes en ambos casos.

Tabla 4.2 Parámetros evaluados mediante la electrocoagulación.

REP	ELECTRODOS	TIEMPO (min)	VOLTAJE (Amp)	pH	TURBIDEZ (NTU)	COND. ELECT. (mS/cm)	COLOR (Pt/Co)	REMOCIÓN TURBIDEZ	REMOCIÓN COLOR
1	HIERRO	30	7	8,78	563	0,83	460	17%	22%
1	HIERRO	30	15	7,3	517	1	415	24%	30%
1	HIERRO	120	7	9,62	326	0,74	214	52%	64%
1	HIERRO	120	15	9,45	329	0,84	342	52%	42%
2	HIERRO	30	7	7,61	553	2,34	449	17%	22%
2	HIERRO	30	15	7,5	498	2,34	400	25%	30%
2	HIERRO	120	7	7,73	318	2,58	225	52%	61%
2	HIERRO	120	15	8,05	317	2,16	320	52%	44%
3	HIERRO	30	7	7,5	558	2,25	454	17%	22%
3	HIERRO	30	15	7,53	499	2,31	399	26%	31%
3	HIERRO	120	7	7,63	330	2,48	230	51%	60%
3	HIERRO	120	15	8,01	321	2,1	315	52%	46%
1	ALUMINIO	30	7	8,91	580	1,21	490	15%	17%
1	ALUMINIO	30	15	7,9	227	1,33	187	67%	68%
1	ALUMINIO	120	7	9	533	1,16	420	22%	29%
1	ALUMINIO	120	15	8,29	54	1,06	50	92%	92%
2	ALUMINIO	30	7	7,05	441	1,28	321	34%	44%
2	ALUMINIO	30	15	7,49	105	0,85	85	84%	85%
2	ALUMINIO	120	7	7,11	225	1,05	135	66%	76%
2	ALUMINIO	120	15	7,66	33	0,78	29	95%	95%
3	ALUMINIO	30	7	7,15	428	1,3	327	37%	44%
3	ALUMINIO	30	15	7,55	100	0,79	81	85%	86%
3	ALUMINIO	120	7	7,2	217	1,09	131	68%	77%
3	ALUMINIO	120	15	7,6	25	0,72	21	96%	96%

En el proceso de electrocoagulación, diversos factores inciden en la eficacia del tratamiento de aguas crudas, entre los cuales destacan el pH y la conductividad eléctrica.

En relación al pH, este desempeña un papel crucial en la formación de hidróxidos metálicos durante la coagulación electroquímica. Una disminución llegando lo más cerca a la neutralidad en el pH propicia la generación de hidróxidos de hierro y aluminio, actuando como coagulantes que contribuyen significativamente a la eliminación de color y turbidez en el agua (Perozo y Abreu, 2017) . Por otro lado, la conductividad eléctrica del agua también ejerce una influencia determinante en el proceso. A medida que se aplican corrientes eléctricas, los iones cargados positivamente, como los hidróxidos metálicos, se desplazan hacia los electrodos, provocando una mayor conductividad que facilita este desplazamiento, mejorando así la eficiencia del proceso de coagulación (Magaña, Rojas-Vargas, et al., 2020).

En resumen, la electrocoagulación se posiciona como una alternativa altamente eficaz para el tratamiento de aguas crudas, y su éxito está intrínsecamente ligado a factores clave como el pH, la conductividad eléctrica y la formación de hidróxidos metálicos y la conjunción de estos procesos contribuye de manera integral a la reducción de color y turbidez en el agua.

En la Figura 4.1, se resumen los resultados de pH en función del tiempo de reacción y amperaje, para el electrodo hierro y aluminio que se muestran en la tabla 4.3. En el Anexo 1 y 2, se presentan todos los resultados con sus respectivas réplicas como se muestra en la Tabla 4.2. Como se observa en la figura en el caso del hierro, cuando la reacción ocurrió durante 30 minutos a un voltaje de 7 Amp, el pH fue 8,78 mientras que, al mismo tiempo, pero a 15 Amp el pH disminuyó a valores 7,3.

Por otro lado, a los 120 minutos el pH se estandarizó entre los dos voltajes llegando a 9,62 para los 7 Amp y 9,45 para los 15 Amp, un pH elevado como el que se presentó en esta figura indica alcalinidad dentro del agua tratada con electrodos de hierro. Para el pH, en la Figura 4.1 con el hierro, la desviación estándar fue de 1,05. Sin embargo, en la Figura 4.1 para el aluminio se presentan los resultados relativos al pH con electrodo de aluminio. La observación de la figura revela los siguientes patrones: durante una reacción de 30 minutos a 7 Amp, el pH se registró en 8,91; sin embargo, al mismo intervalo temporal, pero con 15 Amp, el pH descendió a 7,9.

Por otro lado, a los 120 minutos, el pH presentó una convergencia entre las dos intensidades de voltaje, situándose en un pH de 9 para 7 Amp y un pH 8,29 para 15 Amp. Esta elevada fluctuación del pH en la figura es indicativa de alcalinidad en el agua sometida a tratamiento con electrodos de aluminio y hierro. En cuanto al pH en la Figura 4.1 con el aluminio, se calculó una desviación estándar de 0,52.

Tabla 4.3 Datos de variación de pH

ELECTRODOS	TIEMPO (min)	VOLTAJE (Amp)	pH
HIERRO	30	7	8,78
HIERRO	30	15	7,3
HIERRO	120	7	9,62
HIERRO	120	15	9,45
ALUMINIO	30	7	8,91
ALUMINIO	30	15	7,9
ALUMINIO	120	7	9
ALUMINIO	120	15	8,29

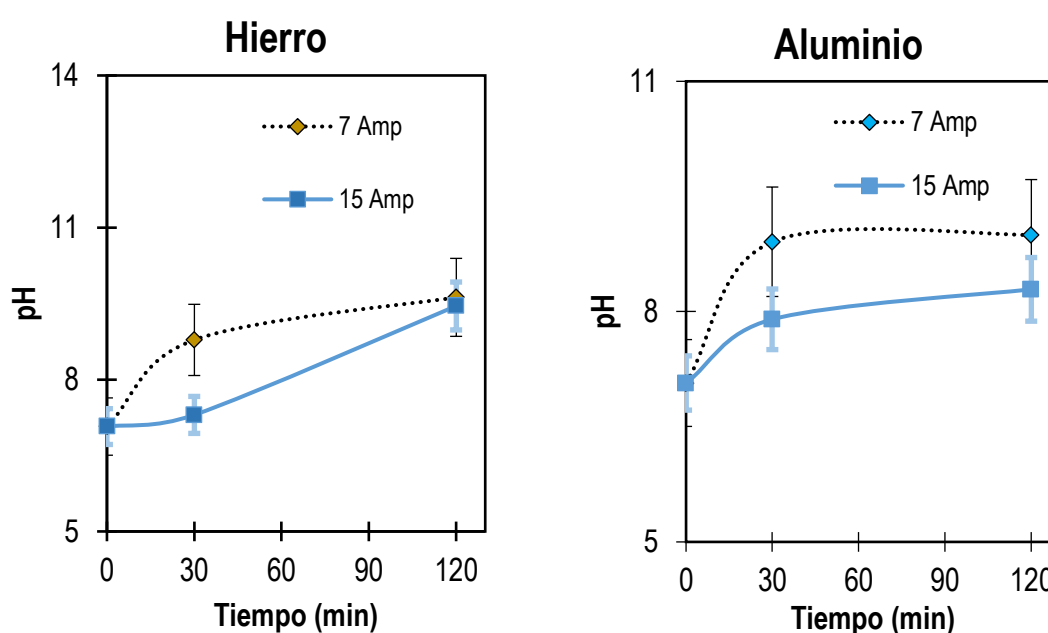


Figura 4.1 Variación de pH.

De acuerdo con Muñoz y Velázquez (2022) en su estudio donde trató aguas residuales de una textilera aplicando la electrocoagulación con electrodos de hierro tuvo como resultado una variación de pH que va desde 8,99 a 9,95 una vez aplicadas sus distintas variables de operación.

Por otro lado, Ayuque y Carhuapoma (2021) en su investigación donde trató agua residual del Camal Municipal del distrito de Huancavilca con electrodos de aluminio tuvo como resultados variaciones de pH que se encontraban en un rango de 6,04 a 7,70 una vez aplicados sus distintos tratamientos con sus respectivas variables de operación. En contraste con lo presentado en la bibliografía, en el presente trabajo

los resultados del pH en el caso del electrodo de Hierro fueron de 7,3 a 9,62 y para el aluminio de 7,9 a 9,0. Entonces, cabe resaltar que los valores del pH al final del tratamiento dependerán del tipo de electrodo, pH inicial.

En la figura 4.2, se observan los resultados de conductividad eléctrica en función del tiempo de reacción y amperaje, para los electrodos de hierro y aluminio que también se aprecian en la tabla 4.4. Como se observa en la figura en los electrodos de hierro, cuando la reacción ocurrió durante 30 minutos a un voltaje de 7 Amp, la conductividad eléctrica fue 0,83 mS/cm mientras que, al mismo tiempo, pero a 15 Amp la conductividad eléctrica aumento a 1 mS/cm, mientras que a los 120 minutos la conductividad eléctrica disminuyo tanto para los 7 Amp que obtuvo resultados de 0,74 mS/cm y en los 15 Amp tuvo 0,84 mS/cm. Para la conductividad eléctrica, la desviación estándar para el hierro fue de 0,11 mS/cm.

Para el electrodo de aluminio, al examinar detenidamente la figura, se percibe que, en una reacción de 30 minutos a 7 Amp, la conductividad eléctrica registrada fue de 1,21 mS/cm. Por otro lado, en el mismo intervalo de tiempo, pero con 15 Amp, la conductividad eléctrica se elevó a 1,33 mS/cm. Asimismo, al llegar a los 120 minutos, la conductividad eléctrica mostró una disminución tanto para 7 Amp, donde los resultados se establecieron en 1,16 mS/cm, como para 15 Amp, que alcanzó 1,06 mS/cm. Para los datos de conductividad eléctrica en aluminio se calculó una desviación estándar de 0,11 mS/cm.

Tabla 4.4 Datos de variación de conductividad eléctrica

ELECTRODOS	TIEMPO (min)	VOLTAJE (Amp)	COND. ELECT. (mS/cm)
HIERRO	30	7	0,83
HIERRO	30	15	1
HIERRO	120	7	0,74
HIERRO	120	15	0,84
ALUMINIO	30	7	1,21
ALUMINIO	30	15	1,33
ALUMINIO	120	7	1,16
ALUMINIO	120	15	1,06

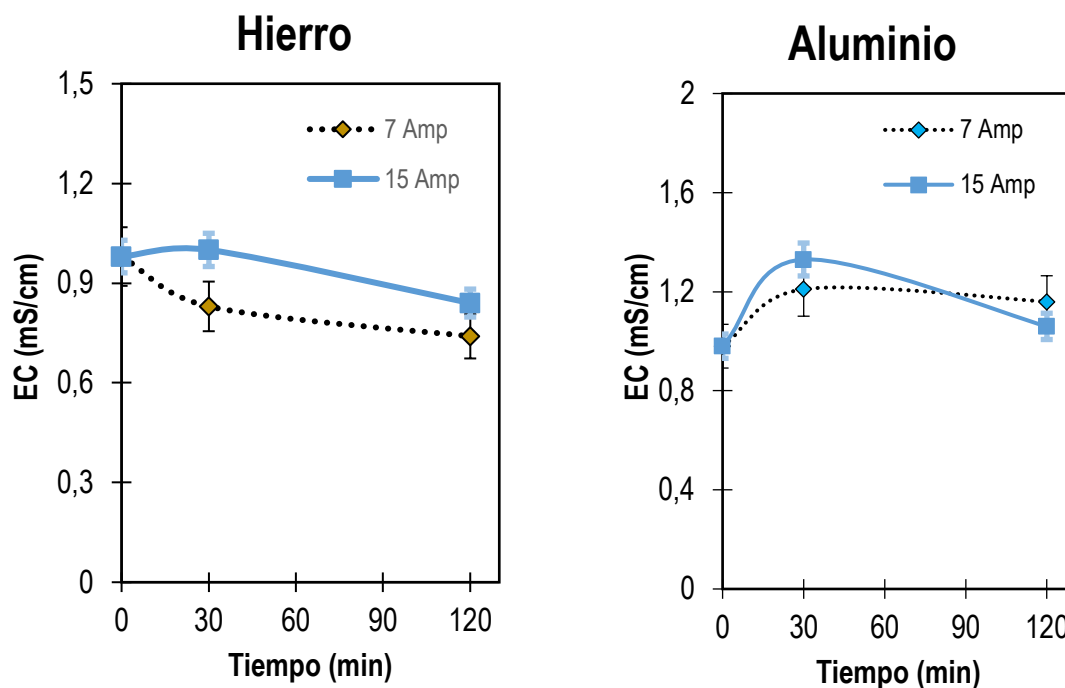


Figura 4.2. Variación Conductividad eléctrica

De acuerdo con Cruz et al. (2019) en su estudio donde trató aguas residuales de una textilería aplicando la electrocoagulación con electrodos de hierro tuvo como resultado una variación de conductividad eléctrica que van desde 262 a 573 $\mu\text{S}/\text{cm}$ una vez aplicados sus distintas variables de operación.

