

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por Ley N°. 25265)



ESCUELA DE POSGRADO FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA UNIDAD DE POSGRADO

TESIS

**Evaluación del proyecto en remoción de materia orgánica
usando el método de Electrocoagulación en Aguas
Residuales, PTAR – Paucará - Huancavelica**

Línea de Investigación: Tecnología Ambiental y/o Sanitaria

PRESENTADO POR:

Bach. Alcidiades MERINO CARHUAPOMA

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CIENCIAS DE INGENIERÍA**

**Mención en Planeación Estratégica y Gestión En Ingeniería de
Proyectos**

HUANCAVELICA – PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA
(Creado por Ley N° 25265)

ESCUELA DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA
UNIDAD DE POSGRADO



(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)

"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los veintinueve días del mes de setiembre, a horas 17:00 pm, del año dos mil veintitrés se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designado con Resolución N° 347-2023-EPG-R/UNH, de fecha 06 de marzo del 2023, conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTE : **Dr. Pedro Antonio PALOMINO PASTRANA**
<https://orcid.org/0000-0001-7833-6805>
DNI N°: 23275655

SECRETARIO : **Mg. Wilfredo SAEZ HUAMAN**
<https://orcid.org/0000-0002-1485-8273>
DNI N°: 23274838

VOCAL : **Mg. Carlos DUEÑAS JURADO**
<https://orcid.org/0000-0003-3933-3964>
DNI N°: 42095009

Con la finalidad de llevar a cabo el acto académico de sustentación de tesis Titulada "EVALUACIÓN DEL PROYECTO EN REMOCIÓN DE MATERIA ORGANICA USANDO EL METODO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN AGUAS RESIDUALES, PTAR – PAUCARA - HUANCAMELICA" aprobado mediante resolución N° 1437 – 2023 – EPG-R/UNH, donde fija la hora y fecha para el mencionado acto.

Sustentante:
Alcidiades MERINO CARHUAPOMA
DNI N°: 45618376

Luego de haber absuelto las preguntas que le fueron formuladas por los Miembros del Jurado conformado por los docentes: **Dr. Pedro Antonio PALOMINO PASTRANA, Mg. Wilfredo SAEZ HUAMAN y Mg. Carlos DUEÑAS JURADO**, se procede con la deliberación con el resultado de:

APROBADO



DESAPROBADO



POR: *LUNANIMIDAD*

Para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los diecisiete días del mes de enero del año 2023.

.....
Dr. Pedro Antonio PALOMINO PASTRANA
Presidente del Jurado.

.....
Mg. Wilfredo SAEZ HUAMAN
Secretario del Jurado

.....
Mg. Carlos DUEÑAS JURADO
Vocal del Jurado

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza y soporte a mi vida.

A mi madre quien con su paciencia y constancia me impulso a iniciar con una de las metas más importantes en mi vida.

Alcidiades MERINO CARHUAPOMA

ASESOR:

DR. VÍCTOR GUILLERMO SÁNCHEZ ARAUJO

<https://orcid.org/0000-0002-7702-0881>

DNI N° 40446828

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación, fue evaluar la remoción de materia orgánica usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica, se empleó el método de electrocoagulación donde se tomó 3 puntos de monitoreo: punto 1 cámara de distribución, punto 2 tratamiento preliminar (cámara de rejillas), punto 3 tratamiento preliminar (desarenador), se utilizó también 2 tiempos 40 y 60 minutos, se utilizó también 3 intensidades de amperaje (7, 8 Y 9A). Los resultados son evaluar la intensidad de corriente y tiempo en relación a temperatura, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica. Se obtuvo un valor de 14.27 °C. Al evaluar la intensidad de corriente y tiempo en relación a PH, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica, se obtuvo un valor de 8.60 PH. Al evaluar la intensidad de corriente y tiempo en relación a los sólidos suspendidos totales usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica, se obtuvo un valor de 170.24 mg/L con un porcentaje de remoción de 66.18 %. Al evaluar la intensidad de corriente y tiempo en relación a la demanda bioquímica de oxígeno usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica, se obtuvo un valor de 195.29 mg/L con un porcentaje de remoción de 79.75 %.

Palabras clave: remoción, materia orgánica, electrocoagulación, intensidad de corriente.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the removal of organic matter using the electrocoagulation method in WWTP - Paucará-Huancavelica wastewater, the electrocoagulation method was used where 3 monitoring points were taken: point 1 distribution chamber, point 2 preliminary treatment (chamber with bars), point 3 preliminary treatment (sand remover), 2 times 40 and 60 minutes were also used, 3 amperage intensities (7, 8 and 9A) were also used. The results are to evaluate the intensity of current and time in relation to temperature, using the method of electrocoagulation in wastewater PTAR - Paucará-Huancavelica. A value of 14.27 °C was obtained. Evaluate the intensity of current and time in relation to PH, using the electrocoagulation method in WWTP - Paucará-Huancavelica wastewater, a value of 8.60 PH was obtained. Evaluate the current intensity and time in relation to the total suspended solids using the electrocoagulation method in WWTP - Paucará-Huancavelica wastewater, a value of 170.24 mg/L was obtained with a removal percentage of 66.18%. To evaluate the intensity of current and time in relation to the biochemical oxygen demand using the electrocoagulation method in WWTP - Paucará-Huancavelica wastewater, a value of 195.29 mg/L was obtained with a removal percentage of 79.75%.

Keywords: removal, organic matter, electrocoagulation, current intensity.

ÍNDICE

PORTADA	<i>i</i>
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS	<i>ii</i>
DEDICATORIA	<i>iii</i>
NOMBRE DEL ASESOR	<i>iv</i>
RESUMEN	<i>v</i>
ABSTRACT	<i>vi</i>
INDICE	<i>vii</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>x</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>xi</i>
INTRODUCCIÓN	<i>xii</i>
CAPITULO I	
EL PROBLEMA	13
1.1. Planteamiento del Problema	13
1.2. Formulación del Problema	14
1.2.1. Problema General	14
1.2.2. Problemas Específicos	15
1.3. Objetivos de la investigación:	15
1.3.1. Objetivo General	15
1.3.2. Objetivos Específicos	15
1.4. Justificación	16
1.5. Factibilidad del estudio	17
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes de la investigación	18
2.1.1. A nivel internacional	18
2.1.2. A nivel Nacional	36
2.1.3. A nivel Local	47
2.2. Bases Teóricas	48
2.2.1. Teoría del tratamiento de aguas residuales	48

2.2.2. Tratamiento de aguas residuales	50
2.2.3. La electrocoagulación.....	51
2.2.4. Normativas relacionadas a efluentes de una PTAR	57
2.3. Marco Conceptual	59
2.4. Marco Filosófico	59
2.5. Formulación de hipótesis	60
2.5.1. Hipótesis General	60
2.5.2. Hipótesis Especificas	60
2.6. Identificación de variables	60
2.7. Definición operativa de variables e indicadores	62

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	63
3.1. Tipo de Investigación	63
3.2. Nivel de Investigación	63
3.3. Métodos de Investigación	63
3.4. Diseño de Investigación	64
3.5. Población, muestra y muestreo	65
3.5.1. Población	65
3.5.2. Muestra	65
3.5.3. Muestreo	65
3.6. Técnica e instrumentos de recolección de datos	65
3.6.1. Técnica	65
3.6.2. Instrumentos	65
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	72
3.8. Descripción de la prueba de hipótesis	73

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	74
4.1. Presentación e interpretación de datos	74
4.2. Discusión de resultados	79
4.3. Proceso de prueba de hipótesis	80

CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS	102
MATRIZ DE CONSISTENCIA	103
INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	104
BASE DE DATOS	108
CERTIFICADO DE SIMILITUD	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resultados de la electrocoagulación	56
Tabla 2 Rangos de concentración	58
Tabla 3 Límites Máximos Permisibles (LMP)	59
Tabla 4 Temperatura inicial y temperatura final por cada tratamiento	74
Tabla 5 PH inicial y PH final por cada tratamiento.....	75
Tabla 6 Remoción del porcentaje de Solidos totales suspendidos (STS) por cada tratamiento	76
Tabla 7 Remoción del porcentaje de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) por cada tratamiento.....	77
Tabla 8 Test de normalidad	80
Tabla 9 Test de homogeneidad de varianza	81
Tabla 10 Análisis de Varianza (ANOVA) para temperatura	85
Tabla 11 Análisis de Varianza (ANOVA) para PH	85
Tabla 12 Análisis de Varianza (ANOVA) para STS	86
Tabla 13 Análisis de Varianza (ANOVA) para DBO	87
Tabla 14 Ficha de recolección de datos de temperatura	104
Tabla 15 Ficha de recolección de datos de PH	105
Tabla 16 Ficha de recolección de datos de SST	106
Tabla 17 Ficha de recolección de datos de DBO	107
Tabla 18 Temperatura inicial y temperatura final por cada tratamiento	108
Tabla 19 PH inicial y PH final por cada tratamiento	109
Tabla 20 Remoción del porcentaje de SST	110
Tabla 21 Remoción del porcentaje de DBO	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mecanismo de reacción de electrocoagulación.	52
Figura 2 Mecanismo de reacción de electrocoagulación y Transferencia de Masa	53
Figura 3 Reacciones que intervienen en el proceso	53
Figura 4 Reactor Batch In situ / Ex situ.	54
Figura 5 Configuración Monopolar en Paralelo.	54
Figura 6 Configuración Monopolar en Serie.	55
Figura 7 Caracterización de Agua Residual de Curtiembre (Datos experimentales)	56
Figura 8 Diagrama de flujo de Sistema de Electrocoagulación	57

INTRODUCCION

A veces las soluciones a los problemas más urgentes de la actualidad provienen de las tecnologías que se han usado por largo tiempo en otras aplicaciones. Una de ellas es la electrocoagulación (EC), término que proviene de «electro», que significa aplicar una corriente eléctrica, y «coagulación», que significa hacer que la materia en suspensión o disuelta en el agua forme una aglomeración.

La electrocoagulación, se está utilizando cada vez más en un mundo completamente distinto: el tratamiento de aguas contaminadas, como los lixiviados de vertederos, las aguas residuales industriales, las aguas de sentina oleosas, las aguas grises y negras de los barcos, las aguas residuales municipales y las aguas grises domésticas, con el fin de reutilizarlas. Recientemente, Golder comenzó a aplicar esta tecnología en los sectores de la minería, los residuos sólidos y el transporte.

Los iones metálicos con carga positiva (cationes) dejan el ánodo y se unen a los contaminantes cargados negativamente (aniones) a través de atracción electrostática, hasta que las cargas son neutralizadas. En el lado del cátodo se produce hidrólisis, lo que significa que las moléculas de agua se separan en iones hidrógeno e hidroxilo. Luego, los iones hidroxilo se combinan con los cationes metálicos para formar hidróxidos metálicos, y es sobre estos que los contaminantes se adsorben y absorben. La combinación de abundantes moléculas de hidróxidos metálicos forma los flóculos.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

La mayoría de las actividades humanas que utilizan agua generan aguas residuales. A medida que crece la demanda global de agua, el volumen de aguas residuales generadas y su nivel de contaminación se encuentran en constante aumento en todo el mundo.

En promedio, los países de ingresos altos tratan cerca del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que generan. Este promedio cae a un 38% en los países de ingresos medios altos y a un 28% en los países de ingresos medios bajos. En los países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento. Estas estimaciones sustentan la aproximación que se cita comúnmente que, en el mundo, más del 80% de las aguas residuales son vertidas sin tratamiento alguno (Ryder Guy, 2017).

De la revisión del estudio efectuado por SUNASS (2008), se desprende que el 70% de las aguas residuales en el Perú no tienen tratamiento de aguas alguno; asimismo, que de las 143 plantas de tratamiento residual que existen en el Perú, solo el 14% cumplen con la normatividad vigente para el cabal funcionamiento de las mismas (Carlos González Taranco y Olivares 2015).

Los vertimientos que se disponen en los sistemas de alcantarillado sin previo tratamiento muchas veces contribuyen en la contaminación de cuerpos

receptores principalmente ríos, mares y lagunas debido a su alta carga contaminante que llevan consigo, las aguas residuales de las lavanderías es uno de los casos que debería tenerse en cuenta por las consecuencias que pueden generar en las redes de distribución de alcantarillado debido a la presencia de contaminantes que contiene.

Actualmente, el Distrito de Huancavelica, no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, ocasionando la contaminación del recurso hídrico, la desaparición de la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos, sumado a ello la contaminación de suelos y el incremento del riesgo de la salud por la proliferación de malos olores producto de la degradación natural de la materia orgánica.

Teniendo en cuenta la descripción actual de las aguas residuales de la ciudad de Huancavelica, una solución pertinente es aplicar el proceso de electrocoagulación como tratamiento para los efluentes de las lavanderías, la cual es una tecnología de muy poca aplicación en el país, que tiene como ventajas no usar coagulantes como el sulfato de aluminio, ferroso o férrico, así como polímeros sintéticos los cuales encarecen los costos del tratamiento. Es por ello que su utilización en el tratamiento de agua se hace necesaria e imprescindible teniendo en cuenta las realidades socio económicas de nuestro país

Se determinó en esta investigación el proceso del método de electrocoagulación usando los electrodos de aluminio (Al), con la finalidad de eliminar los contaminantes del agua procedente de lavadoras para cumplir los Valores Máximos Admisibles (VMA).

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la remoción de materia orgánica usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica?

1.2.2. Problemas Específicos

1. ¿Cuál es la intensidad de corriente y tiempo en relación a temperatura, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica?
2. ¿Cuál es la intensidad de corriente y tiempo en relación a PH, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica?
3. ¿Cuál es la intensidad de corriente y tiempo en relación a los sólidos suspendidos totales usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica?
4. ¿Cuál es la intensidad de corriente y tiempo en relación a la demanda química de oxígeno usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica?

1.3. Objetivos de la investigación:

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la remoción de materia orgánica usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Evaluar la intensidad de corriente y tiempo en relación a temperatura, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica.
2. Evaluar la intensidad de corriente y tiempo en relación a PH, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica.

3. Evaluar la intensidad de corriente y tiempo en relación a los sólidos suspendidos totales usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica.
4. Evaluar la intensidad de corriente y tiempo en relación a la demanda química de oxígeno usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica.

1.4. Justificación

Es un proceso electroquímico que consiste en suministrar corriente eléctrica a electrodos de diversos materiales. En estos electrodos se generan coagulantes por la disolución de iones, lo que permite aglomerar las partículas coloidales y, por flotación, estas se depositan en la superficie. De esta manera, el agua se clarifica y puede ser recogida, mientras que el lodo que queda en la superficie se retira.