Por otro lado Chen et al. (2021) en su investigación donde trató agua residual de una industria porcina con electrodos de aluminio tuvo como resultados variaciones de conductividad eléctrica que se encontraban en un rango de 2,5 a 4,36 mS/cm una vez aplicados sus distintos tratamientos con sus respectivas variables de operación, mientras que en el presente trabajo los resultados de conductividad en el caso del electrodo de hierro fueron de 0,74 a 1,0 mS/cm y para el aluminio de 1,06 a 1,21 mS/cm .

En la figura 4.3, se aprecian los resultados de turbidez en función del tiempo de reacción y amperaje, para los electrodos de hierro y aluminio que también se aprecian en la tabla 4.5. Como se observa en la figura en los electrodos de hierro, cuando la reacción ocurrió durante 30 minutos a un voltaje de 7 Amp, la turbidez fue

563 NTU mientras que, al mismo tiempo, pero a 15 Amp la turbidez disminuyó a 517 NTU.

A los 120 minutos la turbidez disminuyó tanto para los 7 Amp que obtuvo resultados de 326 NTU y en los 15 Amp tuvo 329 NTU. Para la turbidez, utilizando hierro, la desviación estándar fue de 124.12 NTU. Focalizando en el uso del electrodo de aluminio, al examinar detalladamente la figura, se advierte que, en una reacción de 30 minutos a 7 Amp, la turbidez registrada se situó en 580 NTU. Por otro lado, en el mismo tramo temporal, pero con 15 Amp, la turbidez descendió a 227 NTU. Además, al llegar a los 120 minutos, la turbidez disminuyó tanto para 7 Amp, obteniendo resultados de 533 NTU, como para 15 Amp, que alcanzaron 54 NTU. Estos valores sugieren una eliminación de turbidez de más del 96%. En cuanto a los datos de turbidez en aluminio, se calculó una desviación estándar de 251,08 NTU.

Tabla 4.5 Datos de variación de turbidez

ELECTRODOS	TIEMPO (min)	VOLTAJE (Amp)	TURBIDEZ (NTU)
HIERRO	30	7	563
HIERRO	30	15	517
HIERRO	120	7	326
HIERRO	120	15	329
ALUMINIO	30	7	580
ALUMINIO	30	15	227
ALUMINIO	120	7	533
ALUMINIO	120	15	54

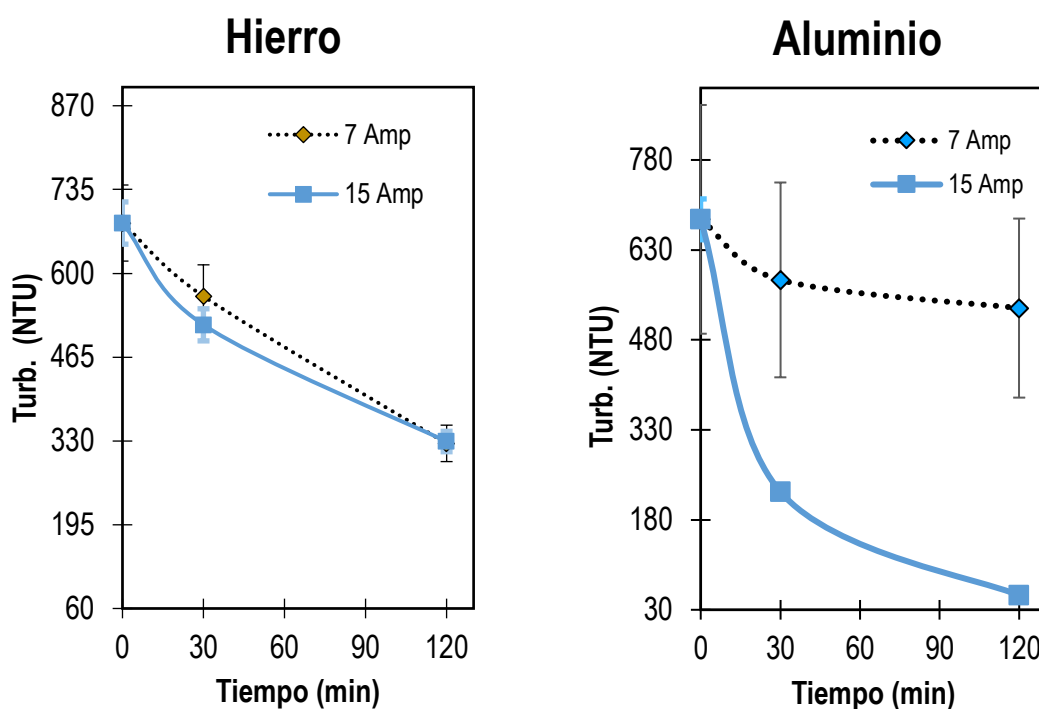


Figura 4.3. Variación de Turbidez.

Para Velásquez (2017) en su investigación donde trató aguas residuales de un centro de faenamiento porcino aplicando la electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio tuvo como resultado una eliminación de turbidez que va desde 850 a 91 NTU una vez aplicados sus distintas variables de operación. Sin embargo, Mores et al., (2018) en su investigación donde trató agua residual de una industria textilera con electrodos de aluminio y hierro tuvo como resultados una variación de turbidez que fue de 64 a 3,5 NTU una vez aplicados sus distintos tratamientos con sus respectivas variables de operación.

En el presente trabajo los resultados de turbidez en el caso del electrodo de hierro fueron de 681 a 326 NTU y para el aluminio de 681 a 54 NTU.

En la figura 4.4, se resumen los resultados de color en función del tiempo de reacción y amperaje, para los electrodos de hierro y aluminio que también se aprecian en la tabla 4.6. Como se observa en la figura en los electrodos de hierro, cuando la reacción ocurrió durante 30 minutos a un voltaje de 7 Amp, el color fue 460 Pt/Co mientras que, al mismo tiempo, pero a 15 Amp el color disminuyó a 415 Pt/Co.

A los 120 minutos, el color disminuyó tanto para los 7 Amp que obtuvo resultados de 214 Pt/Co y en los 15 Amp tuvo 342 Pt/Co, observando una mayor remoción de color con el tratamiento a 7 Amp. Para el color, en la Figura 4.4, la desviación estándar para hierro fue de 107.46 Pt/Co.

Por otra parte, se resumen los resultados de color para el electrodo aluminio, como se observa en la figura, cuando la reacción ocurrió durante 30 minutos a un voltaje de 7 Amp, el color fue 490 Pt/ Co mientras que, al mismo tiempo, pero a 15 Amp el color disminuyó a 187 Pt/ Co, mientras que a los 120 minutos el color disminuyó tanto para los 7 Amp que obtuvo resultados de 420 Pt/ Co y en los 15 Amp tuvo 50 Pt/ Co, observando una mayor remoción de color con el tratamiento a 15 Amp. Para el color, la desviación estándar para aluminio fue de 204.18 Pt/ Co.

Tabla 4.6 Datos de variación de color

ELECTRODOS	TIEMPO (min)	VOLTAJE (Amp)	COLOR (Pt/Co)
HIERRO	30	7	460
HIERRO	30	15	415
HIERRO	120	7	214
HIERRO	120	15	342
ALUMINIO	30	7	490
ALUMINIO	30	15	187
ALUMINIO	120	7	420
ALUMINIO	120	15	50

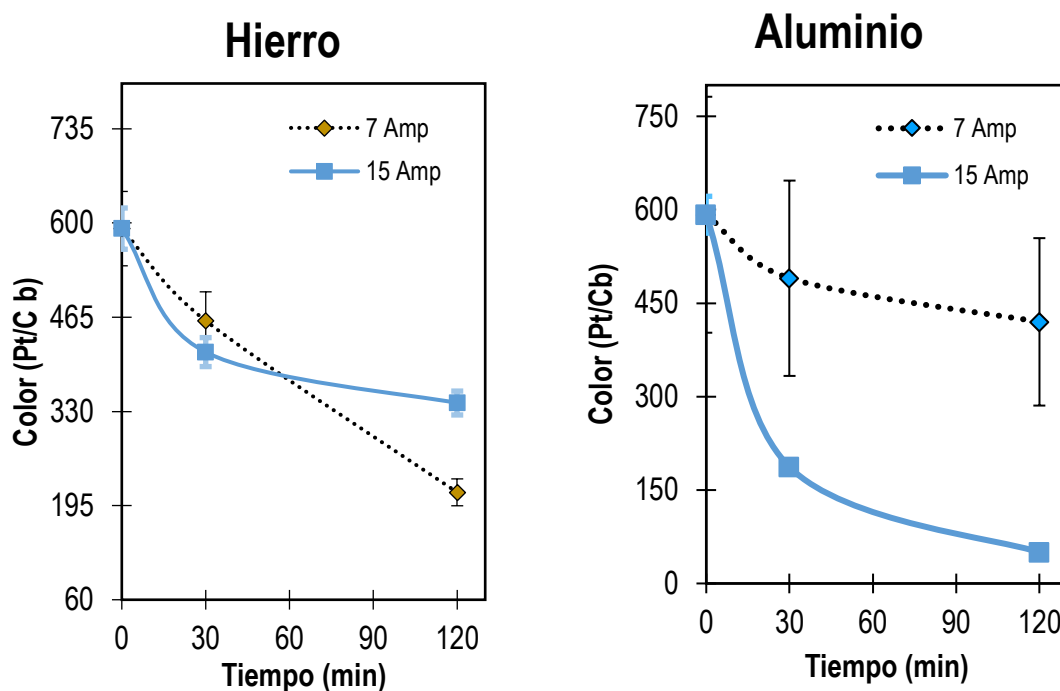


Figura 4.4. Variación de Color.

Según Muñoz y Velázquez (2022) en su estudio donde trató aguas residuales de una textilería en Bogotá, Colombia aplicando la electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio tuvo como resultado una diversificación de color que fue desde 645 a 350 Pt/Co en el caso de hierro y de 650 a 102 Pt/Co, en el caso del aluminio una vez aplicados sus distintas variables de operación.

Por otro lado, Ruiz (2015) en su investigación donde trató agua residual de un camal porcino municipal en Huancavilca, Perú con electrodos de aluminio tuvo como resultados variaciones de color que se encontraban en un rango de 600 a 175 Pt/Co una vez aplicados sus distintos tratamientos con sus respectivas variables de operación.

En el presente trabajo, los resultados de color en el caso del electrodo de hierro fueron de 592 a 214 Pt/Co y para el aluminio de 592 a 50 Pt/Co.

En la Figura 4.5, se exhiben los resultados obtenidos mediante el empleo de electrodos de aluminio para la eliminación de turbidez. Se destaca que la eficacia

más significativa se logró con una remoción del 96%, alcanzada tras 120 minutos de tratamiento a una corriente constante de 15 Amp.