Utilizamos este proceso para descontaminar el agua residual de tipo doméstico, el principal parámetro a remover es la turbiedad. Para eliminar este parámetro, las plantas de tratamiento de agua potable en el Perú utilizan coagulantes químicos, con la finalidad de precipitar el lodo y luego pasar a la filtración y desinfección. Con la electrocoagulación, en cambio, los coagulantes se generan en la celda y el lodo se acumula en la parte superior. A diferencia del lodo, proveniente del proceso físico-químico y biológico, el que se obtiene en la electrocoagulación es más seco y más estable, lo que permite una mejor disposición y reutilización. Uno de los problemas en las plantas de tratamiento de aguas residuales es la cantidad de lodo que se produce, que eleva los costos de tratamiento, puesto que deben ser tratadas para su disposición final en rellenos de seguridad.

Una gran variedad. Con este proceso se reducen altos valores de demanda química de oxígeno (DQO), de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales, turbiedad, metales pesados, etcétera. Además, nos permite, simultáneamente a la remoción de contaminantes, desinfectar el agua, eliminando

microorganismos patógenos, lo cual permitirá reducir el uso de altas concentraciones de cloro en la etapa final del tratamiento.

1.5. Factibilidad del estudio

Económico

Empezamos a enfocarnos en el agua residual de tipo doméstico, que es uno de los efluentes que se producen en mayor cantidad y genera un serio deterioro del medio ambiente.

Tecnológica

A diferencia de las plantas de tratamiento convencionales, esta requiere menos espacio y menor equipamiento.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

(Morales y Navarro 2006), El objetivo de este artículo es dar a conocer el método de electrocoagulación como pilar principal en purificación de aguas residuales conociendo debidamente el proceso en el cuales se eliminan los contaminantes presentes en dichas aguas como lo son (aceites y grasas, metales pesados, coloides, moléculas orgánicas, color, etc.) Para ello, fue necesario la revisión de literatura especializada en torno a esta gramínea a través del uso de bases de datos, como de la organizar la información y aplicación de una ficha de análisis de contenido con miras a extraer información relevante de los artículos identificados. La electrocoagulación es un método alternativo para la depuración de aguas residuales. Consiste en un proceso de desestabilización de los contaminantes del agua ya estén en suspensión, emulsionados o disueltos, mediante la acción de corriente eléctrica directa de bajo voltaje y por la acción de electrodos metálicos de sacrificio, normalmente aluminio/hierro. Se trata de un equipo compacto que opera en continuo, mediante un reactor de especial diseño donde se

hallan las placas o electrodos metálicos para producir la electrocoagulación.

(Moussa et al. 2017), La electrocoagulación es un enfoque electroquímico efectivo para el tratamiento de diferentes tipos de agua contaminada y ha recibido una atención considerable en los últimos años debido a su alta eficiencia en el tratamiento de numerosos contaminantes persistentes. Ha tenido éxito en el tratamiento de contaminantes orgánicos e inorgánicos con una generación insignificante o casi nula de desechos de subproductos. Durante la última década, se ha dedicado una gran cantidad de investigación a utilizar la electrocoagulación para el tratamiento de varios tipos de aguas residuales, desde aguas subterráneas contaminadas hasta aguas residuales de refinería altamente contaminadas. Este documento ofrece una revisión exhaustiva de la literatura reciente que se ha dedicado a utilizar la electrocoagulación para el tratamiento del agua, centrándose en los éxitos actuales en aplicaciones específicas en el tratamiento de agua y aguas residuales, así como en el potencial para aplicaciones futuras. El documento examina aspectos tales como la teoría, las aplicaciones potenciales, los desafíos actuales, los desarrollos recientes y las preocupaciones económicas asociadas con la tecnología. La mayor parte de la investigación reciente de la CE se ha centrado en la evaluación de contaminantes específicos sin prestar atención al diseño de celdas, el modelado de procesos o las aplicaciones industriales. Esta revisión intenta resaltar los principales logros en el área y describe las principales deficiencias con recomendaciones para opciones de investigación prometedoras que pueden mejorar la tecnología y ampliar su gama de aplicaciones.

(Othmani et al. 2022), La demanda mundial de energía en rápida expansión está forzando una liberación de contaminantes regulados en el agua que amenaza la salud humana. Entre varios procesos de remediación de aguas residuales, la electrocoagulación (EC) ha

obtenido un éxito monumental sobre los procesos convencionales porque combina procesos de coagulación, sedimentación, flotación y oxidación electroquímica que pueden diezmar de manera efectiva numerosos contaminantes persistentes. Los procesos de EC han ganado cierta atención a través de varias publicaciones académicas e industriales, sin embargo, la evaluación crítica de los procesos de EC, las opciones de los procesos de EC para varios contaminantes, los parámetros del proceso, los mecanismos, las tecnologías comerciales de EC y la mejora del rendimiento a través de la integración de otros procesos de degradación (DP) no han sido ampliamente cubierto hasta la fecha. Por lo tanto, el objetivo principal de este documento es proporcionar una revisión exhaustiva de 20 años de literatura que cubre los fundamentos de EC, los factores clave del proceso para el diseño de un reactor, la implementación del proceso, los desafíos actuales y la mejora del rendimiento mediante el acoplamiento de EC con DP de contaminantes fundamentales, incluidos electro/ foto-Fenton (E/P-F), fotocatalisis, tratamiento sonoquímico, ozonización, electroquímica indirecta/oxidación avanzada (AO) y biosorción que han reducido sustancialmente metales, patógenos, compuestos tóxicos DBO, DQO, colorantes en aguas residuales. Los resultados sugieren que el tiempo de tratamiento óptimo, la densidad de corriente, la frecuencia de pulso, la velocidad de agitación y el electrodo espaciado mejoran la eficiencia de eliminación de contaminantes. Un diseño de proceso elegante puede evitar la pasivación de los electrodos, que es una limitación crítica de la tecnología EC. El acoplamiento EC (aguas arriba o aguas abajo) con otros DP ha resultado en la eliminación de contaminantes orgánicos y metales pesados con una eficiencia mejorada del 20 % por EC-EF, eliminación del 85,5 % de sólidos en suspensión, 76,2 % de turbidez, 88,9 % de DBO, 79,7 % de DQO y 93% color por EC-electroflotación, 100% decoloración por EC-electroquímica-AO, reducción 78% COD, 81% DBO, 97% color por EC-ozonización y remoción 94% amoníaco, 94% DBO, 95% turbidez , >98% fósforo por EC aireada y

peroxicoagulación. Se describen los principales logros de purificación de aguas residuales, el potencial futuro y los desafíos para modelar los futuros sistemas integrados de EC.

(Nidheesh et al. 2021), El proceso de electrocoagulación (EC) se considera un método eficaz de tratamiento de agua y aguas residuales, ya que puede eliminar una variedad de contaminantes, tratar diversas aguas residuales industriales y manejar las fluctuaciones en la calidad y cantidad de contaminantes. El rendimiento del proceso EC se puede mejorar significativamente en combinación con los procesos de degradación. Las diferentes combinaciones de procesos EC con Fenton, electro-Fenton, foto-Fenton, fotocátalisis, tratamiento sonoquímico, ozonización, oxidación electroquímica indirecta, oxidación anódica y procesos de oxidación avanzada basados en radicales sulfato resultan muy eficaces para el tratamiento de agua y aguas residuales. En la mayoría de los artículos se informó un rendimiento mejorado del proceso EC en combinación con el proceso de degradación.

(Brillas 2020), Las aguas residuales que contienen contaminantes orgánicos tóxicos y recalcitrantes apenas se descontaminan en las instalaciones de aguas residuales convencionales. Entonces, existe un desafío urgente el desarrollo de procesos de oxidación potentes para asegurar su eliminación orgánica con el fin de preservar la calidad del agua en el medio ambiente. Esta revisión presenta el desarrollo reciente de un proceso electroquímico de oxidación avanzada (EAOP) como el proceso fotoelectro-Fenton (PEF), que cubre el período 2010-2019, como un tratamiento efectivo para la remediación de aguas residuales. La alta capacidad de oxidación de este EAOP basado en Fenton fotoasistido se debe a la combinación de radicales hidroxilo generados in situ y la acción fotolítica de la radiación UV o solar sobre las aguas residuales tratadas. En primer lugar, se describen los fundamentos y características del proceso PEF para comprender el papel de los agentes oxidantes. Además, se discuten las propiedades del proceso PEF

homogéneo con catalizador de hierro e irradiación UV y el beneficio de la luz solar en el proceso PEF solar homogéneo (SPEF), respaldado con ejemplos sobre su aplicación a la degradación y mineralización de soluciones sintéticas de productos químicos industriales. herbicidas, colorantes y productos farmacéuticos, así como aguas residuales reales. A continuación se detallan nuevos procesos de PEF heterogéneos que involucran catalizadores de hierro sólido o cátodos modificados con hierro. Finalmente, se analiza el poder de oxidación de procesos híbridos que incluyen fotocátalisis/PEF, fotocátalisis solar/SPEF, fotoelectrocátalisis/PEF y fotoelectrocátalisis solar/SPEF, seguido de procesos secuenciales como electrocoagulación/PEF y oxidación biológica acoplada a SPEF.

(Merzouk et al. 2009), El proceso de electrocoagulación (EC) se desarrolló para superar los inconvenientes de las tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales. Este proceso es muy eficaz en la eliminación de contaminantes orgánicos, incluidas las aguas residuales de colorantes, y permite reducir la generación de lodos. Los propósitos de este estudio fueron investigar los efectos de los parámetros operativos, como el pH, la concentración inicial ($C(0)$), la duración del tratamiento (t), la densidad de corriente (j), la distancia entre electrodos (d) y la conductividad (κ) sobre un agua residual sintética en el proceso discontinuo de electrocoagulación-electroflotación (EF). Se determinaron las condiciones óptimas de operación y se aplicaron a un efluente textil y separación de algunos metales pesados. Inicialmente, se hizo funcionar un reactor EC-EF de tipo discontinuo a varias densidades de corriente (11,55, 18,6, 35,94, 56,64, 74,07 y 91,5 mA/cm²) y varias distancias entre electrodos (1, 2 y 3 cm). Para soluciones con 300 mg/L de gel de sílice, se obtuvo una alta remoción de turbidez (89,54 %) sin ningún coagulante cuando la densidad de corriente fue de 11,55 mA/cm², el pH inicial fue de 7,6, la conductividad de 2,1 mS/cm, la

duración del tratamiento fue de 10 min y la distancia entre electrodos de 1 cm. La aplicación de los parámetros operativos óptimos en un efluente textil mostró una alta eficiencia de remoción de varios ítems: sólido suspendido (SS) 86.5%, turbidez 81.56%, demanda biológica de oxígeno (DBO(5)) 83%, demanda química de oxígeno (DQO) 68%, y color sobre 92,5%. Durante el proceso EC en estas condiciones, hemos estudiado la separación de algunos iones de metales pesados como hierro (Fe), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb) y cadmio (Cd) con diferentes concentraciones iniciales en el rango de 50-600 mg/L y pH inicial entre 7,5 y 7,8. Esto nos permitió demostrar que la cinética de electrocoagulación-electroflotación es muy rápida (<15min), y la tasa de eliminación alcanza el 95%.

(Moradi et al. 2021), Los procesos electroquímicos son una alternativa prometedora a los sistemas tradicionales de tratamiento de agua porque tienen ventajas sobre las técnicas convencionales, como el almacenamiento de productos químicos, pequeños sistemas de tratamiento, ausencia de agotamiento de la alcalinidad, ajuste remoto y rentabilidad. El método electroquímico más importante es la electrocoagulación (EC). Mediante la creación de especies catiónicas, el EC provoca la neutralización de las cargas superficiales contaminantes y desestabiliza los contaminantes suspendidos, emulsionados o disueltos llevados a atraer partículas de carga opuesta y formar floculantes. El principal inconveniente del proceso EC es la formación de una película pasiva en la superficie del electrodo con el tiempo. Las ondas ultrasónicas (EE. UU.) rompen los sedimentos formados en la superficie del electrodo y generan grandes cantidades de especies radicales para eliminar los contaminantes mediante la creación de puntos de alta presión dentro de la solución durante el fenómeno de cavitación. Aunque los sistemas EC se consideran un renacimiento ejemplar en el tratamiento de agua y aguas residuales, varios parámetros

relacionados con este tipo de sistemas en la degradación de contaminantes no se han abordado por completo. Para presentar una visión integral del estado actual del arte, avanzar en la eficiencia del tratamiento y promover nuevos estudios en estos campos, esta revisión tuvo como objetivo proporcionar una visión general de la aplicación de la electrocoagulación en la degradación de contaminantes, además de las ventajas, desventajas asociadas y estrategias adicionales para mejorando el rendimiento de esta técnica. Además, esta revisión analizó varios parámetros que afectan el proceso EC/US, incluida la adición de nanopartículas, la concentración de electrolitos, la intensidad de la corriente, la distancia de los electrodos, la temperatura, la adición de oxidantes, el pH, la concentración de contaminantes, el tiempo de reacción y la combinación de electrodos, la adición de cloruros y la frecuencia ultrasónica. . Además, se aborda la eficiencia del proceso EC/US para la desinfección, así como el tratamiento de lavado de autos, industria textil, pulpa y papel, aguas residuales aceitosas y cerveceras, surfactantes, ácido húmico y metales pesados.

(Holt et al. 2005), La electrocoagulación es un método electroquímico de tratamiento de agua contaminada mediante el cual los ánodos de sacrificio se corroen para liberar precursores de coagulantes activos (generalmente cationes de aluminio o hierro) en la solución. Las reacciones electrolíticas que acompañan desprenden gas (generalmente como burbujas de hidrógeno) en el cátodo. La electrocoagulación tiene una larga historia como tecnología de tratamiento de agua y se ha empleado para eliminar una amplia gama de contaminantes. Sin embargo, la electrocoagulación nunca ha sido aceptada como una tecnología de tratamiento de agua 'principal'. La falta de un enfoque sistemático para el diseño/operación del reactor de electrocoagulación y la cuestión de la fiabilidad de los electrodos (en particular, la pasivación de los electrodos con el tiempo) han limitado su implementación. Sin embargo, las recientes mejoras técnicas combinadas con una creciente

necesidad de instalaciones de tratamiento de agua descentralizadas a pequeña escala han llevado a una reevaluación de la electrocoagulación. Comenzando con una revisión del diseño/operación del reactor de electrocoagulación, este artículo examina e identifica un marco conceptual para la electrocoagulación que se centra en las interacciones entre la electroquímica, la coagulación y la flotación. Además, se proporcionan datos experimentales detallados de un sistema de reactor por lotes que elimina los sólidos en suspensión junto con un análisis matemático basado en el modelo de "agua blanca" para el proceso de flotación por aire disuelto. La densidad de corriente se identifica como el parámetro operativo clave que influye en qué mecanismo de eliminación de contaminantes domina. Se concluye que la electrocoagulación tiene futuro como tecnología descentralizada de tratamiento de agua. Se presenta un marco conceptual para futuras investigaciones dirigidas a una comprensión más mecanicista del proceso.