En la Figura 4.5, el hierro se observan los resultados con el propósito de reducir la turbidez. Es relevante subrayar que se removió un 52% después de 120 minutos de tratamiento. Este logro fue constante tanto para una corriente de 7 Amp como para una de 15 Amp.

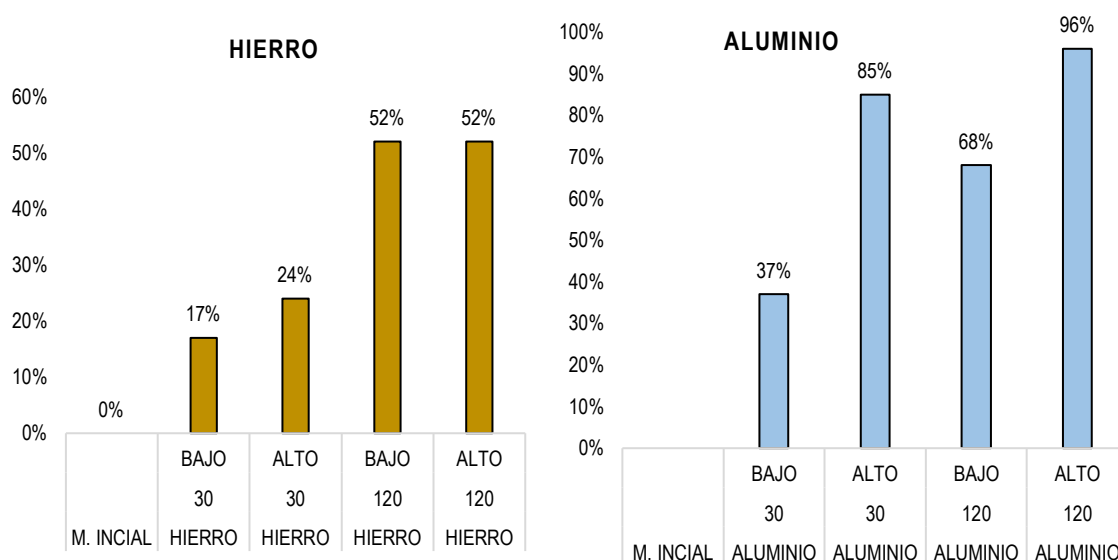


Figura 4.5. Porcentaje de remoción de turbidez

De acuerdo con Emerick et al. (2020) en su investigación donde trató aguas residuales de un centro de faenamiento porcino acompañada de ultrasonido para su posterior reutilización, aplicando la electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio tuvo como resultado una remoción de turbidez para los electrodos de aluminio de 97,4 %. Además, realizó un tratamiento con electrodos de hierro y aluminio obteniendo resultados de remoción de 96,2 %. Por otro lado Velásquez, (2017) en su investigación con agua residual urbana de Huancayo, Perú con electrodos de hierro y aluminio tuvo como resultados una remoción de turbidez de 96,09%.

En contraste, en el presente trabajo los resultados de remoción de turbidez en el caso del electrodo de hierro fueron de 52% y para el aluminio de 96%.

La Figura 4.6 presenta los resultados obtenidos al emplear electrodos de hierro con el fin de reducir la intensidad del color. Es digno de mención el hecho de que la eficacia más notable, marcada por una eliminación del 64%, se consiguió luego de un tratamiento de 120 minutos a una corriente constante de 7 amperios.

Sobre la remoción del color utilizando electrodo de aluminio, la eficacia más notable se alcanzó mediante una remoción del 96%. Este logro se materializó luego de 120 minutos de tratamiento con una corriente constante de 15 amperios.

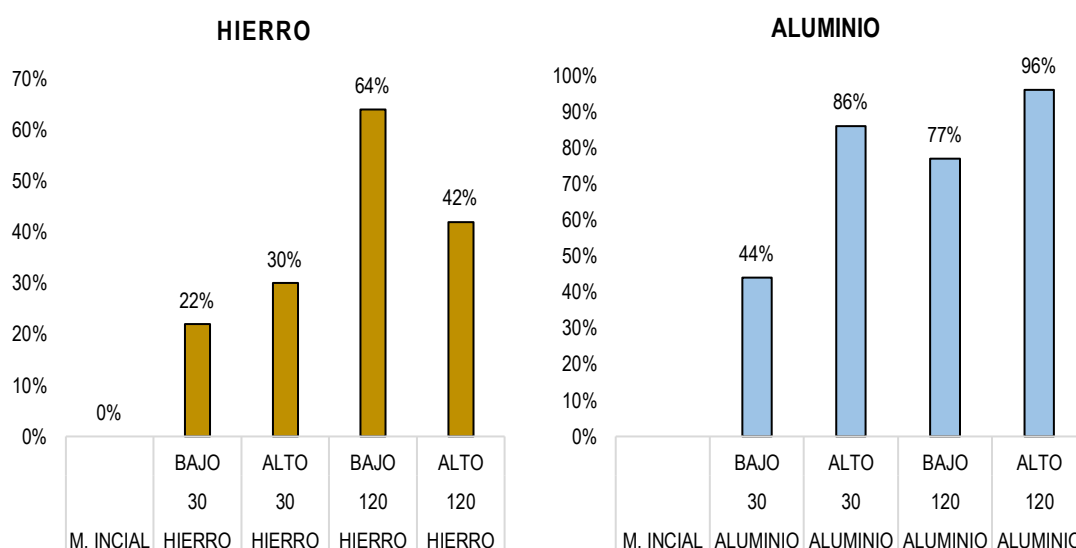


Figura.4.6. Porcentaje de remoción de color

Para Chen et al., (2021) en su estudio con aguas residuales de una industria textilera aplicando la electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio tuvo como resultado una remoción de color de 98 %. Por otro lado, Jauregui y Melo, (2020) en su investigación en un centro de faenamiento porcino acompañada de ultrasonido, aplicando la electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio tuvo como resultado una remoción de color para los electrodos de aluminio de 97 %. Además, realizó un tratamiento con electrodos de hierro y aluminio obteniendo resultados de remoción de color de 95,5 % una vez aplicados sus distintas variables de operación, mientras que en el presente trabajo los resultados de remoción de color en el caso del electrodo de hierro fueron de 64% y para el aluminio de 96%.

4.3. FASE III: REALIZACIÓN DE LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR MEDIO DE LA ELECTROCOAGULACIÓN EN EL HATO PORCINO DE LA ESPAM MFL.

La Tabla 4.7 proporciona una visión detallada de los materiales y equipos empleados en la creación del sistema de electrocoagulación. Entre los componentes más esenciales de este sistema, destaca la fuente de alimentación, que representó un gasto total de 300 USD. Además, se cuenta con el reactor de electrocoagulación, cuyo coste ascendió a 140 USD. Adicionalmente, se considera el consumo energético, que implicó un desembolso de 0,38 USD por cada 160 litros. Es decir, para un metro cúbico de agua residual, la inversión en consumo eléctrico será de 2,40 USD.

Este proceso de tratamiento se desarrolló a lo largo de un lapso de 12 días, realizando sesiones diarias de 120 minutos y empleando una muestra de 20 litros.

Tabla 4.7. Valoración económica del tratamiento.

Equipos	Material	Precio Unitario (USD)	Cantidad Necesaria	Costo Total (USD)
Fuente de poder	Transformador 120-24V 50 ^a	300	1	300
Reactor de Electrocoagulación	Placa de Aluminio	5	4	20
	Placa de Hierro	5	4	20
	Celda de Electrocoagulación	80	1	80
	Llave de agua	2,5	2	5
	Manguera	2,5	1 m	2,5
	Cable flexible numero 16	0,1858	12 m	2,23
	Tuerca	0,3125	32	10
	Terminal de ojo	0,1009	8	0,8
Costo del Tratamiento	Consumo de Energía Eléctrica	0,09	4,32 KW	0,38
TOTAL				460,91

Fuente: Los autores

Según Guanoluiza, (2016) para tratar la descarga del colector municipal Anglo-French en Quito, se propuso la construcción de un sistema de electrocoagulación en una piscina con una capacidad de 2,525 metros cúbicos. El costo total de esta instalación se estimó en 1,048,414 USD. Esta estimación se basó en el costo del hierro y aluminio, que asciende a 10 USD por kilogramo, y en el consumo de energía, que fue de 0,86 kWh. El costo por kWh, según el pliego tarifario de la Empresa Eléctrica de Quito, es de 0,11 USD, lo que significa que el consumo de energía del sistema es de 0,09 USD/m³ durante 60 minutos.

De acuerdo con Martínez, (2020) en un estudio sobre el tratamiento de los efluentes líquidos de la industria Textiles Tornasol en Quito, se destaca la importancia de la electrocoagulación para eliminar contaminantes coloidales. Esta técnica utiliza energía eléctrica a 62 voltios y 6 amperios, con un caudal de 2 litros por minuto. Para tratar un metro cúbico de agua se necesitan 8,3 horas y un consumo de 3,08 kWh, con un costo eléctrico de 6,83 centavos por kWh. Estos datos son esenciales para evaluar la viabilidad económica de este proceso.

En concordancia con Niazmand et al., (2019), para el proyecto de tratamiento de aguas residuales en un centro de faenamiento bovino en Egipto, se utilizó un reactor de electrocoagulación de 3 litros. El análisis de costos reveló que el consumo de electrodos fue de 0,6 kg y el consumo eléctrico de 0,09 kWh, con un costo total de energía de 1,35 USD debido a una tarifa local de 15 USD por kWh. Sin embargo, según Hellal et al., (2023) en su estudio sobre el tratamiento del procesamiento de aceitunas, se ha demostrado que utilizar placas de aluminio resulta en un menor costo operativo debido a su mayor eficacia en la remoción de contaminantes. En el estudio, se logró una reducción significativa de la turbidez, alcanzando el 78,51%, 90,44% y 97,92% de eliminación, respectivamente. Todo esto se logró con un consumo de energía de 12,0 kWh, con un costo de energía de 0,12 USD/kWh.

En contraste con el presente trabajo, es evidente que existe una conexión significativa con lo antes mencionado. Este vínculo se hace patente en el estudio realizado, donde se determinó que el costo total de la instalación de un reactor de 20 litros ascendió a 460,91 USD, y el consumo de energía asociado fue de 4,32 kWh. Es importante mencionar que el costo por kWh, según las tarifas establecidas por la

Empresa Eléctrica de Manabí, se sitúa en 0,09 USD/kW. Esto implica que el consumo de energía del sistema se traduce en un gasto de 0,38 USD durante un período de 120 minutos por 12 días.

La relación entre los costos de instalación y el consumo de energía exhibe resultados altamente positivos en cuanto a la eficiencia y viabilidad económica del sistema, como detalla la tabla 4.8. Este hallazgo subraya la imperante necesidad de evaluar minuciosamente estos aspectos durante la planificación y ejecución de proyectos similares en el futuro, destacando el caso de estudio del hato porcino de la ESPAM MFL. A medida que el tiempo avanza, y con la proyección de un aumento en la población de animales, se anticipa un incremento en la generación de aguas residuales. La falta de un tratamiento adecuado podría dar lugar a impactos negativos en el ecosistema circundante. Por ende, se llevó a cabo un escalamiento para proyectar un volumen de 5 m³ de aguas residuales, revelando un costo de inversión inicial aproximado de \$2000, como se detalla a continuación.