(Emamjomeh and Sivakumar 2006), La presencia excesiva de concentraciones de fluoruro en los suministros de agua de la comunidad puede causar fluorosis que afecta los dientes y los huesos. Se realizaron experimentos por lotes con electrodos monopolares de aluminio para la eliminación de fluoruro y se desarrolló un modelo empírico utilizando parámetros críticos como la concentración actual, la distancia del electrodo y la concentración inicial de fluoruro. Los iones de fluoruro se eliminaron electroquímicamente de la solución mediante un proceso de electrocoagulación/flotación (ECF). La disolución electrolítica de ánodos de aluminio en agua produjo especies acuosas de Al^{3+} y burbujas de hidrógeno en los cátodos de aluminio. La eficiencia de eliminación de fluoruro aumenta constantemente con el aumento de los valores actuales de 1 a 2,5 A. En el proceso ECF monopolar por lotes, se encontró que el tiempo de detención óptimo (dto) era de 55 min

cuando los parámetros operativos, incluida la concentración inicial de F, el valor actual y la distancia entre electrodos se mantuvo respectivamente en 10 mg/l, 1,5 A y 5 mm. Los resultados experimentales mostraron que la constante de velocidad (K) para la desfluoración mediante el proceso ECF monopolar depende de la concentración actual (I/V), la distancia del electrodo (d) y la concentración inicial de fluoruro (C₀). Se encuentra que la relación de masa Al³⁺/F⁻ no es significativamente diferente entre los sistemas ECF monopolares y bipolares. En general, los resultados mostraron que la tecnología de electrocoagulación es un proceso eficaz para la desfluorización del agua.

(Gadd et al. 2010), Se investigó el impacto del comportamiento de corrosión de los electrodos, la geometría del reactor y la densidad de corriente en la eficiencia de la electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales del proceso de melaza. Para esta investigación se utilizaron dos reactores de electrocoagulación de placas verticales a escala de laboratorio: el primero era un reactor de baño de baja relación de aspecto con un área de electrodo específica baja, mientras que el otro era un reactor de columna de relación de aspecto alta con un área de electrodo específica alta. La disolución anódica anómala y la corrosión catódica de los electrodos de aluminio contribuyeron significativamente al consumo total de metal. El aumento del área específica del electrodo y la relación de aspecto condujo a una mejor eficiencia del tratamiento, mientras que el impacto de la densidad de corriente fue más complicado debido a las influencias combinadas de varios efectos competitivos. Se encontró que los rendimientos espacio-temporales de coagulante y burbujas (ambas funciones de área de electrodo específica, densidad de corriente y eficiencia de corriente) influyen en la mezcla dentro del reactor y, por lo tanto, en la eficiencia del tratamiento.

(Solak et al. 2009), En este estudio, se investigó la eliminación de sólidos en suspensión (SS) y turbidez de las aguas residuales del

procesamiento de mármol mediante el proceso de electrocoagulación (EC) utilizando electrodos de aluminio (Al) y hierro (Fe) que se ejecutaron en sistemas de conexión en serie y en paralelo. Para eliminar estos contaminantes de las aguas residuales del procesamiento del mármol, se utilizó un reactor EC que incluye electrodos monopolares (Al/Fe) en un sistema de conexión en paralelo y en serie. De esta manera se determinó la optimización de los parámetros diferenciales de operación como el pH, la densidad de corriente y el tiempo de electrólisis en la remoción de SS y turbidez. El proceso EC con electrodos monopolares de Al en conexiones en paralelo y en serie llevado a cabo en las condiciones óptimas donde el valor de pH fue 9, la densidad de corriente fue de aproximadamente 15 A/m² y el tiempo de electrólisis fue de 2 min, lo que resultó en una eliminación del 100 % de SS. Las eficiencias de eliminación del proceso EC para SS con electrodos monopolares de Fe en conexión en paralelo y en serie fueron del 99,86 % y 99,94 %, respectivamente. Se encontró que los parámetros óptimos para los electrodos monopolares de Fe en ambos tipos de conexión eran para un valor de pH de 8, para un tiempo de electrólisis de 2 min. El valor óptimo de densidad de corriente para los electrodos de Fe utilizados en conexiones en serie y en paralelo también se obtuvo a 10 y 20 A/m², respectivamente. Con base en los resultados obtenidos, se encontró que el proceso de EC que se ejecuta con cada tipo de electrodos y las conexiones fue altamente efectivo para la eliminación de SS y turbidez de las aguas residuales del procesamiento de mármol, y que los costos operativos con electrodos monopolares de Al en conexión paralela fueron los más bajos. más barato que el de la conexión serial y todas las configuraciones para electrodo de Fe.

(Koby et al. 2007), La escala de banco de una unidad de electrocoagulación (EC) requiere un estudio detallado para discernir los efectos de las variables continuas, como el pH, la densidad de corriente y el tiempo de funcionamiento, y las variables de tipo, como el material

del electrodo y el modo de conexión. Este trabajo presenta los resultados del tratamiento de un efluente textil por proceso EC. Se conectaron dos materiales de electrodos, aluminio y hierro, en tres modos, a saber, monopolar-paralelo (MP-P), monopolar-serie (MP-S) y bipolar-serie (BP-S). Las eliminaciones de DQO y turbidez se seleccionaron como criterios de rendimiento. Para una eliminación alta de DQO, es preferible un medio ácido para ambos materiales de electrodo. Para una eliminación de alta turbidez, es preferible un medio ácido para el aluminio y un medio neutro para el hierro. La alta densidad de corriente es favorable para ambas eliminaciones en el caso del hierro. En el caso de aluminio, la densidad de corriente exhibe un efecto pronunciado en la eliminación de DQO, dependiendo en gran medida del modo de conexión, pero tiene un efecto insignificante en la eliminación de turbidez. MP-P con electrodo de hierro o MP-S con electrodo de aluminio son configuraciones adecuadas con respecto al rendimiento general del proceso. Además, la economía del proceso es tan importante como la eficiencia de eliminación durante la tarea de evaluación del proceso. En el cálculo del costo total se han considerado varios elementos de costos directos e indirectos, incluidos los costos eléctricos, de electrodos de sacrificio, mano de obra, manejo de lodos, mantenimiento y depreciación. Los resultados muestran que el modo MP-P es el más rentable para ambos tipos de electrodos. Ambos electrodos muestran resultados similares en la reducción de la DQO y la turbidez, pero se prefiere el hierro como material de bajo costo. Finalmente, un estudio comparativo mostró que EC era más rápido y económico; consumió menos material y produjo menos lodo, y el pH del medio se estabilizó más que la coagulación química (CC) para niveles similares de remoción de DQO y turbidez. Para CC, FeCl_3 fue la sal preferible en vista de su desempeño técnico-económico. Por otro lado, el hierro fue el material de electrodo preferido en EC con sistema MP-P en condiciones experimentales de 30 Am(-2) de densidad de corriente y 15 min de tiempo, el costo del tratamiento fue de \$ 0.245 m(-

3) . En consecuencia, el costo operativo de CC fue 3,2 veces mayor que el costo operativo de EC.

(Koby et al. 2009), Se utilizó el método de electrocoagulación (EC) con electrodo de hierro para tratar las aguas residuales textiles en un reactor discontinuo. El material del electrodo de hierro se utilizó como electrodo de sacrificio en modo paralelo monopolar en este estudio. Las eficiencias de eliminación de las aguas residuales por EC se vieron afectadas por el pH inicial de la solución, la densidad de corriente, la conductividad y el tiempo de electrólisis. En las condiciones experimentales óptimas (pH inicial de 6,9, densidad de corriente de 10 mA/cm²), conductividad de 3.990 microS/cm y tiempo de electrólisis de 10 min), el tratamiento de aguas residuales textiles mediante el proceso EC condujo a una capacidad de eliminación del 78% de la demanda química de oxígeno (DQO) y del 92% de la turbidez. Los consumos de energía y electrodos en las condiciones óptimas se calcularon en 0,7 kWh/kg DQO (1,7 kWh/m³) y 0,2 kgFe/kg DQO (0,5 kgFe/m³), respectivamente. Además, el coste de explotación se calculó en 0,2 euros/kg de DQO eliminada o 0,5 euros/m³ de aguas residuales tratadas. Se utilizó la medición del potencial zeta para determinar la carga de las partículas formadas durante la EC, lo que reveló que el Fe(OH)₃ podría ser el responsable del proceso de EC.

(Koby and Delipinar 2008) En los experimentos a escala de laboratorio, se ha investigado el tratamiento de las aguas residuales de la producción de levadura de panadería mediante electrocoagulación (EC) utilizando un reactor discontinuo. Los efectos de las variables del proceso, como el pH, el material del electrodo (Fe y Al), la densidad de corriente y el tiempo de operación, se investigan en términos de la eficiencia de eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO), el carbono

orgánico total (TOC), la turbidez y el costo operativo. , respectivamente. Las máximas eficiencias de remoción de DQO, TOC y turbidez bajo condiciones óptimas de operación, es decir, pH 6.5 para electrodo de Al y pH 7 para electrodo de Fe, densidad de corriente de 70 A/m² y tiempo de operación de 50 min fueron 71, 53 y 90% para electrodo de Al y 69, 52 y 56% para electrodo de Fe, respectivamente. El electrodo de Al dio una eficiencia de eliminación de turbidez 4,4 veces mayor que el electrodo de Fe debido a la interferencia del color del hierro disuelto. Los costos de operación de los electrodos de Al y Fe en términos de \$/m³ o \$/kg DQO fueron 1,54 y 0,82, 0,51 y 0,27, respectivamente.

Ronquillo Rojas (2019), con su tesis “REMOCION DE DUREZA EN ALTA CONCENTRACION MEDIANTE, ELECTROCOAGULACION” de la Universidad Nacional Autónoma de México para optar el grado de maestría en ingeniería. Donde la investigación tuvo el objetivo de evaluar la remoción de las sales calcio y magnesio en aguas extremadamente duras mediante electrocoagulación usando ánodos de sacrificio de aluminio y hierro. Teniendo como resultados que el proceso de electrocoagulación aplicado a aguas extremadamente duras permite alcanzar una dureza apropiada en el agua para su uso en el fracuramiento hidráulico; por lo que la electrocoagulación puede sugerirse como una técnica alternativa en la eliminación de dureza en alta concentración. Se determinaron las condiciones de operación óptimas para ambos electrodos y se comprobó que la EC es un método eficaz que permite obtener un buen porcentaje de remoción de dureza total; usando electrodos de aluminio se consiguió una remoción de 61.64% y con electrodos de hierro del 55.70%; estas remociones representan una disminución de 2,466 mg CaCO₃.L-1 y 2,215 mg CaCO₃.L-1, respectivamente, en el agua tratada. Se concluye que la eficiencia de remoción de dureza con electrodos de aluminio es 6% mayor a la obtenida con los electrodos de hierro.

Canto Ríos (2018), con su tesis “MODELACIÓN HIDRÁULICA DE REACTORES DE ELECTROCOAGULACIÓN CON FLUJO VERTICAL BIFÁSICO” de la Universidad Nacional Autónoma de México para optar por el grado de doctor en ingeniería. La investigación tuvo como objetivo el estudio del comportamiento hidráulico de reactores de electrocoagulación que trabajen con flujo pistón vertical mixto y a superficie libre. Se tomaron en cuenta las dos frases presentes durante el proceso electroquímico, comparado la respuesta de modelos matemáticos con las de electrodos en la respuesta del sistema. Para cada configuración, se consideró que el flujo de entrada se distribuía proporcionalmente a través de los canales formados por los electrodos, resultando la misma velocidad del agua entre cada uno de ellos. Esta condición fue comparada con los resultados arrojados por el programa utilizado para su modelación numérica. Teniendo como resultado de la experimentación, cada una de las respuestas es impactada de manera significativa por diferentes variables de diseño, por lo cual, el uso de ecuación deberá dirigirse a la variable de interés para el usuario. El diseño de experimentos indica que, para las respuestas, la densidad de corriente y el número de electrodos resultan de mayor impacto, seguidas de la separación de electrodos y número de módulos. Concluyendo que la electrocoagulación resulta, de acuerdo a la bibliografía revisada, una alternativa viable. Pese a que en la remoción de contaminantes se encuentra a la par con la coagulación química, la reducción en los lodos, debido a la reducción de iones, es importante, puesto que el costo de disposición de estos se reduce, impactando de esta manera global el costo total de tratamiento.

Rodríguez González (2014), en el trabajo de investigación denominado “EVALUACIÓN DE REACTORES DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA DE

PURGA DE TORRES DE ENFRIAMIENTO”, de la Universidad Nacional Autónoma de México para optar por el grado de maestría en ingeniería. Donde la investigación tuvo el objetivo de diseñar y evaluar a escala laboratorio un dispositivo experimental basado en el proceso de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio de diferente geometría para la remoción de sílice presente en agua de purga de torres de enfriamiento de refinera. Como resultados tuvimos que los parámetros analíticos utilizados en la reducción y porcentaje de remoción de sílice, dureza total y alcalinidad utilizando un reactor de electrocoagulación con electrodos de aluminio en forma rectangular (placas) a condiciones de pH de 7.5 (neutro), 9 (moderadamente básico) y 6 (moderadamente ácido). Mostraron que a las condiciones de Ph de 7.5, con un tiempo de electrólisis de 10 minutos intensidad de corriente de 2 A, es posible remover 95% de sílice presente en agua de purga de torres de enfriamiento a límites de concentraciones de sílice de 7 mg/L. Mientras que para un tiempo de electrolisis de 8 minutos con una intensidad de corriente de 3 A, es posible remover hasta el 93.7% de sílice a límites de concentraciones de sílice de 8.9 mg/L. Ajustándose a las especificaciones de calidad de agua para reúso en torres de enfriamiento. Además, se calculó la dosis de coagulante de aluminio de 7.6 mM-Al/L para una intensidad de corriente de 2 A, mientras que 9.1 mM-Al/L se obtuvo para una intensidad de corriente de 3 A. En conclusión, la eficiencia del reactor de electrocoagulación depende en gran medida del área anódica, la transferencia de masa y electrones, intensidad de corriente, así como la naturaleza del agua de purga a tratar. No obstante, el reactor de electrocoagulación tipo flujo pistón que utiliza electrodos en forma de hélice circular, permitió porcentajes de remoción de sílice de 96.4% trabajando con una intensidad de corriente de 3 A (4.27 V), y con la adición de cloruro de sodio permite obtener un menor costo de operación.

Paredes Salán (2013), en el trabajo de investigación denominado “DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DE LA LAVANDERÍA Y TINTORERÍA JAV-TEX DEL CANTÓN PELILEO.”, en la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo - Ecuador. Donde la investigación tuvo por objetivo diseñar una planta de tratamiento para aguas residuales en la Lavandería y Tintorería JAV-TEX del cantón Pelileo. Resumen: Mediante el método experimental, se empezó por el reconocimiento de los procesos desarrollados en la planta, y posteriormente realizar un diagnóstico, donde se tomó muestras y datos, para esto necesitamos de recipientes, termómetro y cronómetro, con el método deductivo partimos del diseño y terminamos describiendo cada etapa del tratamiento. Al caracterizar el agua residual proveniente de las etapas de Lavandería y Tintorería JAV-TEX, los resultados fueron, 1200 mg/L de Demanda Química de Oxígeno, 703 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxígeno, 2 ml/L Sólidos Sedimentales, 224 de Sólidos en suspensión, 244 Unidad Nefelométrica De Turbidez, 0,030 mg/L Fenoles, 1,50 mg/L Tensoactivos, que fueron analizados y tratados con el fin de disminuir la contaminación, porque no cumple con los límites de descarga establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental. Concluyendo que los parámetros analizados permitieron determinar los componentes de la planta de tratamiento, el mismo que constará de: rejillas, tanque homogeneizador, agitador de paletas, tanque sedimentador, para tener un efluente que cumpla con los parámetros de acuerdo a los límites establecidos, por la normativa vigente.