Tabla 4.8. Datos comparativos de distintos estudios

Empresas	Caudal (m³)	Consumo energético (Kw/h)	Duración tratamiento (Horas)	Costo de energía (\$)	Costo total del sistema (\$)
Anglo_French	2525	0,96	1	0,11	1'048.414
Tornasol	1	3,08	8,3	0,683	1200
Centro de faenamiento	0,003	0,09	1	15	300
Procesamiento de aceitunas	1	12	1	0,12	1200
Hato porcino ESPAM	5	1,8	2	0,09	2000

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- En relación al objetivo de caracterizar la calidad del efluente procedente del hato porcino de la ESPAM MFL, se llega a la conclusión de que el agua residual presenta niveles elevados de contaminantes, con valores registrados de 681 NTU y 592 Pt/Co. Es decir, el efluente no se ajusta a los límites de descarga máximos permitidos según el TULSMA libro VI Anexo 1, de acuerdo con este reglamento, los valores admisibles para las descargas en cuerpos de agua dulce se encuentran en un rango que no debe exceder el límite de 100 NTU.
- Las condiciones del sistema de electrocoagulación removieron el 96% de turbidez y 96% de color fue aquel con electrodo de aluminio para un tiempo de 120 min de reacción a un voltaje de 15 A logrando un pH final de 7,6.
- La evaluación económica del tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación en el hato porcino de la ESPAM MFL revela que la inversión inicial en esta tecnología ascendió a 460,91 USD para un caudal promedio de 20 litros. Es importante destacar que, dado que el tratamiento se llevó a cabo durante un período de 12 días, con una duración diaria de 120 minutos, el costo de la energía eléctrica no resultó prohibitivamente alto en este contexto específico. La valoración económica establece que el costo energético por cada metro cúbico de agua residual tratada fue de 2,40 USD, lo que respalda la viabilidad económica de esta tecnología en esta aplicación.
- Los resultados obtenidos en este estudio respaldan la hipótesis alternativa la cual indica que la electrocoagulación permite remover turbidez en al menos un tratamiento para mejorar la calidad del efluente que se descarga del hato porcino de la ESPAM MFL, ya que el tratamiento utilizando el electrodo de aluminio con una corriente eléctrica de 15 Amp y un tiempo de 120 minutos logro remover un 96% de turbidez del agua residual producida por el hato porcino de la ESPAM MFL.

RECOMENDACIONES

- Se debe considerar la tecnología de electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales del hato porcino de la ESPAM MFL debido a los resultados satisfactorios obtenidos. Además, explorar su aplicación en otros procesos relacionados con la gestión de aguas residuales puede mejorar la eficiencia y sostenibilidad. Es importante mantener un seguimiento constante de los resultados y hacer ajustes según sea necesario para maximizar los beneficios. Esta tecnología puede contribuir significativamente a mejorar la calidad del agua y la sostenibilidad ambiental en la institución.
- Dado que se ha establecido que las condiciones de electrocoagulación con electrodos de aluminio, durante 120 minutos y una tensión eléctrica de 15 A, han demostrado ser óptimas en la remoción de turbidez, se recomienda implementar estas condiciones de manera continua en el tratamiento de las aguas residuales del hato porcino de la ESPAM MFL. Estas condiciones han logrado una significativa reducción del 96% en la turbidez del agua residual, lo que indica su eficacia. Mantener esta metodología de tratamiento puede contribuir de manera efectiva a mejorar la calidad del agua y promover la sostenibilidad ambiental en la institución.
- Después de evaluar los aspectos económicos del tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación en el hato porcino de la ESPAM MFL, es considerable llevar a cabo un análisis detallado de los costos y beneficios a largo plazo, considerando factores como el consumo de energía en operaciones más extensas y la rentabilidad general de la tecnología de electrocoagulación. Esto ayudará a tomar decisiones informadas sobre la implementación futura de este tipo de tratamiento en una escala más amplia.

BIBLIOGRAFÍA

- Abessa, D. M. de S., & Ambrozevicius, A. P. (2020). Chapter 10—Government initiative and policies on water conservation and wastewater treatment in Brazil. En P. Singh, Y. Milshina, K. Tian, D. Gusain, & J. P. Bassin (Eds.), *Water Conservation and Wastewater Treatment in BRICS Nations* (pp. 215-231). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818339-7.00010-2>
- Acuña, L. (2020, enero 10). *Aplicación del sistema de electrocoagulación a nivel de laboratorio con electrodos de aluminio y fierro para la reducción de los parametros fisicoquímicos de las aguas residuales del camal S.A.G.E.I.S.A. en el año 2018.* <https://www.semanticscholar.org/paper/Aplicaci%C3%B3n-del-sistema-de-electrocoagulaci%C3%B3n-a-de-y-Acu%C3%B1a-Lizet/da0385575e0344a0651c57b2e7224a87cb47da3d>
- Aguilar, E. (2015). Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 18(35), Article 35. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v18i35.11843>
- Aguilar, J. D., & Cornejo, R. C. (2021). *Remoción de materia orgánica mediante humedales artificiales con pasto saboya (panicum máximum) y pasto elefante (pennisetum purpureum) en aguas residuales bovinas* [bachelorThesis, Calceta: ESPAM MFL]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1650>
- Aguilar, K. A. (2019). *Diseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales con Humedales Artificiales para la Comunidad de Charcay, Provincia del Cañar (Ecuador).* <https://riunet.upv.es/handle/10251/119122>
- Al, M., Kara-Zaitri, C., & Mujtaba, I. M. (2020). *Wastewater Treatment by Reverse Osmosis Process.* CRC Press.
- Al Saati, N., Hussein, T., Abbas, M., Hashim, K. S., Al-Saati, Z., Kot, P., Sadique, M. M., Aljefery, M., & Carnacina, I. (2019). Statistical modelling of turbidity removal applied to non-toxic natural coagulants in water treatment: A case study. *Desalination and Water Treatment*, 150, 406-412. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23871>

- Alvino, Y. Y. (2019). Eficiencia de la electrocoagulación a nivel de laboratorio para tratamiento del agua residual del matadero municipal de Tingo María. *Universidad Nacional Agraria de la Selva*. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1473>
- Araque, I. D., Britto, M. C., Cuellar, L. Á., & Perico, N. R. (2018). Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento previo. *Revista de Tecnología*, 17, n.º 1. <https://doi.org/10.18270/rt.v17i1.2950>
- Araujo, L., Molina, S., & Noguera, L. (2018). Aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales como materia prima en la industria de la construcción: Revisión bibliográfica. *Revista Agunkuyâa*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.33132/27114260.1231>
- Arenas, A. C. (2021). *Métodos mixtos de investigación*. Magisterio.
- Arias, T., Salazar, P., Bessy, T., Córdova, V., Rodríguez, D., Arias-Lafargue, T., Salazar-Arrastre, P., Bessy-Horrutiner, T., Córdova-Rodríguez, V., & Rodríguez-Heredía, D. (2021). Opción de tratamiento para las aguas residuales del taller 1 de la empresa de fibrocemento. *Tecnología Química*, 41(1), 34-46.
- Arola, K., Van der Bruggen, B., Mänttari, M., & Kallioinen, M. (2019). Treatment options for nanofiltration and reverse osmosis concentrates from municipal wastewater treatment: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 49(22), 2049-2116. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1594519>
- Arteaga, V. M., Quevedo, A., Valle, D. H. del, Castro, M., Bravo-Vinaja, Á., Ramírez-Zierold, J. A., Arteaga-Cortez, V. M., Quevedo-Nolasco, A., Valle-Paniagua, D. H. del, Castro-Popoca, M., Bravo-Vinaja, Á., & Ramírez-Zierold, J. A. (2019). Estado del arte: Una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(5), 319-343. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12>
- Asif, M. B., & Zhang, Z. (2021). Ceramic membrane technology for water and wastewater treatment: A critical review of performance, full-scale applications, membrane fouling and prospects. *Chemical Engineering Journal*, 418, 129481. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129481>

- Asprilla, W. J., Ramírez, J. S., & Rodríguez, D. C. (2020). Humedales artificiales subsuperficiales: Comparación de metodologías de diseño para el cálculo del area superficial basado en la remoción de la materia organica. *Revista Ingenierías USBMed*, 11(1), 65-73.
- Ayuque, J. C., & Carhuapoma, J. Á. (2021). *EFICIENCIA DE UNA CÁMARA DE ELECTROCOAGULACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DISTRITO DE HUANCAVELICA*.
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3944>
- Azuero, Á. E. A. (2019). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 4(8 (Julio-Diciembre)), 110-127.
- Ball, B. R., Roy, R. C., Topp, E., & Lapen, D. R. (2016). Tile Water Quality following Liquid Swine Manure Application into Standing Corn. *Journal of Environmental Quality*, 36(2), 580-587.
<https://doi.org/10.2134/jeq2006.0306>
- Basantes, C. E. (2021). *Diseño de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales de la comunidad de Alacao, provincia de Chimborazo (Ecuador)*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/177715>
- Baylón, M., Roa Castro, K., Libio Sánchez, T., Tapia Ugaz, L., Jara Pena, E., Macedo Prada, D., Salvatierra Sevillano, A., & Dextre Rubina, A. (2018). Evaluación de la diversidad de algas fitoplanctónicas como indicadores de la calidad del agua en lagunas altoandinas del departamento de Pasco (Perú). *Ecología Aplicada*, 17(1), 119-132.
<https://doi.org/10.21704/rea.v17i1.1180>
- Bejarano, M., & Carvajal, M. E. (2015). Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. *Ingeniería Ambiental y Sanitaria*.
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/299
- Benítez, M. B., Champagne, P., Ramos, A., Torres, A. F., & Ochoa-Herrera, V. (2019). Wastewater treatment for nutrient removal with Ecuadorian native microalgae. *Environmental Technology*, 40(22), 2977-2985.
<https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1459874>

- Bennett, N. J., Whitty, T. S., Finkbeiner, E., Pittman, J., Bassett, H., Gelcich, S., & Allison, E. H. (2018). Environmental Stewardship: A Conceptual Review and Analytical Framework. *Environmental Management*, 61(4), 597-614. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0993-2>
- Bernal, D., Cardona, D., Galvis-Castaño, A., & Peña, M. (2022). *GUIA DE SELECCION DE TECNOLOGIA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS POR METODOS NATURALES*.
- Borja, D., Llangarí, K. S., & Moina, H. B. (2019). Cuantificación de efluentes de aguas residuales del Camal Frigorífico Riobamba. *Ciencia Digital*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.497>
- Bunce, J. T., Ndam, E., Ofiteru, I. D., Moore, A., & Graham, D. W. (2018). A Review of Phosphorus Removal Technologies and Their Applicability to Small-Scale Domestic Wastewater Treatment Systems. *Frontiers in Environmental Science*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2018.00008>
- Cabral, A., Bercovich, M. V., & Fonseca, A. (2019). Implications of poor-regulated wastewater treatment systems in the water quality and nutrient fluxes of a subtropical coastal lagoon. *Regional Studies in Marine Science*, 29, 100672. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100672>
- Cabrera, J. J. H., Alcivar, L. C. M., Navarrete, C. A. D., Endara, A. M. G., Moreno, J. H., & Tomalá, J. A. S. (2022). Evaluation of biological wastewater treatment in stabilization lagoons from Punta Carnero, Salinas—Ecuador. *Revista Ambiente & Agua*, 17. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2822>
- Calderón, A. A., & Castillo, G. G. (2022). *Elaboración de bolsas de plástico biodegradable A base del almidón de papa (Solanum tuberosum L.) variedad superchola, ESPAM MFL* [bachelorThesis, Calceta: ESPAM MFL]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1905>
- Cañete, C. (2019). La importancia del control y monitoreo de la calidad del agua del Río Paraguay para el desarrollo y la defensa nacional. *Reportes Científicos de la FACEN*, 10(1), Article 1.
- Cárdenas, C., Yabroudi, S. C., Benítez, A., Páez, K., Perruolo, T., Angulo, N., Araujo, I., & Herrera, L. (2012). Desempeño de un reactor biológico

- secuencial (RBS) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(2), 111-120.
- Cardozo, J. A. Q., Prado-Castillo, L. F., Zarta, G. G., Quintero, E. M. M., & Cogollo, H. D. (2018). Integration of Biodiversity in Reducing Pollution in Water. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 3(3), Article 3. <https://ijeab.com/detail/integration-of-biodiversity-in-reducing-pollution-in-water/>
- Castillo, J. G., & Chimbo, J. E. (2021). Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. *Enfoque UTE*, 12(2), 80-99. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>
- Castro, E. M. M. (2019). Bioestadística aplicada en investigación clínica: Conceptos básicos. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 30(1), 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2018.12.002>
- Cazco, A. J., & Jarrín, S. A. (2016). *Diseño, construcción y análisis de los parámetros de operación de un sistema de electrocoagulación* [bachelorThesis, QUITO/EPN/2011]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2678>
- Cedeño, D., Salabarría, L., Delgado, M., Delgado, C., & Fajardo, P. (2020). EVALUACIÓN DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. *Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria*. https://www.researchgate.net/profile/Piero-Navarrete/publication/343514874_Mikarimin_Revista_Cientifica_Multidisciplinaria/links/5f2ddc2e299bf13404ad9961/Mikarimin-Revista-Cientifica-Multidisciplinaria.pdf
- Centeno, E., & Murillo, A. (2019). Tipología de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales ordinarias instaladas en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(2), 97-110. <https://doi.org/10.15359/rca.53-2.5>
- Centeno, L. G., Quintana, A., & López, F. L. (2019). Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales, Trujillo, Perú. *Arnaldoa*, 26(1), 433-446. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26123>

- Chacon, F. M., & Huampotupa, C. K. (2021). *Electrocoagulación de aguas residuales en la industria láctea Ramírez—Anta—Compone*. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5962>
- Chauca, J., Rosales, M., Muñoz, D., & Banchón, C. (2018). Finding Chemical Pathways Toward the Valorization of Automobile-Service-Station Wastes. *2518-6841*. <https://doi.org/10.18502/keg.v3i1.1467>
- Chávez, G. A. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, Ventajas y Desventajas. *Journal of the Selva Andina Research Society*, *9*(1), 52-61.
- Chen, R.-F., Wu, L., Zhong, H.-T., Liu, C.-X., Qiao, W., & Wei, C.-H. (2021). Evaluation of electrocoagulation process for high-strength swine wastewater pretreatment. *Separation and Purification Technology*, *272*, 118900. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118900>
- Choque, D., Choque, Y., Solano, A. M., & Ramos, B. S. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, *38*(2), 298-309.
- Cirujeda, J. R. (2019). *Aguas residuales urbanas*. Editorial Elearning, S.L.
- Crini, G., & Lichtfouse, E. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, *17*(1), 145-155. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9>
- Cruz, K. D., Francisco, J. T. J., Mellendrez, K. J. M., & Pineda, J. M. F. (2019). Electrocoagulation treatment of swine slaughterhouse wastewater: Effect of electrode material. *E3S Web of Conferences*, *117*, 00020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911700020>
- Cruz, L., Abad, J., Zapata, C., Velázquez, J., & Guadalupe, M. (2018). *Efecto de la inulina oral sobre rendimiento, valores hematológicos y perfil lipídico en conejos de engorda* (p. 503).
- Cuello, L. F. S., Hernández, L. F. R., & Miranda, J. P. R. (2018). Evaluación del postratamiento de aguas residuales municipales mediante la utilización de macrofitas como las lentejas de agua (lemma minor) en lagunas de estabilización. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, *10*(2), 153-157.
- Cuicas, J. R. P., & Cuadra, R. L. A. (2017). *Evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable*. 15.

- Cusiche, L. F., & Miranda, G. A. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional 'Lago Junín', Perú. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1433-1447. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1870>
- Dávalos, A. B., Vilema, M. E., Morales, S. C., & Erazo, C. R. R. (2019). Monitoreo microbiológico para la gestión ambiental de Aguas Residuales Hospitalarias. *Ciencia Digital*, 3(3.4.), Article 3.4. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.4..882>
- Díaz, M. A. D., Trasancos, L. R., Alemán, D. S., Núñez, R. T., Pineda, N. la M., & Muñoz, C. L. S. (2019). EVALUACIÓN DE TRATAMIENTO QUÍMICO PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS CÁRNICOS. *Revista Centro Azúcar*, 46(5), Article 5.
- Dobrosz, I., Gómez-García, M. Á., Ibarra-Táquez, H. N., Dobrosz-Gómez, I., Gómez-García, M. Á., & Ibarra-Táquez, H. N. (2020). Tratamiento de aguas residuales de la industria del café soluble vía Electrocoagulación—Oxidación Anódica. Selección de los electrodos. *Revista EIA*, 17(34), 126-142. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1328>
- Domingues, E., Fernandes, E., Gomes, J., & Martins, R. C. (2021). Advanced oxidation processes perspective regarding swine wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 776, 145958. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145958>
- Domínguez, M. F., Ardila, A. M., & Ayala, J. O. (2018). Optimización de un sistema de tratamiento de aguas residuales de vertimiento de la planta de beneficio aurífero en el municipio de Vetas, Santander. *Documentos de Trabajo ECAPMA*, 2, Article 2. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2946>
- Droste, R. L., & Gehr, R. L. (2018a). *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. John Wiley & Sons.
- Droste, R. L., & Gehr, R. L. (2018b). *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. John Wiley & Sons.
- Duque, P., Heras, C., Lojano, D., & Vilorio, T. (2018). Modelamiento del tratamiento biológico de aguas residuales; estudio en planta piloto de contactores biológicos rotatorios. *Revista Ciencia Unemi*, 11(28), 88-96.

- Ebba, M., Asaithambi, P., & Alemayehu, E. (2021). Investigation on operating parameters and cost using an electrocoagulation process for wastewater treatment. *Applied Water Science*, 11(11), 175. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01517-y>
- Echeverría, I., Escalante, C., Saavedra, O., Escalera, R., Heredia, G., & Montoya, R. (2021). EVALUACION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES BASADA EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN ACOPLADAS A UN REACTOR ANAEROBIO COMPARTIMENTADO. *Investigación & Desarrollo*, 21(1), 37-45.
- Emerick, T., Vieira, J. L., Silveira, M. H. L., & João, J. J. (2020). 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>
- Espitia, M. Á. M., Bermúdez, J. D. C., & Valencia, R. N. A. (2022). Electrocoagulación con electrodos de aluminio para tratamiento de aguas residuales de curtiembres en Villapinzón, Cundinamarca, Colombia. *Revista Mutis*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.21789/22561498.1783>
- Farkas, K., Hillary, L. S., Malham, S. K., McDonald, J. E., & Jones, D. L. (2020). Wastewater and public health: The potential of wastewater surveillance for monitoring COVID-19. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 17, 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.06.001>
- Ferrer, J., Seco, A., & Robles, A. (2021, julio 24). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. <https://web.archive.org/web/20210724110215/https://riunet.upv.es/handle/10251/113132>
- Ferro, D. E., Castiblanco, J. C., Agudelo, R. N., & Martínez, L. E. R. (2019). Evaluación de un sistema de centrifugación para el secado de lodos generados en el tratamiento de aguas residuales en la curtiembre El Escorpión del municipio de Villapinzón, Cundinamarca. *Revista Vínculos*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.14483/2322939X.15188>
- Firman, L. R., Ochoa, N. A., Marchese, J., & Pagliero, C. L. (2018). Tratamiento de efluentes acuosos provenientes de la industria de biodiesel, utilizando

- tecnología de membranas. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180002.0418>
- Flores, M. G., Cuevas, G., & Gonzalez, G. (2019). COMPARACIÓN DE UN BIORREACTOR CON MEMBRANAS SUMERGIDAS CON UN SISTEMA CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35, 57-64. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp03.07>
- Fu, Y., Horton, R., & Heitman, J. (2021). Estimation of soil water retention curves from soil bulk electrical conductivity and water content measurements. *Soil and Tillage Research*, 209, 104948. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104948>
- Fuente, J., González, S., Abeledo García, C. M., Sosa, R., & Mojena, D. (2018). *PROCEDIMIENTOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAR LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO EN LOS RESIDUALES PORCINOS UTILIZANDO MATERIA SECA Y SUS COMPONENTES*. 25, 55-61.
- Fúquene, D. M., & Yate, A. V. (2018a). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Documentos de Trabajo ECAPMA*, 1, Article 1. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2771>
- Fúquene, D. M., & Yate, A. V. (2018b). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Documentos de Trabajo ECAPMA*, 1, Article 1. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2771>
- Gallegos, B. E., & Prado, S. J. (2022). Estudio comparativo y medición de la eficiencia entre los electrodos de sacrificio de hierro (Fe) y aluminio (Al) en la remoción de aceites y grasas por el proceso de electrocoagulación de aguas residuales. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/14702>
- Gallo, N. A. N., & Jaimes, C. S. (2021). Afectación ambiental por las descargas directas de las aguas residuales sobre fuentes hídricas: Caso de estudio Tona Santander. *Cuadernos del CURIHAM*, 27, 85-91. <https://doi.org/10.35305/curiham.v27i.163>

- Gamboa, M. E. (2018). Estadística aplicada a la investigación educativa. *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/427>
- Gandarillas, V., Saavedra, O., Escalera, R., & Montoya, R. (2017). REVISIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE REACTORES UASB EN COCHABAMBA-BOLIVIA COMPARADAS CON LAS DE LATINOAMÉRICA, INDIA Y EUROPA. *Investigación & Desarrollo*, 1(17), 83-98.
- García, D., Muñoz, R., & Bolado, S. (2021). *BIODEGRADACIÓN FOTOSINTÉTICA DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN PORCINO: UNA ALTERNATIVA AMBIENTAL SOSTENIBLE*.
- García, F. P., Hernández, J. C., Cruz, V. E. R., & Santillán, Y. M. (2012). ELECTROCOAGULACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA DEPURACIÓN DE LACTOSUERO RESIDUAL. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, 51-77. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2012.5.3.34727>
- García, S., Eiband, M. M. S. G., Viera, J., & 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, 267-299. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.07.047>
- Gilpavas, E., Arbeláez-Castaño, P. E., Medina-Arroyave, J. D., Gómez-Atehortua, C. M., Gilpavas, E., Arbeláez-Castaño, P. E., Medina-Arroyave, J. D., & Gómez-Atehortua, C. M. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE COAGULACIÓN QUÍMICA ACOPLADA A PROCESOS FENTON INTENSIFICADOS CON ULTRASONIDO DE BAJA FRECUENCIA. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(1), 157-167. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.14>

- Giosa, E., Mammides, C., & Zotos, S. (2018). The importance of artificial wetlands for birds: A case study from Cyprus. *PLOS ONE*, *13*(5), e0197286. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197286>
- Goh, P. S., Wong, K. C., & Ismail, A. F. (2022). Membrane technology: A versatile tool for saline wastewater treatment and resource recovery. *Desalination*, *521*, 115377. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115377>
- González, L. O., & García, J. B. (2020). Elaboración de un modelo neuronal artificial para la estimación de turbiedad y proposición de dosificaciones en el tratamiento de aguas residuales de la industria avícola. *Informador Técnico*, *84*(1), Article 1. <https://doi.org/10.23850/22565035.1636>
- González, S., Fuente, J. L. de la, Mogená, D., Díaz, Y. M., Cruz, T., & Hernández, G. (2019). DISEÑO Y ORDENACIÓN DE ELEMENTOS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PORCINAS SEGÚN LA CATEGORÍA DEL CUERPO RECEPTOR. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=DISE%C3%91O+Y+ORDENACI%C3%93N+DE+ELEMENTOS+PARA+EL+TRATAMIENTO+DE+LAS+AGUAS+RESIDUALES+PORCINAS+SEG%C3%9AN+LA+CATEGOR%C3%8DA+DEL+CUERPO+RECEPTOR&author=Gonz%C3%A1lez+S.+Instituto+de+Investigaciones+Porcinas.+Carretera+del+Guatao%2C+km+1+Punta+Brava%2C+La+Lisa.+La+Habana%2C+Cuba&publication_year=2019
- González, Y., Quesada, I., Schetrite, S., Jáuregui, U. J., Albasi, C., González-Hernández, Y., Quesada Peñate, I., Schetrite, S., Jáuregui-Haza, U. J., & Albasi, C. (2020). UTILIZACIÓN DE UN BIORREACTOR CON MEMBRANAS SUMERGIDAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE UN HOSPITAL ONCOLÓGICO. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *36*(4), 945-956. <https://doi.org/10.20937/rica.53855>
- Guanoluiza, L. E. (2016). *Dimensionamiento de un sistema de electrocoagulación aplicado al tratamiento de aguas residuales domésticas, con y sin irradiación de electrones acelerados*