Pérez Alcalá (2012), con su tesis “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACION EN EL TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES“ en la Universidad Nacional Autónoma de México para obtener el título de química. El objetivo es mostrar cómo la complejidad de la electrocoagulación puede ser reducida usando un enfoque reducido. Fenómenos relevantes, métodos de caracterización y herramientas son destacados en cada zona. La información

presentada en la intersección entre los círculos se representa el conocimiento que enlazan las áreas fundamentales. Como resultados del comportamiento con el hecho de que el coagulante precursor (cationes de aluminio, por ejemplo) continuamente son alimentados por el ánodo de corrosión. Los cationes de aluminio son hidrolizados en una forma capaz de agregarse al contaminante que es removido de la solución por sedimentación y/o flotación. Concluye que el agua es un recurso indispensable para los seres vivos, pero para México y para todos los mundos, el agua es un elemento escaso. La demanda de agua aumenta día con día, aumentando su contaminación y escaseando el agua de calidad para su uso. El problema de la escasez del agua ya es a nivel mundial; se tiene una gran cantidad de aguas residuales de diferentes procedencias, siendo en México la industria autoabastecida y las termoeléctricas las mayores generadoras de aguas residuales industriales.

Hernández Lehmann (2011), en el trabajo de investigación que desarrollaron, titulado “INVESTIGACIÓN SOBRE PROCESOS AVANZADOS DE TRATAMIENTO Y DEPURACIÓN DE LAS AGUAS MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN”, en la universidad Politécnica de Madrid para optar el grado de Doctor. En donde el objetivo de la investigación fue la de buscar un sistema, que siendo sencillo y ocupando poco espacio, pueda aplicarse a las aguas de salida de una depuradora o aguas normales circulando por corrientes fluviales alcanzando calidad para distintos usos. Así se investiga sobre la posibilidad de utilizar el proceso de electrocoagulación sobre distintos parámetros considerados en la normativa sobre la reutilización de las aguas “Real decreto 1620/2007, DE 7 DE DICIEMBRE, por el que establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas “. Resumen: Se establece tres fases de investigación. En la primera trabajando en sistema discontinuo, sistema batch, la segunda como una planta de laboratorio en discontinuo, para investigar sobre los parámetros que intervienen en el proyecto, utilizando los resultados en el diseño y construcción de una planta real, 144 L/h, ensayando en la tercera

parte sobre la eficacia del proceso de electrocoagulación en cumplimiento de las normas actuales de reutilización, en relación con la reducción de parámetros físico químicos de las aguas (SS, turbidez, nitrógeno y fosforo), así como la reducción de la contaminación biológica de las aguas (E. coli, legionella, presencia de parásitos como nematodos y tenía), analizando el consumo energético del proceso. Se ha reducido la falta de coincidencia entre las experiencias en sistemas discontinuos y continuos del proceso, y se han establecido los parámetros fundamentales para el diseño de la planta piloto, teniendo en cuenta la influencia de la escala. Se han establecido como parámetros fundamentales: Uno de los parámetros básicos de diseño a escala piloto, que se han considerado, es la relación de superficie electrolítica sobre el volumen de la disolución o del reactor, a escala laboratorio (A/V), que es una medida del potencial para la liberación de coagulante y burbujas a un sistema (sobre una base volumétrica). La densidad de corriente, definida como la corriente por un área activa de electrodo, es otro parámetro de diseño de escala utilizado. El electrocoagulador se construyó en metacrilato con unas dimensiones internas de 27,5 x 49,5 x 49,5. En una primera serie de experimentos se establecerían 4 placas de electrodo, 2 cátodos y 2 ánodos de aluminio, y 3 placas intermedias de acero. De la misma forma se trabajó en la segunda línea, pero con placas de hierro. Las dimensiones de las placas de aluminio fueron de 250 x 500 x 1.5mm, las placas de hierro de 250 x 500 x 1.00mm. y el espacio entre electrodos se conectaron a una fuente de alimentación, que tiene una salida variable entre 300V y 10V. La experimentación realizada concluye sobre los buenos resultados de la aplicación del sistema de electrocoagulación, en relación con el grado de cumplimiento respecto a las normativas actuales de reutilización. Los resultados garantizan las posibilidades del proceso en la eliminación de la turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), DQO y fosfatos en fosforo total, así como en la eliminación de microorganismos.

2.1.2. A nivel Nacional

Cuba Tello (2020), en el trabajo de investigación denominado “TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PROCEDENTE DE LAVADORAS POR EL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA REUTILIZACIÓN EN RIEGO DE VEGETALES – ATE VITARTE” para optar el grado académico de Magister en Gestión Integrada en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con el objetivo de evaluar el método de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras para la reutilización en riego de vegetales del condominio Jardines de Santa Clara de Ate Vitarte y objetivos específicos: Caracterizar cualitativamente las aguas residuales provenientes de lavadoras para fijar los variables de operación en el tratamiento de electrocoagulación. Determinar los principales parámetros más adecuados (pH, Intensidad de corriente, tiempo y distancia de electrodos) para el tratamiento del agua residual proveniente de lavadoras en el proceso de electrocoagulación y determinar la eficiencia del tratamiento en el módulo de electrocoagulación en aguas provenientes de lavadoras. Se llegó a las siguientes conclusiones: se evaluó que el método de electrocoagulación es un diseño con una celda electroquímica tipo bach, con electrodos de aluminio y acero inoxidable (aleación de acero) teniendo una capacidad promedio de 10 Litros de agua, que se utilizó para regar los vegetales del condominio Jardines de Santa Clara de ate Vitarte cumpliendo con las normativas de las ECAS de la categoría 3 para riego de vegetales. Se caracterizó cualitativamente los parámetros de pH, Color, Temperatura, Conductividad eléctrica, aceite y grasas, solidos totales suspendidos, turbiedad y demanda química de oxígeno, que se estableció para optimizar el diseño de investigación las condiciones de operación de pH (5, 7.5 y 10), distancia entre electrodos (1, 1.5 y 2 cm), flujo de corriente (3, 5 y 8 amperios) y un tiempo de (10, 15 y 20 minutos). Se evaluó que en las mejores condiciones de operación para la reducción de los contaminantes, fue el experimento número 5 con un pH =

7,5; intensidad de 5 amperios, distancia de 2 cm y un tiempo de permanencia de un promedio de 15 min por último se determinó que los factores principales que contribuye a la buena eficiencia del módulo de electrocoagulación, según los resultados obtenidos para el tiempo de 15 minutos, intensidad 5 amperios, distancia 2 centímetros y pH 7.5, según la tabla 20 dieron resultados como 99.02% en remoción de turbiedad, 90.83% en DQO y 95.93% en SST. Logrando optimizar los parámetros de la celda de electrocoagulación.

Indigoyen Ramirez (2019), en el trabajo de investigación denominado “REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA POR EL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN, UTILIZANDO ENERGÍA EÓLICA”, de la Universidad Nacional del Centro del Perú para optar el grado académico de doctor en ingeniería química y ambiental. El objetivo de esta investigación fue remover la materia orgánica de las aguas residuales de la industria láctea, variando la densidad de corriente y el tiempo de residencia por el método de electrocoagulación usando energía eólica. El fundamento de la electrocoagulación radica en que al proporcionar corriente eléctrica se producen iones metálicos al disolverse el ánodo. Los resultados obtenidos fueron: 3490 mg/L de DBO, 8900 mg/L de DQO, 1743 mg/L de aceites y grasas. La densidad de corriente óptima del proceso es de 84,81 A/m², con una superficie total de contacto de 0,08253 m² y 7 A. El tiempo de residencia óptimo para el proceso de electrocoagulación de los residuos líquidos de la industria láctea es de 25 minutos, con un espacio entre electrodos de 1 cm. La potencia eléctrica utilizada para realizar en forma óptima el proceso de electrocoagulación, es de 70 W. El proceso se realizó con energía eólica. Los porcentajes de remoción de los parámetros analizados de los residuos líquidos de la industria láctea por el método de electrocoagulación son 97,32% para DBO, 97,81% para DQO, 99,10 % para aceites y grasas. Conclusión: Se determinó a través del análisis de varianza, que las variables involucradas en el proceso (densidad de corriente y tiempo

de residencia) y su interacción, son relevantes para la remoción de contaminantes de residuos líquidos de la industria láctea.

Gómez Figueroa (2019), en el trabajo de investigación denominado “TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE LAVANDERÍA INDUSTRIAL MEDIANTE LA TÉCNICA ELECTROQUÍMICA DE ELECTROCOAGULACIÓN”, Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería donde el objetivo principal fue de mejorar la calidad del agua reduciendo los contaminantes vertidos al alcantarillado doméstico. La caracterización del efluente de lavandería inicial, considerando los parámetros de DQO, SST, fosfato, detergentes y turbidez, presentaron valores de 1592.6, 210, 113.230, 68.876 mg/L y 383 NTU respectivamente. Como resultados cuando se analizó el efecto del tipo de material del ánodo sobre la eficiencia de remoción, alterando la configuración de los ánodos de aluminio por hierro (Al - Fe y Fe - Fe), a la densidad de corriente óptima hallada con electrodos de aluminio ($j = 0.49$ A/dm²) para $t_r = 20, 30$ y 40 min, se encontró que el parámetro más afectado por el material de los ánodos fue la DQO, que incrementó su eficiencia de remoción a valores máximos de 92.5% para (Fe - Fe) a 30 min y 92.4% para (Al - Fe) a 40 min, caso contrario sucedió en los detergentes, pues bajó su eficiencia de remoción respecto a los ánodos de aluminio (Al - Al), alcanzando un 85.4 % para (Al - Fe) y 91.3% para (Fe - Fe) a 30 min. Respecto a las pruebas a flujo continuo, usando ánodos de hierro (Fe - Fe), se logró la mejor respuesta a un caudal de 0.6 L/min con un $j = 0.8$ A/dm²; alcanzando remociones de 97.02, 93.97, 84.45, 49.03 y 81.87% para turbidez, SST, DQO, detergentes y fosfato respectivamente. Por último, se realizó un escalamiento del reactor por lotes a escala industrial, hallando los costos que incurren en la fabricación y operación de mismo. Concluyendo que los porcentajes de remoción al analizar la técnica usando electrodos de aluminio (Al - Al) por lotes, para densidades de corriente (j) de 0.49, 0.62 y 0.74 A/dm², y tiempos de reacción (t_r) de 20, 30 y 40 min, fueron considerables en todos los parámetros estudiados, llegando a alcanzar

valores máximos para diferentes condiciones de operación de 72.3, 95.2, 99.8, 96.1 y 98.9% para la DQO, SST, fosfato, detergentes y turbidez respectivamente.

Milla Figueroa (2019), con su tesis “EQUIPO DE ELECTROCOAGULACIÓN CON ELECTRODOS MÓVILES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE POZO” de la Universidad Nacional Federico Villarreal para optar el grado académico de maestro en gestión ambiental. El objetivo de la presente investigación fue construir el equipo de electrocoagulación con electrodos móviles para el tratamiento de aguas de pozo. El resultado de esta investigación comparado con la investigación de Jaramillo (2012) en la cual diseñó y construyó un reactor de electrocoagulación para el tratamiento de agua residual de tintura y acabado textil, para tal propósito se utilizó también electrodos, sin embargo la hipótesis de esta investigación concluyó que el resultado del equipo de electrocoagulación en el tratamiento de aguas de pozo es eficiente, sin embargo puede ser discutible una concordancia en razón de tener 119 objetivos distintos y que el equipo de Jaramillo empleó electrodos fijos mientras que en el equipo propuesto de esta investigación funciona con electrodos móviles. La presente investigación concluye: Que el diseño del equipo de electrocoagulación con electrodos móviles presenta ventajas en contraste con el equipo de electrocoagulación convencional en la geometría de los electrodos, la geometría del tanque reactor y en la precisión de las lecturas de la conductividad, pH, y sólidos totales disueltos. Que la construcción del equipo de electrocoagulación con electrodos móviles está justificada plenamente por cuanto se ha comprobado su modificación través de la experimentación científica de la aplicación del equipo en muestras de aguas de pozo obteniéndose como resultado de las pruebas de hipótesis previa verificación de la normalidad y la igualdad de la varianza de los datos aplicadas a la información generada por la experimentación. Se logró la construcción de un equipo de electrocoagulación.

Condori Pantoja (2018), con su tesis “EVALUACIÓN DE LA TRATABILIDAD DEL EFLUENTE GENERADO POR UN LABORATORIO METALÚRGICO APLICANDO LA ELECTROCOAGULACIÓN” de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria la Molina para Optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental donde el objetivo fue evaluar la tratabilidad de los efluentes generados de un laboratorio metalúrgico por medio de la electrocoagulación, se diseñó un electro coagulador a escala de dimensiones de 40.8 cm de largo, 10.6 cm de ancho y 14 cm de alto con una capacidad de 6.168 L. Se utilizaron 20 placas para cada ensayo de hierro y aluminio y estas placas se conectaron en paralelo con una configuración bipolar a una fuente de corriente continua. Las mejores condiciones para la remoción de los metales (plomo, cadmio y cromo) fueron: material de los electrodos de aluminio, una distancia entre placas de 1 cm y un tiempo de retención de 60 minutos. Los resultados de experimentales correspondientes a la remoción de plomo de los efluentes del laboratorio Alfred H. Knight fueron comparados mediante un análisis estadístico de varianza ANOVA, en donde se verificó la interacción de las variables respecto a la reducción de plomo por medio del tratamiento de electrocoagulación. Concluyendo que la investigación realiza la caracterización del efluente del laboratorio metalúrgico Alfred H. Knight, donde se obtuvo parámetros que sobrepasan los VMA estipulados en el D.S. 001-2015- VIVIENDA, entre estos se encuentra el plomo y el cadmio, a diferencia del cromo que se encontró en valores menores a los VMA, también se obtuvo un pH de 3.2. Las variables óptimas para la remoción de plomo fueron: electrodos de hierro a una distancia de 1 cm y un tiempo de retención de 60 minutos, obteniendo una remoción del 94.67 por ciento, se debe tener en cuenta que este valor no tiene una diferencia significativa con el ensayo realizado en las mismas condiciones, pero con electrodo de aluminio donde se logró una remoción de 94.2 por ciento. El cadmio presentó una mayor remoción utilizando electrodos de aluminio a una distancia de 1.5 cm y un tiempo de remoción de 60 minutos, alcanzando

un porcentaje de remoción de 49.54 por ciento. El cromo tuvo una mayor remoción con electrodos de aluminio a una distancia de 1 cm y tiempo de retención de 60 minutos, logrando una remoción del 49.46 por ciento. A diferencia del plomo la remoción de cadmio y cromo fue mucho menor y esto puede ser por el pH del efluente a tratar, ya que se trabajó con aguas de pH 3.2 ácido.