- [bachelorThesis, QUITO/EPN/2013].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7062>
- Guerra, J. C., Sánchez, V., Caballero, I., & Sánchez, F. (2016). IMPACTO DEL AGUA DEL ESTUARIO EN LA DURABILIDAD DEL PUENTE LOS CARAS. *REVISTA RIEMAT*, 1-6.
- He, L., Shen, J., & Zhang, Y. (2018). Ecological vulnerability assessment for ecological conservation and environmental management. *Journal of Environmental Management*, 206, 1115-1125.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.059>
- Hellal, M. S., Doma, H. S., & Abou-Taleb, E. M. (2023). Techno-economic evaluation of electrocoagulation for cattle slaughterhouse wastewater treatment using aluminum electrodes in batch and continuous experiment. *Sustainable Environment Research*, 33(1), 2.
<https://doi.org/10.1186/s42834-023-00163-0>
- Hernández, A. B., Moreno, J. C., & Sandoval, L. C. (2018). Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender. *RINDERESU*, 2(1-2), Article 1-2.
- Hernández, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4). McGraw-Hill Interamericana México.
- Ibarra, H. N., Dobrosz, I., & Gómez, M.-Á. (2018a). Optimización Multiobjetivo del Proceso Fenton en el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Producción de Café Soluble. *Información tecnológica*, 29(5), 111-122. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000500111>
- Ibarra, H. N., Dobrosz, I., & Gómez, M.-Á. (2018b). Optimización Multiobjetivo del Proceso Fenton en el Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la Producción de Café Soluble. *Información tecnológica*, 29(5), 111-122. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000500111>
- Jaramillo, E. X. (2016). *Diseño y construcción de un reactor de electrocoagulación para el estudio de tratamiento de agua residual de tintura y acabado textil* [bachelorThesis].
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2337>
- Jauregui, F. del P., & Melo, B. A. (2020). Tratamiento de las aguas residuales de la PTAR Covicorti—Trujillo mediante el método de electrocoagulación.

Repositorio Institucional - UCV.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/53759>

- Jauregui, U., & González, Y. (2022). Tendencias en la modelación matemática de biorreactores con membranas sumergidas para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.22206/cac.2022.v5i1.pp53-83>
- Jbari, Y., & Abderafi, S. (2020). Parametric study to enhance performance of wastewater treatment process, by reverse osmosis-photovoltaic system. *Applied Water Science*, 10(10), 217. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01301-4>
- Jiménez, Y. (2021). PROPUESTAS DE INDICADORES PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN EL SECTOR PORCINO NO ESTATAL DE LA PROVINCIA CUBANA DE CIEGO DE AVILA. *REVISTA COMPUTADORIZADA DE PRODUCCION PORCINA*. <http://www.iip.co.cu/RCPP/Inicioes.html>
- Kebe, O., Fernandez-Garcia, M.-D., Fall, A., Dia, H., Bidalot, M., Ambert-Balay, K., & Ndiaye, K. (2021). Prevalence and Genetic Diversity of Aichi Virus 1 from Urban Wastewater in Senegal. *Intervirology*, 64(2), 96-101. <https://doi.org/10.1159/000512130>
- Korzeniewska, E., & Harnisz, M. (2018). Relationship between modification of activated sludge wastewater treatment and changes in antibiotic resistance of bacteria. *Science of The Total Environment*, 639, 304-315. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.165>
- Koutsou, O. P., Gatidou, G., & Stasinakis, A. S. (2018). Domestic wastewater management in Greece: Greenhouse gas emissions estimation at country scale. *Journal of Cleaner Production*, 188, 851-859. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.039>
- Kumar, S., & Dutta, V. (2019). Constructed wetland microcosms as sustainable technology for domestic wastewater treatment: An overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(12), 11662-11673. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04816-9>

- Latan, H., Chiappetta Jabbour, C. J., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Wamba, S. F., & Shahbaz, M. (2018). Effects of environmental strategy, environmental uncertainty and top management's commitment on corporate environmental performance: The role of environmental management accounting. *Journal of Cleaner Production*, 180, 297-306. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.106>
- León, F., & Ramos, A. (2021). Sistema de medición en continuo de bajo coste para determinar la relación entre la conductividad eléctrica «eC» y la temperatura «t» en aguas salobres. *Dyna (Spain) [ISSN 0012-7361]*, v. 96 (4), p. 364-367, (Julio 2021). <https://doi.org/10.6036/9812>
- Li, X., Wu, S., Yang, C., & Zeng, G. (2020). Microalgal and duckweed based constructed wetlands for swine wastewater treatment: A review. *Bioresource Technology*, 318, 123858. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123858>
- Liu, H., Zhao, X., & Qu, J. (2018). Electrocoagulation in Water Treatment. En C. Comninellis & G. Chen (Eds.), *Electrochemistry for the Environment* (pp. 245-262). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-68318-8_10
- López, M. Á., Castellanos, O. P., Lango, F., Castañeda, M. del R., Montoya Mendoza, J., Sosa Villalobos, C. A., & Ortiz Muñoz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Enfoque UTE*, 12(4), 76-87. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.769>
- López, N. (2021). *Impacto de la pandemia por sars-cov-2 sobre la operación, mantenimiento y control de una planta de tratamiento de agua residual municipal*. <https://hdl.handle.net/10614/13637>
- Madrid, M. (2021). *Medio Ambiente y Salud en Senegal, Malí, Burkina Faso y Togo. Oportunidades para la Cooperación Técnica Española y Andaluza*. <http://tauja.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/14943>
- Magaña, L., Rojas Vargas, A., González-Díaz, Y., Ojeda-Arnaignac, E., Magaña-Irons, L., Rojas-Vargas, A., González-Díaz, Y., & Ojeda-Arnaignac, E. (2020). Remoción de contaminantes del residual lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio. *Tecnología Química*, 40(1), 17-34.

- Magaña, L., Rojas-Vargas, A., González-Díaz, Y., & Ojeda-Armaignac, E. (2020). Remoción de contaminantes del residual lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio. *Tecnología Química*, 40(1), 17-34.
- Magnisali, E., Yan, Q., & Vayenas, D. V. (2022). Electrocoagulation as a revived wastewater treatment method-practical approaches: A review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(1), 9-25. <https://doi.org/10.1002/jctb.6880>
- Magwaza, S. T., Magwaza, L. S., Odindo, A. O., & Mditshwa, A. (2020). Hydroponic technology as decentralised system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review. *Science of The Total Environment*, 698, 134154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134154>
- Malacatus, P. N., Bastidas, P. I., & Chuquitarco, P. A. (2019). Análisis químico y de peligrosidad de lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria de palma. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.1726>
- Mantari, C. J., & Maravi, J. R. (2020). Influencia del voltaje y del tiempo de residencia en la desnitrificación de aguas residuales por electrocoagulación, utilizando electrodos de aluminio. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5998>
- Marchese, D., Reynolds, E., Bates, M. E., Morgan, H., Clark, S. S., & Linkov, I. (2018). Resilience and sustainability: Similarities and differences in environmental management applications. *Science of The Total Environment*, 613-614, 1275-1283. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.086>
- Marín, J. C., Chinga Panta, C. A., Velásquez Ferrín, A. I., González Cabo, P. A., & Zambrano Rodríguez, L. M. (2015). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA PROCESADORA DE PESCADO EN REACTORES ANAERÓBICOS DISCONTINUOS. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(1), 27-42.

- Martínez, L. P. (2020). *Análisis del manejo de efluentes porcinos en Ecuador, su biodigestión y gestión ambiental sustentable* [masterThesis, Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22368>
- Martínez, M., Ferro, E., & de Pablos, F. (2016). Evaluación de cianuro libre en aguas superficiales del río Paraguay cercanas a una industria del acero. *Revista Boliviana de Química*, 33(2), 88-94.
- Martins, A., Salla, M. R., & Bolanos, M. L. (2019). Tratamiento de aguas residuales provenientes de industria de productos de limpieza y desinfectantes por ozonización convencional y catalítica. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27(2), 223-235. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052019000200223>
- Mejía, A., Cabrera, M., Carrillo, Y., Mejía-López, A., Cabrera, M., & Carrillo, Y. (2017). REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA MEDIANTE PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 26(2), 64-71. <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.06>
- Menéndez, C., & Dueñas, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(3), 97-107.
- Meneses, Y. M., Patiño, P. A., & Betancur, J. F. (2019). Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa de *Spirulina* sp, sedimentación primaria y precipitación química. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.22490/21456453.2326>
- Meoño, F. L., Taranco, C. G., & Olivares, Y. M. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(2), Article 2.
- Merizalde, E., Montenegro, L., Cabrera, M., Merizalde, E., Montenegro, L., & Cabrera, M. (2019). Estudio de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes de una Industria de Papel. *Revista Politécnica*, 43(1), 7-14.
- Montalván, A., Desdín, L., Peláez, E., Brígido-Flores, O., Sananastacio-Rebollar, I., Montalván-Estrada, A., Desdín-García, L., Peláez-Abellan, E., Brígido-Flores, O., & Sananastacio-Rebollar, I. (2019). Estado actual en el

- desarrollo de reactores fotocatalíticos de membranas, para el tratamiento de contaminantes orgánicos persistentes en el agua y las aguas residuales. *Tecnología Química*, 39(2), 421-443.
- Morales, C. A., Rivadeneira, B. F., & García, S. E. (2018). Digestión anaerobia de las aguas residuales de la industria del café instantáneo. *Revista ESPAMCIENCIA ISSN 1390-8103*, 9(1), Article 1.
- Moreira, O. (2021, mayo 17). *PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPACADORA DE BANANO VICTORIA, EN EL MUNICIPIO DE PUERTO VILLARROEL* [Other]. DDigital-UMSS.
<http://ddigital.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/23667>
- Mores, R., Mello, P. de A., Zakrzewski, C. A., Treichel, H., Kunz, A., Steffens, J., & Dallago, R. M. (2018). REDUCTION OF SOLUBLE ORGANIC CARBON AND REMOVAL OF TOTAL PHOSPHORUS AND METALS FROM SWINE WASTEWATER BY ELECTROCOAGULATION. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 35, 1231-1240. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20180354s20170300>
- Mores, R., Treichel, H., Zakrzewski, C. A., Kunz, A., Steffens, J., & Dallago, R. M. (2016). Remove of phosphorous and turbidity of swine wastewater using electrocoagulation under continuous flow. *Separation and Purification Technology*, 171, 112-117. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.07.016>
- Morillo, L. D., Naranjo Tovar, D. A., Pérez, J., Villacis Oñate, W. E., Vargas Jentsch, P., Muñoz Bisesti, F., Morillo Semanate, L. D., Naranjo Tovar, D. A., Pérez, J., Villacis Oñate, W. E., Vargas Jentsch, P., & Muñoz Bisesti, F. (2019). REMOCIÓN DE TENSOACTIVOS Y COLIFORMES EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE PROCESOS FENTON. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(4), 931-943. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.12>
- Municipio de Manta. (2021, junio 4). *Empieza profunda limpieza del cauce del río Burro*. manta.gob.ec. <https://manta.gob.ec/empieza-profunda-limpieza-del-cauce-del-rio-burro/>
- Muñoz, A. M., & Velázquez, C. A. (2022a). *Apropiación funcional de una celda de electrocoagulación con electrodos de hierro para el tratamiento de*

- aguas residuales de la industria textilera.
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/30136>
- Muñoz, A. M., & Velázquez, C. A. (2022b). *Apropiación funcional de una celda de electrocoagulación con electrodos de hierro para el tratamiento de aguas residuales de la industria textilera.*
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/30136>
- Nagarajan, D., Kusmayadi, A., Yen, H.-W., Dong, C.-D., Lee, D.-J., & Chang, J.-S. (2019). Current advances in biological swine wastewater treatment using microalgae-based processes. *Bioresource Technology*, 289, 121718. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121718>
- Nani, G., Montiel, W., Nakase, C., Salazar-Salazar, C., & Sandoval, L. (2020). Efecto de Canna hibryds en humedales construidos parcialmente saturados para el tratamiento de aguas porcinas. *RINDERESU*, 4(1-2), Article 1-2.
- Nawarkar, C. J., & Salkar, V. D. (2019). Solar powered Electrocoagulation system for municipal wastewater treatment. *Fuel*, 237, 222-226. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.09.140>
- Niazmand, R., Jahani, M., & Kalantarian, S. (2019). Treatment of olive processing wastewater by electrocoagulation: An effectiveness and economic assessment. *Journal of Environmental Management*, 248, 109262. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109262>
- Nierychlo, M., Miłobędzka, A., Petriglieri, F., McIlroy, B., Nielsen, P. H., & McIlroy, S. J. (2019). The morphology and metabolic potential of the Chloroflexi in full-scale activated sludge wastewater treatment plants. *FEMS Microbiology Ecology*, 95(2), fiy228. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiy228>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). <https://www.who.int/es>
- Otero, A. (2018). *ENFOQUES DE INVESTIGACIÓN.*
- Oviedo, M. A. R., Suárez, Á. D. S., & Valencia, R. N. A. (2022). ELECTROCOAGULACIÓN CON RADIACIÓN UV PARA REMOVER DQO, COT Y SDT EN AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL EMPLEANDO ELECTRODOS DE GRAFITO. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 201-219.