Perez Bendezu (2018), en el trabajo de investigación denominado “USO DE LA ELECTROCOAGULACIÓN PARA REDUCIR LA CARGA DE CONTAMINANTES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AJEPER-HUACHIPA 2017 II” de la Facultad De Ingeniería de la Universidad Cesar Vallejo donde el objetivo principal fue evaluar el uso de la electrocoagulación que reducirá la carga de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales Ajeper – Huachipa 2017 II. La metodología fue experimental y validación de instrumentos se realizó a través del juicio de expertos. Los resultados de los parámetros físicos y químicos obtenidos después del tratamiento muestran una disminución elevada en porcentajes dentro de los valores máximos admisibles. Teniendo un 97 % DQO; 95 % SST; 92% DBO5. los resultados obtenidos antes del tratamiento se encuentran por encima de los límites, excepto el parámetro de DBO5, se llegó a las siguientes conclusiones: el uso de la electrocoagulación disminuyo los contaminantes físicos y químicos del efluente industrial de bebidas, disminuyendo con casi el 90% con comparación a sus medidas iniciales, logrando que el agua tratada se encuentre por debajo de los valores máximos admisibles. Para el diseño de la celda de electrocoagulación se utilizó dos tipos de electrodos hierro y aluminio determinando la disminución de la carga de contaminantes. El uso del hierro tiene un color medio verdoso oscuro, mientras el aluminio es muy eficaz, disminuyendo los parámetros de SST, DQO.

Velásquez Flores (2017), con su tesis “APLICACIÓN DEL

MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN AL EFLUENTE DE LA PLANTA PILOTO DE LECHE “LA MOLINA” de la facultad de ciencias de la Universidad Nacional Agraria la Molina para optar el título profesional de ingeniero ambiental. La investigación tuvo como objetivo evaluar la mejor remoción por electrocoagulación de los principales contaminantes del efluente de la planta piloto de leche “La Molina”. Los resultados obtenidos con los distintos valores de pH de las pruebas para determinar el tiempo y la corriente. Sin embargo, los valores tan variables de turbidez no permitían atribuir en totalidad la remoción al pH. Mientras más turbio sea el efluente hay mayor posibilidad que la remoción se incremente, debido al efecto barrido que funciona mejor bajo estas condiciones. Puesto que el mejor tiempo y la mejor corriente se encontraban definidos, sólo era necesario variar el pH hasta encontrar aquel en cual se dé la mayor remoción. Se decidió medir dentro del rango de 3,5 a 9,5 cada 1 pH de diferencia, debido a que dentro del rango de 6.5 a 8.5 ocurre la formación de hidróxido de aluminio que es el principal coagulante, los demás valores se tomaron para ver el comportamiento del sistema de electrocoagulación a pH ácidos y alcalinos. Se desarrolló 5 test que consistían en las 7 evaluaciones de pH dentro del rango 3,5 a 9,5. Se utilizó el HCl y el NaOH a 0.5 N como agentes modificadores del pH. Para esta prueba se recolectaron 56 litros del efluente, en 2 baldes 20L y 2 baldes 8L, los 4 baldes tuvieron que ser mezclados en un recipiente más grandes para poder homogenizar la muestra a tratar. Una vez finalizado el tratamiento, se midió el pH de salida debido a que este tiende a ser distinto al pH de entrada. Al igual que en la determinación del tiempo y la corriente se realizó el cambio de las pinzas cocodrilo una vez finalizado un set. La prueba estadística para la determinación del pH de trabajo fue la de Kruskal Wallis usando el programa estadístico minitab 17 en su período de prueba. Se llegó a las siguientes conclusiones: Se caracterizó el efluente de la planta de leche obteniéndose parámetros que sobrepasan la normativa nacional de los VMA. Entre éstos hay que resaltar la DBO5 y DQO que presentaban valores muy altos debidos principalmente a la presencia de suero de leche que tiene una carga orgánica muy elevada.

Los SST también superaron los VMA, pero por muy poco. El fósforo total superó los valores internacionales sugeridos por el banco mundial, este parámetro no está considerado dentro de los VMA. Los demás parámetros analizados que fueron aluminio, pH, sólidos sedimentables, N-NH₃, aceites y grasas cumplían con los VMA. Se determinaron los mejores parámetros de funcionamiento para el sistema de electrocoagulación los cuales fueron 30 minutos, 3A y 8.5 pH. Se caracterizó el efluente tras ser tratado por el sistema de electrocoagulación obteniéndose disminución de algunos parámetros. La DBO₅ y DQO disminuyeron en concentración, pero no llegaron a cumplir los VMA. Los SST, pH, aceites y grasas disminuyeron hasta cumplir los VMA. El fósforo total se redujo a una concentración que le permitía cumplir los valores sugeridos por el banco mundial. Sin embargo, otros parámetros sufrieron un incremento en sus concentraciones. Los sólidos sedimentables y aluminio pasaron de cumplir los VMA a sobrepasar estos valores. El N-NH₃ se incrementó, pero este incremento no fue lo suficientemente grande para superar los VMA que ya se cumplían antes del tratamiento.

Soncco Quispe (2017), en el trabajo de investigación “PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA DISMINUCIÓN DE CONTAMINANTES DE LOS EFLUENTES DE LA EMPRESA TEXTIL, CHORRILLOS - 2017” de la Facultad De Ingeniería de la Universidad Cesar Vallejo donde el objetivo fue evaluar la capacidad del proceso de electrocoagulación para la disminución de contaminantes de los efluentes de la empresa Textil, Chorrillos – 2017. Para ello se consideró como población a los efluentes generados por dicha empresa tomándose como muestra 64 litros para así evaluar sus parámetros físicos y químicos antes y después del tratamiento se llevó a cabo con dos tipos de electrodos aluminio y hierro así mismo se trabajó con dos tiempos y dos amperajes obteniendo como resultados que para el parámetro físico de sólidos suspendidos totales se han obtenido resultados muy variables en cada semana. Por otro lado,

para el caso de la temperatura, en cada muestreo se ha evidenciado que no existe mucha variación en cuanto al valor obtenido. Se evaluó dos tiempos de 15 y 30 minutos así mismo se tuvo en cuenta dos tipos de amperaje de 3 A/cm cuyos electrodos a evaluar fueron hierro y aluminio. Concluyendo que el uso más eficiente es el de electrodos de aluminio con un tiempo de 30 min; 5 A/cm². ya que en los parámetros químicos se obtuvo una eficiencia alta en la disminución de DBO₅ de 95,99% y para DQO del 99%. Por otro lado, en los parámetros físicos los resultados obtenidos de sólidos suspendidos totales en promedio fueron de 20,5mg/L. Resultando así que los parámetros se encuentran por debajo de los valores máximos admisibles, lo que demuestra que la variación de concentración de los parámetros puede estar directamente relacionada al tiempo e intensidad de corriente.

Poma Javier & Quispe Sanca (2016), en el trabajo de investigación denominado “REMOCION DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES URBANAS POR EL METODO DE ELECTROCOAGULACION”, en donde el objetivo fue remover los contaminantes de las aguas residuales urbanas del colector de aguas de la Universidad Nacional del Centro del Perú variando la densidad de corriente y el tiempo de residencia por el método de electrocoagulación a nivel laboratorio. Donde se llegó a la conclusión: Mediante el análisis de varianza realizado se determinó que la variación de la densidad de corriente y el tiempo de residencia tiene un efecto significativo en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Donde Los porcentajes de remoción de los indicadores de los contaminantes de las aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación son 85,9% para DBO, 75,3% para DQO, 93,8 % para aceites y grasas, 89,5% para conductividad eléctrica, 79,6% para turbiedad, 95,3% para sólidos totales, 91,0% para sólidos suspendidos, 91,3% para sólidos disueltos, 70,3% para dureza total, 91,3% para dureza cálcica, 91,9% para cloruros, 100,0% para coliformes totales y 98,9% para escherichia coli.

Aguilar Ascon (2015), con su tesis “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN A ESCALA LABORATORIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA”, Para optar el Grado Académico de Magíster en Ciencias Ambientales en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú, con el objetivo de determinar la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de aguas. Resumen: en este estudio se planteó construir un reactor de electrocoagulación para evaluar la eficiencia en la remoción de la DQO (Demanda Química de Oxígeno) de aguas residuales provenientes de la industria de pintura; así como determinar las mejores condiciones de pH, conductividad, intensidad de corriente y tiempo de tratamiento. En base a los resultados obtenidos al realizar el tratamiento del efluente con electrocoagulación, se determinó una eficiencia promedio del 87 % en la remoción de la DQO. Estos valores óptimos de operación se obtuvieron con una intensidad de corriente $I = 5$ amperios, con el pH natural del efluente de 7,12 y un tiempo de tratamiento de 15 minutos, con lo cual se cumple la normativa ambiental vigente en el país. Otro aspecto importante observado en este estudio fue la calidad del lodo producido en el tratamiento, de aspecto mucho más compacto que un lodo físico químico o biológico. Llegando a la conclusión que el tratamiento de aguas residuales industriales con electrocoagulación es un proceso efectivo para la remoción de contaminantes, siendo una alternativa viable para su aplicación en el país.

Sánchez Carpio (2015), con su tesis titulado “PROPUESTA DE APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS LIMPIAS PARA EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL EN UNA EMPRESA DE FABRICACIÓN DE VIDRIOS DE SEGURIDAD”. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas de la Facultad de Ingeniería para optar el título de Ingeniero Industrial. Con el objetivo de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar el adecuado funcionamiento de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de

las aguas residuales. Los resultados de las pruebas exceden los niveles exigidos se puede, en primera instancia, enviar a revisar los equipos para su correcto mantenimiento, o plantear modificaciones en las cantidades de químicos suministrados (coagulantes, floculantes), o verificar el tiempo de residencia a lo largo de las distintas operaciones unitarias. Las conclusiones del proyecto de investigación, a continuación, se procederá a detallar las recomendaciones aplicables a la puesta en marcha del proyecto planteado en el presente trabajo. Una primera recomendación es realizar análisis periódicos de los niveles de VMA con el apoyo de laboratorios externos certificados. Se sugiere que estos se realicen con una frecuencia de muestreo anual, durante los tres primeros años, y a partir del cuarto año se debería realizar semestralmente. Esto debido fundamentalmente a dos factores, uno es el caudal nominal de la PTARI y el otro es la depreciación de la tecnología en el tiempo (la garantía de los equipos es 3 años).

Camarena Zambrano (2014), con su tesis titulado “SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS DEL ANEXO DE CAJAS CHICO – LA RIBERA – HUANCAYO” de la Universidad Alas Peruanas, Huancayo – Perú. El problema identificado fue Cómo tratar la carga orgánica y la turbidez en las aguas residuales urbanas del anexo de Cajas Chico – La Ribera – Huancayo, ante la problemática existente la investigación tuvo como objetivo tratar la carga orgánica y la turbidez en las aguas residuales urbanas del anexo de Cajas Chico – La Ribera – Huancayo mediante un sistema de electrocoagulación, seguidamente se planteó la siguiente hipótesis: El sistema de electrocoagulación permite remover una cantidad mayor al 70% de la carga orgánica y la turbidez de las aguas residuales urbanas del anexo de Cajas Chico – La Ribera – Huancayo. La metodología utilizada en el estudio fue mediante la experimentación en un sistema construido para este propósito a nivel de prototipo con una capacidad de 3 litros hecho de fibra de vidrio, para tratar las aguas residuales descritas mediante el proceso denominado electrocoagulación, que permitió depurar el agua en cuanto a su carga orgánica y turbidez. Los resultados encontrados

fueron que se obtuvo un 75.08% de remoción de carga orgánica para tal efecto evaluó en función a la DQO, también se obtuvo un porcentaje de remoción de turbidez del 96.09%. concluyendo que existe variación a un 95% de confianza para la variable porcentaje de remoción de carga orgánica y con un 99% de confianza para la variable porcentaje de remoción de turbidez.

Riccio Yauri (2010), con su tesis “REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, POR ELECTROCOAGULACIÓN, A NIVEL DE LABORATORIO” para obtener el grado de maestro en la Universidad Nacional de Trujillo, con el objetivo de establecer las condiciones óptimas de operación se construyó una celda electrolítica tipo Batch, de material termoplástico, de volumen útil de 3.66 L en la cual se colocaron electrodos de aluminio y hierro, alternadamente, los cuales hicieron de cátodo y ánodo, respectivamente. Utilizando este proceso se obtuvo una remoción de aceites y grasas del 93.9%, a nivel de laboratorio, con una densidad de corriente de 20 A/m², 3 cm de distancia entre electrodos, y un tiempo de 60 minutos). Con esta tesis concluye que, mediante la electrocoagulación, como método electroquímico de tratamiento de aguas residuales, se puede eliminar los aceites y grasas de las aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, en cuya caracterización se encontró que tiene elevada carga orgánica puesto de manifiesto en su DBO que alcanza 1 647.0 mg/L, una DQO de 4 436.8 mg/L, sólidos totales en 3 716 mg/L y una importante concentración de aceites y grasas de 1 600 mg/L.

2.1.3. A nivel Local

Farfán Chilicaus (2019), el presente trabajo de investigación, que tiene como título “INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE Y LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO OXÁLICO SOBRE LA REMOCIÓN DE PLOMO POR ELECTROREMEDIACIÓN DEL RELAVE DE LA

EMPRESA MINERA PAREDONES”, que tiene como objetivo principal el tratamiento de suelos contaminados, y eliminación de metales pesados, como el plomo presente en relaves de mina de la empresa minera Paredones. Para la remoción de este metal pesado, se hizo uso del proceso de electroremediación, colocando como variables en este proceso la densidad de corriente de 10, 20 y 30 mA/cm² y con concentraciones de ácido oxálico de 5, 10, 15 mol/L y con un tiempo de residencia de 24 horas como mínimo según antecedentes. Concluyendo que se puede determinar la influencia de la densidad de corriente y la concentración de ácido oxálico sobre la remoción de plomo por electroremediación del relave de la empresa minera Paredones. Logrando obtener como resultado un 83.77% de eficiencia máxima en la remoción de metal pesado de Pb, presentes en relaves, dicho porcentaje máximo se obtuvo con una densidad de corriente de 30 mA/cm² y de ácido oxálico al 15M, de esto podemos deducir que tanto la densidad como la cantidad de ácido oxálico, posee o tienen influencia sobre la eficiencia de remoción de Pb.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Teoría del tratamiento de aguas residuales

Agua residual

Según la UNESCO (2017), el 80% de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas, siendo uno de los grandes desafíos del agua.

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad está afectada negativamente por la influencia antropogénica. Se trata de agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella.

Las aguas residuales son **aguas con impurezas procedentes de vertidos de diferentes orígenes**, domésticos e industriales, principalmente. De esta forma, tenemos que las aguas residuales pueden

contener elementos contaminantes originados en desechos urbanos o industriales. Las aguas residuales urbanas generalmente se conducen por sistemas de alcantarillado y tratadas en plantas de tratamiento de aguas residuales para su depuración antes de su vertido, aunque no siempre es así en todos los países.

Componentes:

Físicos: Los componentes físicos de estas aguas son el color, el olor, los sólidos y la temperatura.

Químicos: Los componentes químicos más comunes en las aguas residuales son orgánicos (carbohidratos, grasas animales, aceites, pesticidas, fenoles, proteínas, compuestos orgánicos volátiles, etc.); inorgánicos (alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, PH, fósforo, contaminantes prioritarios y azufre); gases (sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno).

Biológicos: Los componentes biológicos más habituales en estas aguas son animales y plantas.

La ausencia o insuficiencia de depuradoras, la sobrepoblación en época estival, las fugas en los sistemas de conducción de aguas fecales o los puntos de vertidos no autorizados son las principales causas de la deficiente depuración de las aguas residuales.

Clasificación de los tipos de aguas residuales:

1. Aguas residuales urbanas

Las aguas residuales domésticas o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.

2. Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

3. Aguas residuales industriales

Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

2.2.2. Tratamiento de aguas residuales

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. Los servicios de agua, saneamiento e higiene administrados de manera segura son una parte esencial para prevenir enfermedades y proteger la salud humana durante los brotes de enfermedades infecciosas, incluida la actual pandemia de COVID-19.

En esta época en la que el 36 % de la población mundial vive en regiones donde el agua es un bien escaso, el tratamiento de las aguas residuales para su reutilización debe ser parte de la solución a los problemas de escasez y contaminación de las aguas. Una vez tratadas, las aguas residuales pueden utilizarse para reemplazar el agua dulce para riego, procesos industriales o fines recreativos. También pueden usarse para mantener el flujo ambiental, y los productos derivados de su tratamiento pueden generar energía y nutrientes

Según el informe, el tratamiento de las aguas residuales tiene un doble valor. Además de los beneficios medioambientales y para la salud, puede ofrecer beneficios económicos al reutilizarse en distintos sectores. Sus productos derivados, como los nutrientes y el biogás, pueden aplicarse a la agricultura y utilizarse para la generación de energía. Asimismo, los ingresos adicionales que se obtengan de este proceso pueden ayudar a cubrir costos operativos y de mantenimiento de los servicios públicos de aguas.

En este sentido, ya no debe considerarse a las aguas residuales un ‘residuo’, sino más bien un recurso. Esto es un principio fundamental de la economía circular, un sistema económico que tiene como objetivo

minimizar los residuos y aprovechar al máximo los recursos. 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, de acuerdo con los principios de la denominada 'economía circular, en gestión de recursos hídricos del Banco Mundial. Una de las principales ventajas de adoptar los principios de la economía circular para la gestión de las aguas residuales es que la recuperación y reutilización de recursos podría transformar los servicios de saneamiento, que pasarían de ser costosos a autosustentables y que le agregarían valor a la economía. Esto ayudaría a los países a superar los problemas de financiamiento.

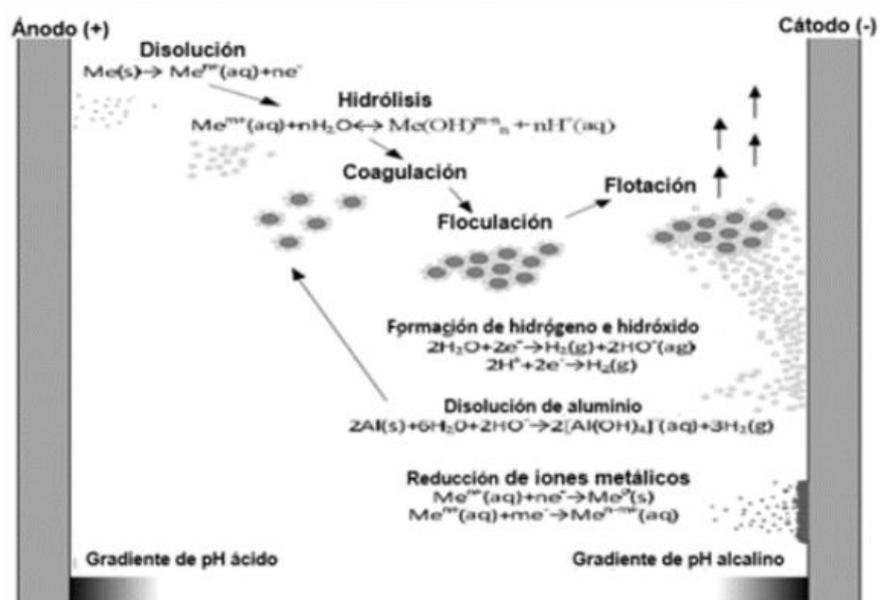
2.2.3. La electrocoagulación

La electrocoagulación es un método alternativo para la depuración de aguas residuales. Consiste en un proceso de desestabilización de los contaminantes del agua ya estén en suspensión, emulsionados o disueltos, mediante la acción de corriente eléctrica directa de bajo voltaje y por la acción de electrodos metálicos de sacrificio, normalmente aluminio/hierro. Se trata de un equipo compacto que opera en continuo, mediante un reactor de especial diseño donde se hallan las placas o electrodos metálicos para producir la electrocoagulación. En este proceso se genera una elevada carga de cationes que desestabilizan los contaminantes del agua residual, se forman hidróxidos complejos, estos tienen capacidad de adsorción produciendo agregados (flóculos) con los contaminantes. De otro lado, por la acción del gas formado se genera turbulencia y se empuja hacia la superficie los flóculos producidos.

Se puede definir a la electrocoagulación como un proceso electroquímico en el que, a partir de compuestos procedentes de la disolución de un ánodo, se agrupa la materia coloidal existente en un agua residual (o se rompe una emulsión), posibilitando su separación del agua mediante técnicas convencionales de separación sólido-líquido (decantación, flotación). Normalmente, el material anódico empleado

consiste en planchas de aluminio o de hierro. Al aplicar una diferencia de potencial a la celda, se consigue la generación de iones en disolución.

Figura 1 Mecanismo de reacción de electrocoagulación



Mecanismos y reacciones

Durante la electrólisis ocurren una serie de procesos físicos y químicos que permiten la remoción de los contaminantes. Estos procesos se pueden describir de la siguiente manera:

En los electrodos se da una serie de reacciones que proporcionan iones tanto positivos como negativos. El ánodo provee iones metálicos. A este electrodo se le conoce como electrodo de sacrificio, ya que la placa metálica que lo conforma se disuelve, mientras la placa que forma el cátodo permanece sin disolverse.

Los iones producidos cumplen la función de desestabilizar las cargas que poseen las partículas contaminantes presentes en el agua. Cuando estas cargas se han neutralizado los sistemas que mantienen las partículas en suspensión desaparecen, permitiendo la formación de agregados de los contaminantes e iniciando así el proceso de coagulación.

Figura 2 Mecanismo de reacción de electrocoagulación y Transferencia de Masa

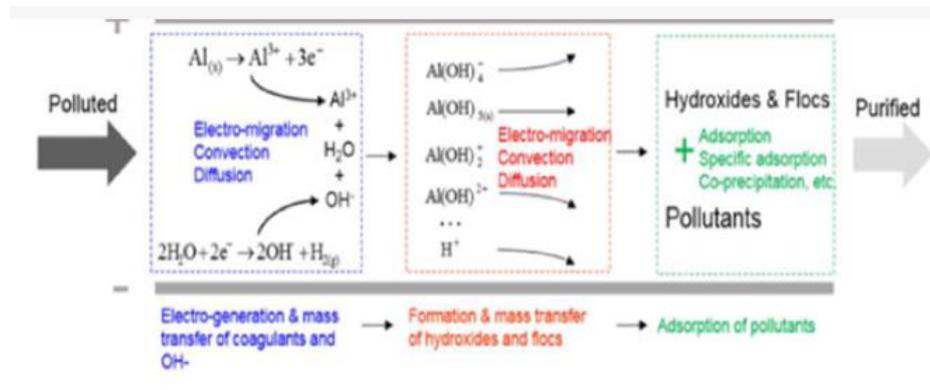
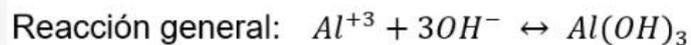
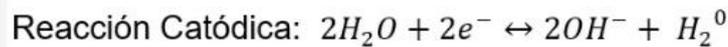
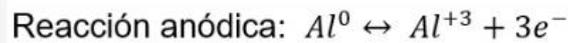


Figura 3 Reacciones que intervienen en el proceso



Factores más importantes que afectan la electrocoagulación

1. **Efecto del pH.** El pH influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido.
2. **Densidad de corriente.** La eficiencia en la remoción y el consumo de energía se incrementan con el aumento en la densidad de corriente.
3. **Arreglo mecánico de la CE**
4. **Elaboración de Rectificador**
5. **Tipo de reactor**

Tipos de reactores y celdas electrolíticas

Tipos de reactores

De todos los posibles reactores a utilizar en el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales mediante EC, el más adecuado es el reactor

Batch. Este reactor consiste en una celda que contiene 2 o varios electrodos estos se unen a una fuente de poder y son sumergidos al agua que se desea tratar, la característica principal de este reactor es que el caudal del agua a tratar debe ser constante es decir su operación es con un volumen determinado, otra de sus características sobresalientes es su bajo costo de operación y su facilidad de operación. Hay que tener en cuenta que en este tipo de reactor las condiciones del proceso varían a medida que transcurre el tiempo y que el área superficial de los electrodos debe ser grande ya que se presenta una relación directamente proporcional con el aumento de la disolución de los iones y de esta manera tener una mejor disolución del contaminante. La condición de operación de este reactor es la temperatura de 60 °C.

Figura 4 Reactor Batch In situ / Ex situ. Fuente: Ing. Amílcar Diego



Figura 5 Configuración Monopolar en Paralelo

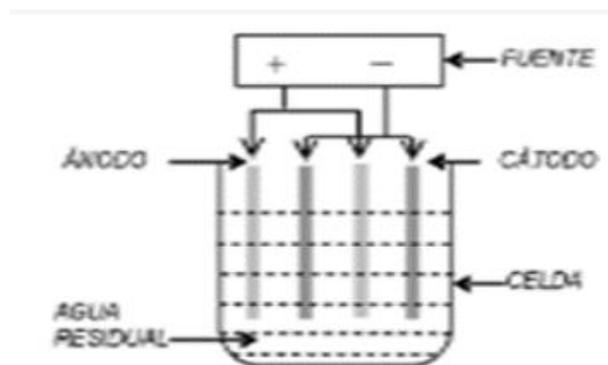
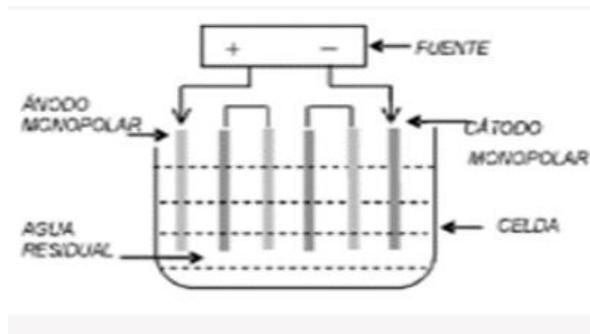


Figura 6 Configuración Monopolar en Serie



Coagulación vs. Electrocoagulación

La coagulación es un fenómeno físico-químico en el que las partículas suspendidas coloidales son neutralizadas por colisión mutua por interacción con un reactivo (generalmente una sal de catión polivalente como Fe^{+3} y Al^{+3}). Se forman así flóculos que, al alcanzar una densidad ligeramente superior a la del agua, son capaces de sedimentar debido a las fuerzas gravitacionales produciéndose una primera separación de la fase sólido-líquido. El coagulante generalmente utilizado en el tratamiento de las aguas residuales es $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. A diferencia de la coagulación química, en los procesos de electrocoagulación, el agente coagulante es generado in situ por oxidación electrolítica del material del ánodo, lo cual permite reducir la dosificación de reactivos y, en consecuencia, supone un importante ahorro en los costes de operación. Durante el proceso de electrocoagulación las especies iónicas cargadas son eliminadas del agua residual por dos vías: mediante la reacción con un ión con carga iónica opuesta o bien mediante la floculación y posterior decantación de los hidróxidos metálicos generados.

Entre las desventajas de la electrocoagulación se encuentra requerimientos como el reemplazo periódico del electrodo de sacrificio, y que el agua tenga una conductividad mínima diferente de cero que varía según el diseño del reactor, lo que limita su uso en aguas con baja cantidad de sólidos totales disueltos (STD). También se encuentra la formación de una

película de óxido impermeable en el cátodo que interfiere con el buen desempeño de la celda, este efecto se puede disminuir cambiando la polaridad de la celda, y lodos con una alta cantidad de concentración de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio usado.

Figura 7 Caracterización de Agua Residual de Curtiembre (Datos experimentales). Fuente: Ing. Amílcar Diego

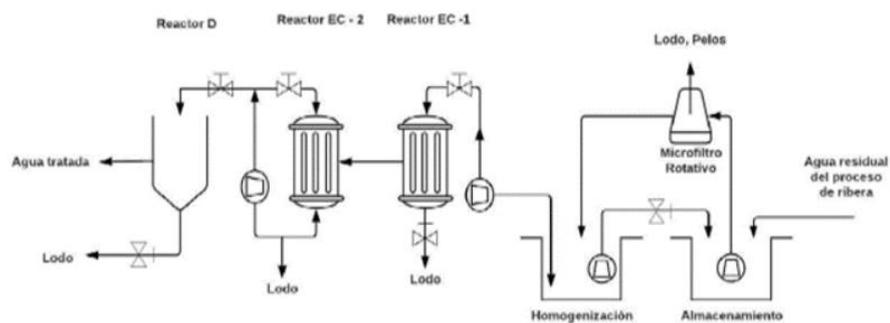
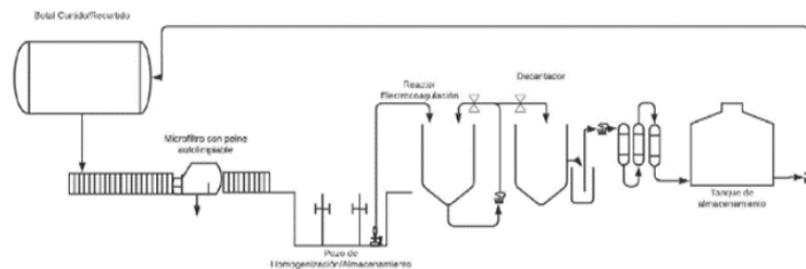


Tabla 1
Resultados luego de la Electrocoagulación. Fuente: Ing. Amílcar Diego

Parámetros	Unidad	Concentración
DBO ₅	mg/L	1050
DQO	mg/L	2785
AyG	mg/L	155
SST	mg/L	450
Cr ⁺⁶	mg/L	0.0001
Cr _{TOTAL}	mg/L	34
S ⁻²	mg/L	72
SO ₄	mg/L	1561
N-NH ₄	mg/L	85
SD	mg/L	45
pH	-	8.5
T ⁰	°C	25

Figura 8 Diagrama de flujo de Sistema de Electrocoagulación. Fuente: Ing. Amilcar Diego

Parámetros	Unidad	EC FOTOVOLTAICA
DBO ₅	mg/L	219.54
DQO	mg/L	781.94
Cr _{TOTAL}	mg/L	0.67
S ⁻²	mg/L	1.38



Variable	Unidad	Rango admisible
Conductividad	mS/cm	24
Amperios	A	50
pH	-	8.5-8.9
TRH	h	3:30
Configuración de electrodos	-	Monopolar en paralelo
Tipo de electrodo	-	Al/Al

2.2.4. Normativas relacionadas a efluentes de una PTAR

Valores Máximos Admisibles (VMA)

DECRETO SUPREMO N° 010-2019-VIVIENDA, REGLAMENTO DE VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA) PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO

Es objeto de la presente norma establecer las disposiciones complementarias al Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (en adelante, Reglamento de VMA)

Tabla 2
Rangos de concentración

RANGO	DBO5	DQO	S.S.T	A y G
VMA (mgL)	500	1000	500	100
Rango 1	500,1 – 600	1000,1 - 1200	500,1 - 600	100,1 – 200
Rango 2	600,1 – 1000	1200,1 - 2500	600,1 - 1000	200,1 – 350
Rango 3	1000,1 – 2500	2500,1 - 4500	1000,1 - 3500	350,1 – 600
Rango 4	Mayor a 2500	Mayor a 4500	Mayor a 3500	Mayor a 600

Fuente: Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA

Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda.

Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental (DS N° 003-2010-MINAM, 2010).

Tabla 3*Límites Máximos Permisibles (LMP)*

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

2.3. Marco Conceptual

- **Arrastre.** Mover algo o a alguien sin levantarlo del suelo, generalmente halándolo
- **Doméstica.** Implica todo aquello que es relativo a una casa, vivienda, hogar o morada
- **Eficacia.** Es cumplir con los objetivos propuestos. Tiene que ver con la habilidad o capacidad de hacer algo, pero no cómo se hace
- **Hidráulico.** La idea de hidráulica también puede usarse para aludir a las técnicas, metodologías y recursos que permiten contener, guiar y aprovechar el agua. En este sentido, el concepto se vincula al aprovechamiento del agua para producir energía, al desarrollo de acueductos, etc
- **Residuales.** Un residuo es la parte o porción que queda o sobra de un todo, bien sea a causa de su descomposición o destrucción, bien porque su utilidad ya fue aprovechada

Tratamiento. Un tratamiento es un conjunto de medios que se utilizan para transformar algo

2.4. Marco Filosófico

En el presente proyecto no cuenta con antecedente referente al marco filosófico.

2.5. Formulación de hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

El método de electrocoagulación influye significativamente en el tratamiento de aguas residuales procedentes de PTAR Paucará-Huancavelica.

2.3.2. Hipótesis Específicas

1. La intensidad de corriente y tiempo en relación a temperatura, es significativo usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica.
2. La intensidad de corriente y tiempo en relación a PH, es significativo usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica.
3. La intensidad de corriente y tiempo en relación a los sólidos suspendidos totales es significativo usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica.
4. La intensidad de corriente y tiempo en relación a la demanda química de oxígeno es significativo usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica.

2.6. Identificación de variables

Variable Independiente

- ✓ Método de electrocoagulación

Indicadores:

-  Tiempo de retención (min)
-  Intensidad de corriente eléctrica (Amperios)

Variable Dependiente

- ✓ Tratamiento de aguas residuales

Indicadores

Parámetros fisicoquímicos

- Temperatura
- PH
- Demanda química de oxígeno.
- Solidos Suspendidos Totales

2.7. Definición operativa de Variables e Indicadores

VARIABLES	DIMENSIONES	SUB DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICES	INSTRUMENTO
<p>VARIABLE DEPENDIENTE: Tratamiento De Aguas Residuales</p> <p>DEFICION CONCEPTUAL El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano</p> <p>DEFINICION OPERACIONAL constituye en la estimación de la mitigación de los contaminantes presentes en el efluente del camal municipal</p>	LA CONTAMINACIÓN DE AGUA	Parámetros químicos	DQO (Demanda química de oxígeno)	≤1000 mg/L	Medidor DQO HI 83214
<p>VARIABLE INDEPENDIENTE: Método De Electrocoagulación</p> <p>DEFICION CONCEPTUAL Es un proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados.</p> <p>DEFINICION OPERACIONAL Se constituye la estimación del rendimiento de un equipo.</p>	TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	Tiempo	Minutos	15 min 30 min	Cronometro
		Intensidad de corriente eléctrica	Amperios	30 Amperios 50 Amperios	Fuente de poder

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Tipo de investigación

La investigación se ubica dentro del tipo de investigación Aplicada, porque utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Hernández et al. 2010)

La investigación básica busca el descubrimiento de principios básicos que constituyen punto de apoyo en la solución de alternativas sociales, con el fin de solucionar problemas (Tamayo 2003)

3.2. Nivel de investigación

Se trata de una investigación aplicada, debido a que manipula las variables en un tiempo y espacio.

3.3. Métodos de Investigación

El Método Científico permitirá el proceso de investigación en forma general, secundado por sus leyes, principios y categorías. Además, será el camino metodológico que tiene la ciencia para la construcción de nuevos conocimientos para utilizarlos a su vez en la construcción de otros

Así mismo, se utilizará el método cuantitativo, el cual tiene los siguientes pasos: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis, y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia

Este método obliga al científico a combinar la reflexión racional o momento racional (la formación de hipótesis y la deducción) con la observación de la realidad o momento empírico: la observación y la verificación, (Carrasco, 2006)

3.4. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación es un diseño completamente al azar (DCA), en el cual los tratamientos se asignan completamente al azar a las unidades experimentales o, también diríamos, que las unidades experimentales son asignados completamente al azar a los tratamientos sin ninguna otra restricción; por lo tanto se considera que es un diseño eficiente cuando las unidades experimentales de las que se dispone son muy homogéneas

El diseño de investigación experimental comprende el siguiente modelo:

GE : O ₁ X O ₂
--

Donde:

GE: Grupo Experimental

O1: Pre test (T°, PH, DQO, SST)

X : Variable experimental (Cámara de electrocoagulación)

O2: Post test (T°, PH, DQO, SST)

3.5. Población, muestra y muestreo

3.5.1. Población

La población en estudio es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Paucará del sector del barrio de Pampa Cruz

3.5.2. Muestra

Para la primera y segunda prueba se recolectó 6 litros de agua del agua residual.

3.5.3. Muestreo

La técnica de muestreo aplicada en la investigación es un muestreo no probabilístico con tipo de muestreo por conveniencia, por qué las elecciones de las muestras no dependen de fórmulas de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador, porque están convenientemente disponibles para el investigador (Hernández et al. 2017)

3.6. Técnica e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnica:

La técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos. Se hace especial referencia a la observación directa, ya que la indirecta se realiza a través de instrumentos muy sofisticados tales como: microscopio, telescopio, monitores, entre otros (Ibáñez P. 2015)

3.6.2. Instrumentos:

GPS diferencial Garmin

Se utilizó el GPS Garmin posee una pantalla de 2,6" que puede leerse a la luz del sol y un receptor GPS y GLONASS de alta sensibilidad con una antena Quadrifilar Helix para una capacidad de

recepción de calidad superior, es compacto y resistente al agua el GPS incluye un altímetro barométrico y una brújula de tres ejes

a. Materiales de recolección de datos en campo

Para el monitoreo y recojo de muestras en campo se utilizaron los siguientes materiales

- ✓ Ficha de puntos de monitoreo

Se empleó los formatos de las fichas establecidas por el tesista donde se ubican cada uno de los puntos de monitoreo con sus respectivas coordenadas.

- ✓ Etiquetas de rotulado

Se realizó etiquetas para el rotulado de cada muestra, que se usaron en el monitoreo y recolección de agua en campo

- ✓ Cooler para transportar y almacenar las muestras

Se utilizó un cooler para realizar el transporte de las muestras de forma segura y para que se mantenga en óptimas condiciones de acuerdo al protocolo

- ✓ Envases para la recolección de muestras

Se utilizó envases de plástico de color blanco con una capacidad de 1 L



a. Localización y recolección de la materia prima

La planta de tratamiento de agua residual, el lugar de recolección fue en el distrito de Paucarará, con coordenadas UTM -12.498424, -75,001042

b. Rotulado y registro de datos de campo

Se rotuló los envases antes de la toma de muestras, con los datos que se estableció en el proyecto de tesis: fecha de monitoreo, punto de monitoreo, numero de muestra y los parámetros a medir.



c. Toma de muestra

- Se llenó el frasco dejando un espacio del 10% del volumen del frasco para asegurar un adecuado suministro de oxígeno para las bacterias
- La muestra se preservó a 4°C (Cooler)
- Se rotulo el frasco de vidrio estéril
- Los frascos de vidrio no fueron sometidos al enjuague
- Para la recolección de muestra de agua, se sostuvo el frasco por la parte inferior y se sumergió hasta una profundidad de 20 cm, con la boca ligeramente hacia arriba
- Después de tapo inmediatamente asegurando un cierre perfecto.



d. PTAR del barrio Pampa cruz

El sistema de la planta de tratamiento de aguas residuales que se encontró en el distrito de Paucará presenta el siguiente esquema desde su construcción



e. Cámara de distribución

Permite repartir equitativamente las aguas para distribuirlas en las ramas de tubería de drenaje



f. Tratamiento preliminar (cámara de rejillas)

Es una cámara preliminar que permite retirar los sólidos gruesos del agua residual mediante una acción mecánica



g. Tratamiento preliminar (Desarenador)

Es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas a fin de evitar que ingresen al canal de aducción y obstaculicen el sistema



h. Monitoreo de los parámetros

Para realizar el monitoreo de agua residual de la planta de tratamiento de agua residual del distrito de Paucará, se determinó la temperatura, DBO5, las muestras fueron extraídas 3 veces continuas cada mes

i. Monitoreo de la temperatura

Para evaluar la temperatura se utilizó un multiparametro de campo para evaluar en valores de centígrados.

j. Monitoreo del DBO

Para la presente investigación se utilizará los instrumentos como respirométrico de la DBO con el Lovibond® BD 600 (para medir la concentración de DBO), tabla de MacGrady (para determinar el número característico que permite obtener el NMP) y la Ficha de registro de datos en campo y laboratorio

Lovibond® BD 600: El sistema de detección BD 600 para 6 puntos de medición permite determinar con exactitud y comodidad la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) conforme al principio respirométrico. El oxígeno consumido se registra en este sistema mediante una reducción de presión en el sistema de medición DBO estanco. Mediante el uso de avanzados sensores de presión es posible prescindir del uso del nocivo metal de mercurio. El valor de DBO de una muestra depende de la carga de sustancias orgánicas y puede variar en gran medida. Por lo tanto, el sistema de medición Lovibond® BSB BD 600 se ajusta a los volúmenes de muestra indicados en la siguiente tabla, independientemente del rango de medición. De aquí se obtiene un rango de medición total de 0 – 4.000 mg/l

Paso 1: Se utilizó 340 ml de agua residual, se colocó en 6 frascos ámbar

Paso 2: Se coloca 3 gotas de nitrificantes para estabilizar la muestra y los valores se encuentren dentro del rango establecido.

Paso 3: colocar en capuchón para evitar fugas.

Paso 4: colocar 3 gotas de hidróxido de potasio para capturar gases

Paso 5: enroscar el sensor y colocar en orden en el equipo.

Paso 6: colocar en la cabina de CO₂ a una temperatura de 20 °C.

k. Materiales utilizados en laboratorio

- Frascos de vidrios de 500 ml, estériles, herméticos e inaccesibles a cualquier contaminación posterior a su esterilización.
- Cadena de custodia.
- Cooler
- Cámara fotográfico
- Guantes de latex

Material para marcar

- Etiquetas adhesivas
- Bolígrafos
- Plumón marcador

Material de laboratorio

- Pipetas graduadas de 10 mL.
- Probetas graduadas de 200 mL.
- Frascos Erlenmeyer graduados de 300 mL.
- Tubos de ensayo de 150mmx100mm y 16mmx150mm.
- Campana de Durham
- Gradilla

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Uno de los supuestos que más se requieren en aplicaciones estadísticas populares, tales como el análisis de varianza, el análisis de regresión, etc., es el de la homogeneidad de varianzas. Este supuesto es crucial

para garantizar la calidad de los procedimientos estadísticos utilizados tanto en pruebas de hipótesis como en la construcción de intervalos de confianza. El procesamiento de datos conllevará a la utilización de las estadísticas descriptiva e inferencial como base general.

3.8. Descripción de la prueba de hipótesis

Para la prueba de hipótesis se determina con la intervención de una hipótesis nula y una hipótesis alterna, tal que se realiza el análisis y determinación de la validez de una de estas hipótesis.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En la presente investigación se presenta los resultados obtenidos utilizando el método de electrocoagulación en la PTAR Paucará, se realizó pruebas con 3 monitoreos dentro de los cuales se obtuvo 3 intensidades de corriente (7, 8 y 9A) Y dos tiempos (40 y 60 min). Así mismo se determinó los parámetros (PH, temperatura, STS y demanda bioquímica de oxígeno).

Para el presente trabajo de investigación se realizó en una celda de electrocoagulación de vidrio con placas de aluminio y hierro y aguas residual de la PTAR – Paucará, con (intensidad de amperio) y tiempo (minutos los resultados se muestran en el siguiente capítulo:

4.1. Presentación e interpretación de datos

4.1.1. Evaluación de temperatura

Podemos mencionar que se trabajó con una intensidad de amperio (A) 7, 8 y 9 donde se obtuvo 3 regiones en las celdas y se trabajó con la región céntrica.

Dentro de los valores de temperatura se obtuvo para la intensidad de amperio (A) valores de 16.55, 15.70 y 14.40 con intensidades de amperio 7, 8 y 9 A respectivamente, donde se observa iguales valores de temperatura.