- Pacco, A., Vela, R., Miglio, R., Quipuzco, L., Juscamaita, J., Álvarez, C., & Fernández - Polanco, F. (2018). Propuesta de parámetros de diseño de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Scientia Agropecuaria*, 9(3), 381-391. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.09>
- Pan, Z., Song, C., Li, L., Wang, H., Pan, Y., Wang, C., Li, J., Wang, T., & Feng, X. (2019). Membrane technology coupled with electrochemical advanced oxidation processes for organic wastewater treatment: Recent advances and future prospects. *Chemical Engineering Journal*, 376, 120909. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.188>
- Pardo, M. I., & Murillo, P. A. (2017). *Planificación de un sistema de gestión ambiental para la empresa agropecuaria Senegal S.A.S fundamentada en la NTC ISO 14001:2015*. <https://hdl.handle.net/11059/8361>
- Pauta, G., Velazco, M., Gutierrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, O., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 10(2), 76-88.
- Pérez, L. S. (2018). *Uso de la electrocoagulación para reducir la carga de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales Ajeper-Huachipa 2017 II*. ALICIA. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_17e30b5ca0901ecbd909384f2a04872e
- Pérez, M. E., Arreola-Ortiz, A. E., & Malagón Zamora, P. (2018). Evaluation of detergent removal in artificial wetlands (biofilters). *Ecological Engineering*, 122, 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.036>
- Perozo, J. R., & Abreu, R. L. (2017). Evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable. *Química Viva*, 16(1), 56-69.
- PNUMA. (2012). *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Naciones Unidas y El Estado de Derecho*. <https://www.un.org/ruleoflaw/es/un-and-the-rule-of-law/united-nations-environment-programme/>
- Portell, M., & Vives, J. (2019). *Investigación en Psicología y Logopedia: Introducción a los diseños experimentales, cuasi-experimentales y ex post facto*. Servei de Publicacions de Barcelona.

- Purihuamán, C. N., & Rojas, M. Y. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CON LA ESPECIE VETIVER (*chrysopogon zizanioides*) EN HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL. *TZHOECOEN*, 10(1), Article 1.
- Qi, B., Jiang, X., Wang, H., Li, J., Zhao, Q., Li, R., & Wang, W. (2021). Resource recovery from liquid digestate of swine wastewater by an ultrafiltration membrane bioreactor (UF-MBR) and reverse osmosis (RO) process. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101830. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101830>
- Ramalho, R. S. (2021). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverte.
- Rivas, M. A. (2017). *Bioseguridad en Granjas Porcinas*. [bachelorThesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/2086>
- Rivera, M. A. O., Barahona, W. E. C., Costales, J. H. N., Lalvay, X. A. L., & Guachichullca, E. J. R. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(3), 228-245.
- Rodríguez, J. P., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(1), 59-68.
- Romo, J. D. (2021). *Evaluación técnica-económica de alternativas para el diseño de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de la ciudad de Cuenca—Ecuador*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/168642>
- Rout, P. R., Shahid, M. K., Dash, R. R., Bhunia, P., Liu, D., Varjani, S., Zhang, T. C., & Surampalli, R. Y. (2021). Nutrient removal from domestic wastewater: A comprehensive review on conventional and advanced technologies. *Journal of Environmental Management*, 296, 113246. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113246>
- Rubí, H., Soto, M. Y., & Domínguez, M. (2022). Electrocoagulación de iones de metales pesados en aguas residuales: Una revisión. *Cultura Científica y Tecnológica*, 19(2), Article 2. <https://doi.org/10.20983/culcyt.2022.2.3.2>

- Ruiz, A. (2015). Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante un sistema de biodigestión y manejo integral de residuos sólidos y líquidos, Huancavilca, Perú [Ph.D. Thesis, Universitat Ramon Llull]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://www.tdx.cat/handle/10803/9296>
- Ruiz, J. L. (2022). Reducción de consumo de agua potable mediante la utilización de aguas residuales provenientes de osmosis inversa. *Semana academica*, 2(1), Article 1. <https://www.ingenieriaindustrialitt.org/publicacion/semana-academica/article/view/121>
- Sanchez, E. (2010). Sistema de tratamiento de aguas residuales. *Academia*, 1-20.
- Sánchez, J. de D. A., & Irigoín, N. C. (2021). Contaminación agrícola por uso de aguas residuales. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(13), 65-77. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.98>
- Sánchez, J. G. C., Saltos, L. D. B., Obando, M. B. V., & Rizo, H. A. Z. (2020). Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.33936/riemat.v5i1.2499>
- Sánchez, R. G., García Gualoto, K. J., Sánchez Proaño, R. G., & García Gualoto, K. J. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CARGAS INDUSTRIALES CON OXIDACIÓN AVANZADA EN SISTEMAS CONVENCIONALES. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 103-111. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.08>
- Sandoval, M., Nani, G., Sandoval, L., Rivera, S., Fernández Lambert, G., & Alvarado-Lassman, A. (2020). EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS VERTICALES PARCIALMENTE SATURADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PORCINAS † [EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF VERTICAL PARTIALLY SATURATED CONSTRUCTED WETLANDS FOR SEWAGE TREATMENT SWINE]. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23, 12.

- Santillán, L. M., & Paredes, L. P. (2018). REMOCIÓN DE ÁCIDO SULFHÍDRICO POR MICROORGANISMOS SOBRE LODOS ACTIVADOS EN AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA ALIMENTICIA. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 112-123. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.09>
- Schenkel, E., & Pérez, M. I. (2019). Un abordaje teórico de la investigación cualitativa como enfoque metodológico. *ACTA GEOGRÁFICA*, 12(30), Article 30. <https://doi.org/10.18227/2177-4307.acta.v12i30.5201>
- Shahedi, A., Darban, A. K., Taghipour, F., & Jamshidi-Zanjani, A. (2020). A review on industrial wastewater treatment via electrocoagulation processes. *Current Opinion in Electrochemistry*, 22, 154-169. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2020.05.009>
- Sierra, A., Silva, A. N., Mercado, I., Vergara, A. F., & Eraso, M. J. (2019). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante. *Revista UIS Ingenierías*, 18(4), 131-138.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2011). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. *Revista Scielo*, 26(2), 1-13.
- Solórzano, K. V., & Sornoza, P. H. (2018). *Estimación de la huella de carbono producidas por las actividades del Hato Porcino de la ESPAM-MFL*. [bachelorThesis, Calceta: ESPAM MFL]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/788>
- Song, P., Huang, G., An, C., Shen, J., Zhang, P., Chen, X., Shen, J., Yao, Y., Zheng, R., & Sun, C. (2018). Treatment of rural domestic wastewater using multi-soil-layering systems: Performance evaluation, factorial analysis and numerical modeling. *Science of The Total Environment*, 644, 536-546. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.331>
- Stazi, V., & Tomei, M. C. (2018). Enhancing anaerobic treatment of domestic wastewater: State of the art, innovative technologies and future perspectives. *Science of The Total Environment*, 635, 78-91. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.071>
- Stevenson, M., & Bravo, C. (2019). Advanced turbidity prediction for operational water supply planning. *Decision Support Systems*, 119, 72-84. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.02.009>

- Syam, D., Anantha Singh, T. S., Nidheesh, P. V., & Suresh Kumar, M. (2020). Industrial wastewater treatment by electrocoagulation process. *Separation Science and Technology*, 55(17), 3195-3227. <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1671866>
- Tahreen, A., Jami, M. S., & Ali, F. (2020). Role of electrocoagulation in wastewater treatment: A developmental review. *Journal of Water Process Engineering*, 37, 101440. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101440>
- Torrens, A., de la Varga, D., Ndiaye, A. K., Folch, M., & Coly, A. (2020). Innovative Multistage Constructed Wetland for Municipal Wastewater Treatment and Reuse for Agriculture in Senegal. *Water*, 12(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/w12113139>
- Torres, L. S., Sanín, A., Arango, A., & Serna, J. A. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. *Revista ION*, 32(2), 59-66. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019006>
- Torres, L. S., Villarrea, A. S., Ramírez, A. A., & Serna-Jiménez, J. A. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. *Revista ION*, 32(2), Article 2. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019006>
- Torres, P. (2012). PERSPECTIVAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN PAÍSES EN DESARROLLO. *Revista EIA*, 18, 115-129.
- Toure, E.-O., & Casals, F. R. (2013). El impacto del turismo en la Lengua de Barbarie (delta del río Senegal). *Cuadernos de Turismo*, 31, Article 31.
- Trishitman, D., Cassano, A., Basile, A., & Rastogi, N. K. (2020). 9—Reverse osmosis for industrial wastewater treatment. En A. Basile, A. Cassano, & N. K. Rastogi (Eds.), *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes* (pp. 207-228). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816777-9.00009-5>
- Urbina, J. A. J., & Solano, J. A. V. (2020). Los contaminantes emergentes de las aguas residuales de la industria farmacéutica y su tratamiento por medio de la ozonización. *Informador técnico*, 84(2 (Julio-Diciembre)), 249-263.
- Valdez, M., Bobadilla, Y. G., García-Reyes, R. B., Martínez-Rodríguez, C. M., & Alvarez-Valencia, L. H. (2022). Influencia de la separación de agua

- residual porcina en fracciones sólida y líquida, en la producción de metano con lodo anaerobio granular y disperso. *Biocencia*, 24(1), 107-115. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v24i1.1537>
- Vargas, A. K. N., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., Núñez, D. A., Vargas, A. K. N., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., & Núñez, D. A. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(2), 315-322. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200315>
- Velarde, F., Sianca, E., Castro, G., Him, L., & Gómez, M. (2018). Tratamiento y reutilización del agua residual de lavadora. *Revista de Iniciación Científica*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.2.2149>
- Velasco, G., Moncayo, J., & Chuquer, D. (2019). Diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales de Manta. *infoANALÍTICA*, 7(1), 27-39.
- Velásquez, A. (2017). *Reducción de carga orgánica en el tratamiento avanzado de aguas residuales del Camal Municipal de Chupaca mediante el método de Electrocoagulación—Junín*. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/1651>
- Vera, J., & Cañón, J. (2021). *El valor agregado de un sistema de gestión ambiental más allá de la certificación | BISTUA Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/bistua/article/view/581>
- Waqas, S., Bilad, M. R., Man, Z., Wibisono, Y., Jaafar, J., Indra Mahlia, T. M., Khan, A. L., & Aslam, M. (2020). Recent progress in integrated fixed-film activated sludge process for wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 268, 110718. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110718>
- Ward, B. J., Traber, J., Gueye, A., Diop, B., Morgenroth, E., & Strande, L. (2019). Evaluation of conceptual model and predictors of faecal sludge dewatering performance in Senegal and Tanzania. *Water Research*, 167, 115101. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115101>

- Weißhuhn, P., Müller, F., & Wiggering, H. (2018). Ecosystem Vulnerability Review: Proposal of an Interdisciplinary Ecosystem Assessment Approach. *Environmental Management*, 61(6), 904-915. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1023-8>
- Widyarani, Wulan, D. R., Hamidah, U., Komarulzaman, A., Rosmalina, R. T., & Sintawardani, N. (2022). Domestic wastewater in Indonesia: Generation, characteristics and treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(22), 32397-32414. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19057-6>
- Wilén, B.-M., Liébana, R., Persson, F., Modin, O., & Hermansson, M. (2018). The mechanisms of granulation of activated sludge in wastewater treatment, its optimization, and impact on effluent quality. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(12), 5005-5020. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8990-9>
- Wu, R., Xiao, B., Gao, Q., Zheng, Y.-R., Zheng, X.-S., Zhu, J.-F., Gao, M.-R., & Yu, S.-H. (2018). A Janus Nickel Cobalt Phosphide Catalyst for High-Efficiency Neutral-pH Water Splitting. *Angewandte Chemie*, 130(47), 15671-15675. <https://doi.org/10.1002/ange.201808929>
- Wu, T., Xie, M., Huang, J., & Yan, Y. (2020). Putting Ink into Polyion Micelles: Full-Color Anticounterfeiting with Water/Organic Solvent Dual Resistance. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(35), 39578-39585. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c10355>
- Yalcinkaya, F., Boyraz, E., Maryska, J., & Kucerova, K. (2020). A Review on Membrane Technology and Chemical Surface Modification for the Oily Wastewater Treatment. *Materials*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/ma13020493>
- Yumbo, K., Iler, V., Espinoza, W., Campos, D., Castro, R., & Chirinos, D. (2018). Determinación de la Calidad de Aguas Mediante Indicadores Biológicos y Físico-químicos en el Río Pajan, Manabí, Ecuador. *INVESTIGATIO*, 10, Article 10. <https://doi.org/10.31095/irr.v0i10.184>
- Zaied, B. K., Rashid, M., Nasrullah, M., Zularisam, A. W., Pant, D., & Singh, L. (2020). A comprehensive review on contaminants removal from pharmaceutical wastewater by electrocoagulation process. *Science of The*

Total Environment, 726, 138095.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138095>

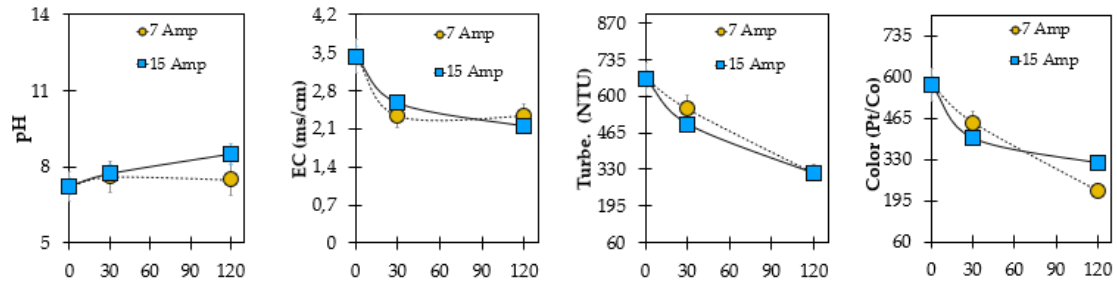
Zaruma, P., Proal, J., Hernández, I. C., & Salas, H. I. (2018). Los Colorantes Textiles Industriales Y Tratamientos Óptimos De Sus Efluentes De Agua Residual: Una Breve Revisión. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 19, Article 19.

Zhang, M., Liu, Y.-S., Zhao, J.-L., Liu, W.-R., He, L.-Y., Zhang, J.-N., Chen, J., He, L.-K., Zhang, Q.-Q., & Ying, G.-G. (2018). Occurrence, fate and mass loadings of antibiotics in two swine wastewater treatment systems. *Science of The Total Environment*, 639, 1421-1431.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.230>

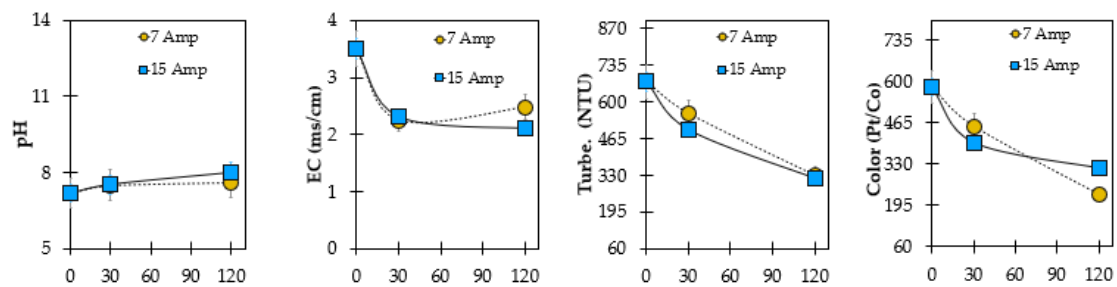
Zhang, Y., Wei, S., Hu, Y., & Sun, S. (2018). Membrane technology in wastewater treatment enhanced by functional nanomaterials. *Journal of Cleaner Production*, 197, 339-348. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.211>

ANEXOS

HIERRO



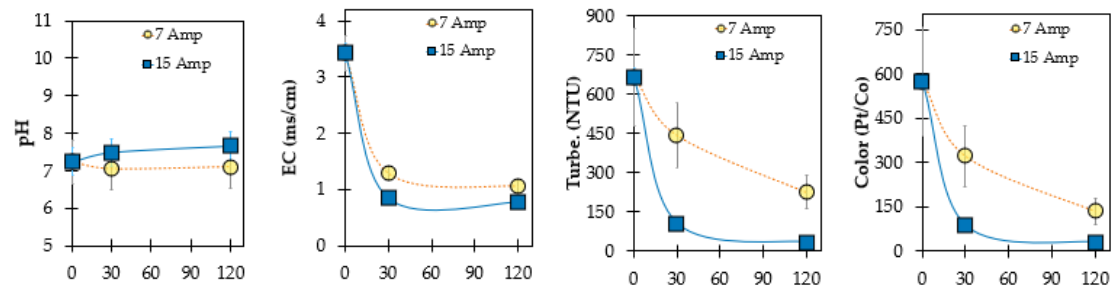
REPETICIÓN 2



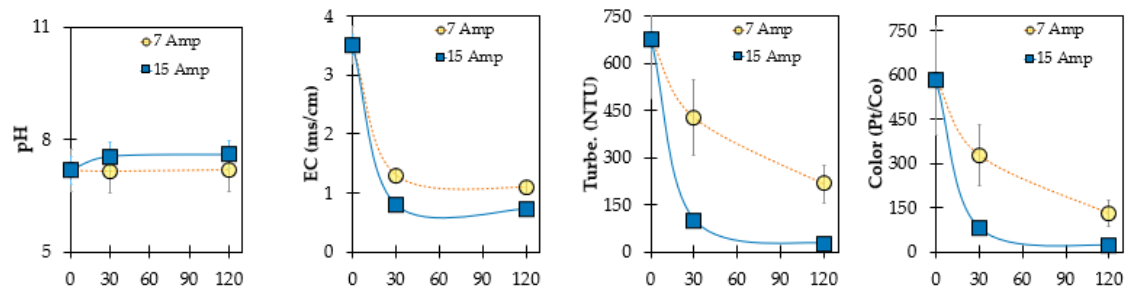
REPETICIÓN 3

Anexo 1. Tratamientos con electrodo de hierro.

ALUMINIO



REPETICIÓN 2



REPETICION 3

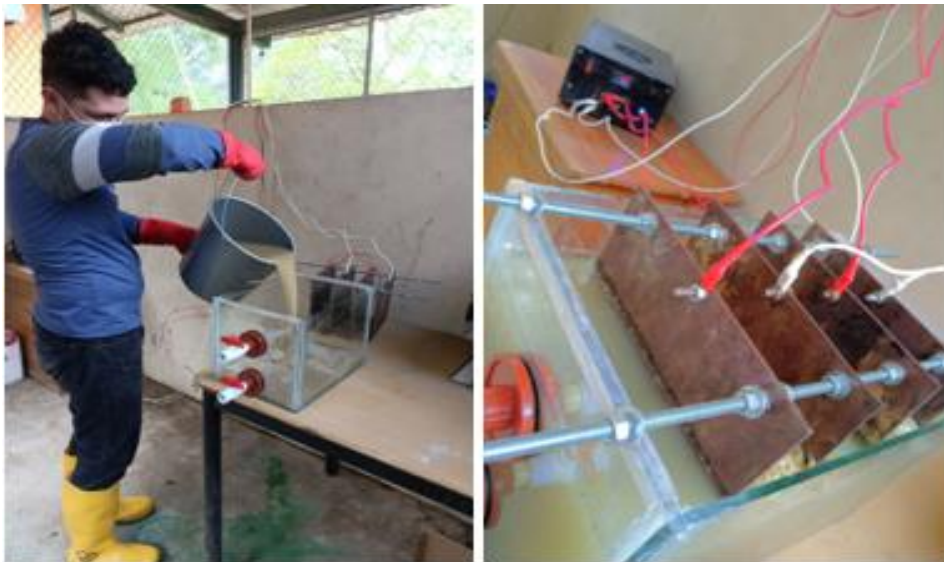
Anexo 2. Tratamientos con electrodo de aluminio.



Anexo 3. Sistema de electrocoagulación.



Anexo 4. Recolección de muestras de agua residual.



Anexo 5. Abastecimiento de cuba de electrocoagulación para su posterior funcionamiento.



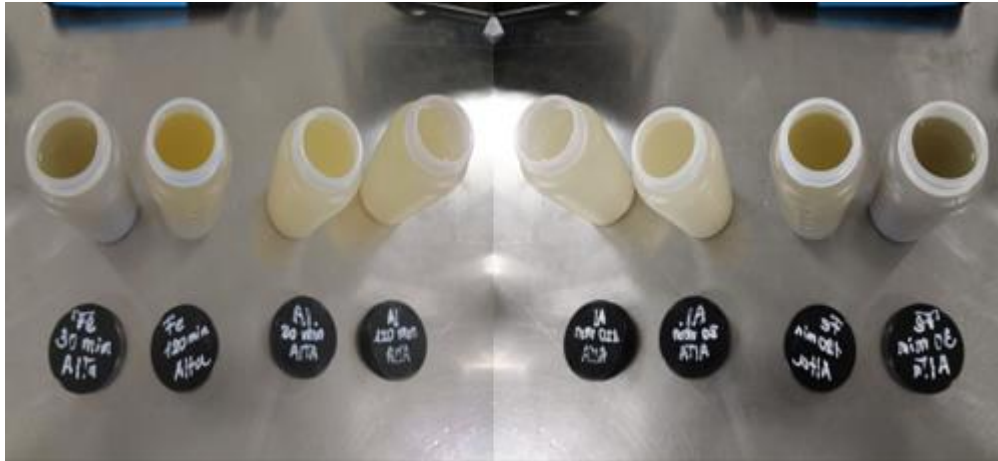
Anexo 6. Sistema de electrocoagulación en funcionamiento.



Anexo 7. Tratamiento de agua residual con electrodos de hierro.



Anexo 8. Tratamiento de agua residual con electrodos de aluminio.



Anexo 9. Muestras de agua tratada del hato porcino.



Anexo 10. Medición de parámetros a evaluar.



Anexo 11. Medición de parámetros a evaluar.



Anexo 12. Anotación de datos obtenidos para su posterior comparación con la normativa.



Anexo 13. Exposición de trabajos de titulación en el jardín botánico del cantón Portoviejo.



Anexo 14. Exposición de trabajo de titulación en la U.E. Cristo Rey del cantón Portoviejo.



Anexo 15. Presentación de trabajo de titulación a estudiantes de Séptimo semestres de Ing. Ambiental de la ESPAM.



Anexo 16. Foto grupal con estudiantes de Séptimo semestre de Ing. Ambiental de la ESPAM.