Tabla 4*Temperatura inicial y temperatura final por cada tratamiento.*

Puntos de muestreo	Intensidad Amperios (A)	Tiempo Minutos (min)	Temperatura Inicial (C°)	Temperatura Final (C°)
PM-1	7	40	9.5	15.80
PM-2	7	40	9.5	14.70
PM-3	7	40	9.5	13.20
PM-4	7	60	9.5	13.50
PM-5	7	60	9.5	14.50
PM-6	7	60	9.5	13.80
			9.5	14.25
PM-1	8	40	8.88	13.50
PM-2	8	40	8.88	15.50
PM-3	8	40	8.88	15.70
PM-4	8	60	8.88	14.40
PM-5	8	60	8.88	14.60
PM-6	8	60	8.88	14.30
			8.88	14.74
PM-1	9	40	8.77	12.20
PM-2	9	40	8.77	13.10
PM-3	9	40	8.77	14.10
PM-4	9	60	8.77	14.60
PM-5	9	60	8.77	15.10
PM-6	9	60	8.77	13.50
			8.77	13.82
			9.05	14.27

4.1.2. Evaluación de PH

Se evaluó las celdas de electrocoagulación para la remoción de contaminantes del efluente de la Planta de tratamiento de agua residual (PTAR) – Paucará, estuvo constituida por placas de aluminio y hierro en un sistema de ánodo y cátodo

La celda tuvo una capacidad de 4.5 litros donde se removi6 el agua residual del residuo del camal municipal de Huancavelica.

Dentro de los valores de PH se obtuvo como mejor valor 9.01 PH a una intensidad de amperio 9 A. Esto se debe a propiedades orgánicas del agua residual.

Tabla 5

PH inicial y PH final por cada tratamiento.

Puntos de muestreo	Intensidad Amperios (A)	Tiempo Minutos (min)	PH Inicial (und)	PH Final (und)
PM-1	7	40	7.66	7.58
PM-2	7	40	7.66	7.14
PM-3	7	40	7.66	8.45
PM-4	7	60	7.66	8.64
PM-5	7	60	7.66	8.98
PM-6	7	60	7.66	8.66
			7.66	8.24
PM-1	8	40	7.34	8.79
PM-2	8	40	7.34	8.66
PM-3	8	40	7.34	9.04
PM-4	8	60	7.34	8.55
PM-5	8	60	7.34	8.19
PM-6	8	60	7.34	8.15
			7.34	8.56
PM-1	9	40	6.55	9.11

PM-2	9	40	6.55	9.45
PM-3	9	40	6.55	8.67
PM-4	9	60	6.55	8.85
PM-5	9	60	6.55	8.96
PM-6	9	60	6.55	8.99
			6.55	9.01
			7.18	8.60

4.1.3. Evaluación de Sólidos totales suspendidos

El proceso de remoción del agua residual se trabajó en celdas de electrocoagulación con una capacidad de 4.5 litros y se removió el agua residual de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) - Paucará.

Se trabajó con placas de aluminio y hierro para equilibrar las cargas un ánodo y cátodo para que exista interacción de energía y se remueva el agua residual.

Podemos mencionar que los valores de eficiencia de remoción de los sólidos totales suspendidos son iguales entre sí por lo que no existe diferencia estadística significativa dentro de los tratamientos (intensidad de amperaje).

Tabla 6

Remoción del porcentaje de Sólidos totales suspendidos (STS) por cada tratamiento.

Puntos de muestreo	Intensidad Amperios (A)	Tiempo Minutos (min)	STS Inicial (mg/L)	STS Final (mg/L)	Eficiencia de remoción (%)
PM-1	7	40	489.00	201.00	58.90
PM-2	7	40	489.00	189.00	61.35
PM-3	7	40	489.00	167.00	65.85
PM-4	7	60	489.00	178.00	63.60
PM-5	7	60	489.00	167.00	65.85
PM-6	7	60	489.00	177.00	63.80
			489.00	179.83	63.22
PM-1	8	40	518.00	177.00	65.83
PM-2	8	40	518.00	145.00	72.01
PM-3	8	40	518.00	155.00	70.08
PM-4	8	60	518.00	133.00	74.32
PM-5	8	60	518.00	162.00	68.73

PM-6	8	60	518.00	152.00	70.66
			518.00	154.40	70.19
PM-1	9	40	506.00	182.00	64.03
PM-2	9	40	506.00	169.00	66.60
PM-3	9	40	506.00	173.00	65.81
PM-4	9	60	506.00	172.00	66.01
PM-5	9	60	506.00	182.00	64.03
PM-6	9	60	506.00	181.00	64.23
			506.00	176.50	65.12
			504.33	170.24	66.18

4.1.4. Evaluación de Demanda bioquímica de oxígeno

Se evaluó las celdas de electrocoagulación mediante paneles fotovoltaicos a nivel de laboratorio para la remoción de contaminantes del efluente del camal municipal de Huancavelica donde estuvo constituida por placas de aluminio y hierro en un sistema de ánodo y cátodo

La celda tuvo una capacidad de 4.5 litros donde se removió el agua residual del residuo del camal municipal de Huancavelica

Dentro de los valores de eficiencia de remoción para demanda bioquímica de oxígeno, se obtuvo una intensidad de amperaje con 5 A (94.85 mg/L) donde se observa el mejor valor en eficiencia de remoción. Esto se debe a propiedades de degradación del agua residual del camal municipal.

Tabla 7

Remoción del porcentaje de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) por cada tratamiento.

Puntos de muestreo	Intensidad Amperios (A)	Tiempo Minutos (min)	DBO5 Inicial (mg/L)	DBO5 Final (mg/L)	Eficiencia de remoción (%)
PM-1	7	40	923.45	233.12	74.76
PM-2	7	40	923.45	234.31	74.63
PM-3	7	40	923.45	178.45	80.68
PM-4	7	60	923.45	160.56	82.61
PM-5	7	60	923.45	145.78	84.21
PM-6	7	60	923.45	148.67	83.90
			923.45	183.48	80.13

PM-1	8	40	978.11	167.88	82.84
PM-2	8	40	978.11	178.45	81.76
PM-3	8	40	978.11	145.22	85.15
PM-4	8	60	978.11	154.78	84.18
PM-5	8	60	978.11	155.67	84.08
PM-6	8	60	978.11	168.54	82.77
			978.11	161.76	83.46
PM-1	9	40	988.90	301.56	69.51
PM-2	9	40	988.90	299.45	69.72
PM-3	9	40	988.90	288.44	70.83
PM-4	9	60	988.90	178.45	81.95
PM-5	9	60	988.90	186.55	81.14
PM-6	9	60	988.90	189.34	80.85
			988.90	240.63	75.67
			963.49	195.29	79.75

4.2. Discusión de resultados

- ❖ Coronel y Vila (2013) trataron aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación, para lo cual utilizaron energía generada mediante los paneles fotovoltaicos, emplearon electrodos de aluminio y fierro, con una densidad de corriente de 32,72 A/m² a un tiempo de 20 minutos, obteniendo a estas condiciones los mayores porcentajes de remoción los cual fueron: 86,33% de DBO₅, 78,89% de DQO, 99,92% de Coliformes totales 96,32% de aceites y grasas,; en esta investigación realizada se tiene como resultado la remoción hasta en un 95,46 % de DBO₅, 94,38 % de DQO, 93,42 % de STS, 99,64 % de coliformes fecales y 92,31 % de aceites y grasas; con la mayor intensidad de corriente de 5 Amperios en un tiempo de 50 minutos de operación, considerando los mismos el tipo de material de electrodos y así también la energía generada por los paneles fotovoltaicos, podemos deducir que es similar a lo que reporta dicho autor.

- ❖ Quispe (2015) en su estudio reporta el incremento del parámetro del pH de las muestras de agua residual M-1 y M-2 que presentaron un pH de 4,21 a 6,21 y 4,60 a 5,96 antes y después de la electrocoagulación respectivamente. En la presente investigación también se evidencia un incremento de pH de 6,45 a 9,70 antes y después del proceso de electrocoagulación, ya que esto es

debido a la formación de hidróxidos de aluminio (Al) por lo que se utilizó como electrodo de sacrificio y que a su vez que genera burbujas de hidrogeno las cuales cumplen la función de remover los contaminantes a la parte superior por flotación. La cual contrasta con lo reportado por dicho autor.

- ❖ Tamani (2017) en su investigación, los experimentos constaron de 3 intensidades de corriente. Los resultados acerca de la DBO₅ mostraron que a mayor tiempo de operación se obtienen mejores resultados, puesto que, con cada intensidad de corriente, 1A, 1.5A y 2A se obtuvieron 78%, 82% y 86% de reducción de la DBO₅ respectivamente y los resultados obtenidos son alentadores. En la presente tesis también se trabajaron con 3 intensidades de corriente, 3A, 4A y 5A se obtuvieron 82,74%, 90,84% y 95,46% en un tiempo de 50 minutos, habiendo esta diferencia de porcentaje de remoción a que se utilizó un mayor tiempo de operación.

4.3. Proceso de prueba de hipótesis

Como señala (Sampieri, 2010) la contratación de hipótesis se resume a 6 pasos, y estando en este último paso, se tiene ya la posibilidad de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula; atendiendo a este planteamiento, que a criterio propio es el más coherente; sin dejar de lado otros planteamientos, se ha optado por seguir estos pasos para el contraste de la hipótesis:

- Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.
- Escoger un nivel de significancia o riesgo α .
- Escoger el estadígrafo de prueba más apropiado.
- Establecer la región crítica.
- Calcular los valores de la prueba estadística de una muestra aleatoria de tamaño "n".
- Rechazar la hipótesis nula (H_0) si el estadígrafo tiene un valor en la región crítica y no rechazar (aceptar)= en el otro caso.

4.3.1. Principios de la investigación

Test de normalidad

Se realizó el test de normalidad utilizando el estadístico de Shapiro-Wilk, porque la cantidad de datos evaluados de cada parámetro son menores a 50 datos ($n < 50$).

Tabla 8
Test de normalidad

Test de normalidad					
Test	Denominación	Estadístico		p valor	
Shapiro-Wilk	Temperatura	W	0.6475	Pr < W	0.9525
Shapiro-Wilk	PH	W	0.3242	Pr < W	0.8278
Shapiro-Wilk	STS	W	0.7363	Pr < W	0.9292
Shapiro-Wilk	Demanda bioquímica de oxígeno	W	0.2622	Pr < W	0.2922

Se realizó el test de normalidad con el objetivo de verificar que los datos presenten una distribución normal, obteniendo un p valor = 0.9525, 0.8278, 0.9292 y 0.2922 mayor que 0.05 por medio del estadístico Shapiro-Wilk, corroborando que los datos, presentan un comportamiento normal (paramétricos).

Tabla 9*Test de homogeneidad de varianzas*

Test de homogeneidad de varianzas		
Test	Denominación	Pr>F
Levene	Temperatura	0.8843
Levene	PH	0.2344
Levene	STS	0.6655
Levene	Demanda bioquímica de oxígeno	0.5567

Se realizó el test de homogeneidad de varianzas, con el test de Levene, donde se observó que los valores de p valor = 0.8843, 0.2344, 0.6655 y 0.5567 mayor que 0.05 por medio del estadístico Levene, corroborando que los datos, presentan una homogeneidad de varianzas dentro de cada tratamiento.

4.3.2. Pasos de la prueba de hipótesis

Como señala (Sampieri, 2010) la contratación de hipótesis se resume a 6 pasos, y estando en este último paso, se tiene ya la posibilidad de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula; atendiendo a este planteamiento, que a criterio propio es el más coherente; sin dejar de lado otros planteamientos, se ha optado por seguir estos pasos para el contraste de la hipótesis:

1. Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.
2. Escoger un nivel de significancia o riesgo α .
3. Escoger el estadígrafo de prueba más apropiado.
4. Establecer la región crítica.

5. Calcular los valores de la prueba estadística de una muestra aleatoria de tamaño “n”.
6. Rechazar la hipótesis nula (Ho) si el estadígrafo tiene un valor en la región crítica y no rechazar (aceptar) = en el otro caso.

A. Paso 1: Formulación de hipótesis

Hipótesis específica 1 evaluando temperatura

Ha: la intensidad de corriente y tiempo en relación a temperatura, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica las medias son iguales

$$\mu = \mu$$

Ho: la intensidad de corriente y tiempo en relación a temperatura, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica las medias son diferentes

$$\mu \neq \mu$$

Hipótesis específica 2 evaluando PH

Ha: la intensidad de corriente y tiempo en relación a PH, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica las medias son iguales

$$\mu = \mu$$

Ho: la intensidad de corriente y tiempo en relación a PH, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará- Huancavelica las medias son diferentes

$$\mu \neq \mu$$

Hipótesis específica 3 evaluando STS

Ha: la intensidad de corriente y tiempo en relación a STS, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará-Huancavelica las medias son iguales

$$\mu = \mu$$

Ho: la intensidad de corriente y tiempo en relación a STS, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará-Huancavelica las medias son diferentes

$$\mu \neq \mu$$

Hipótesis específica 4 evaluando Demanda bioquímica de oxígeno

Ha: la intensidad de corriente y tiempo en relación a DBO5, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará-Huancavelica las medias son iguales

$$\mu = \mu$$

Ho: la intensidad de corriente y tiempo en relación a DBO5, usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR - Paucará-Huancavelica las medias son diferentes

$$\mu \neq \mu$$

B. Paso 2: Nivel de significancia

En la presente investigación se trabajó con un error de 5 %; es decir:

$\alpha = 0.05$, por lo que el error del trabajo no debe ser mayor al planteado y con un grado de confianza de 95 %, es decir con $1 - \alpha = 0.95$.

C. Paso 3. Estadístico de prueba

El estadístico de prueba utilizado fue el “Análisis de varianza (ANOVA), que es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas” (Sampieri, 2010).

Para determinar cuál de los tratamientos es más eficiente se utilizó la prueba de medias de Tukey.

D. Valor crítico y regla de decisión

Para la prueba de una cola con $\alpha = 0.05$ en la tabla de Fisher tenemos los valores críticos de F_{α, V_1, V_2} .

$$K - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$0.05$$

$$F_{\text{tabla}} = 5/24 = \mathbf{2.78}$$

$F_{\text{cal}} \leq$ que el valor del F de la tabla se acepta la hipótesis nula

$F_{\text{cal}} \geq$ que el valor del F de la tabla se acepta la hipótesis nula

E. Calculo de los estadígrafos de prueba

Los estadígrafos de prueba fueron calculados en función a los objetivos del proyecto de investigación, realizando el análisis de varianza a través de ANOVA y la prueba de medias por Tukey.

F. Análisis de varianza a través de ANOVA

a) Análisis de varianza (ANOVA) para temperatura

Se realizó el análisis de varianza para la electrocoagulación para la remoción de contaminantes del efluente de la PTAR Paucará Presentaron efecto **significativo** ($P < 0.05$).

Tabla 10

Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	de Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	52.57375000	17.52458333	28.12	0.0055
Error	4	1.60500000	0.40125000		
Total	7	54.17875000			

corregido

F pruebas de Fisher, ***: significativo, ns: no significativo

Acepto la hipótesis alterna y rechazo la hipótesis nula debido a que existe diferencia de medias y el ANOVA presenta significancia.

b) Análisis de varianza (ANOVA) para PH

Se realizó el análisis de varianza para la electrocoagulación para la remoción de contaminantes del efluente de la PTAR Paucará Presentaron efecto **significativo** ($P < 0.05$).

Tabla 11.

Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	de Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	17.128850	5.709616	55.90	0.0088
Error	4	0.726700	0.18167		
Total	7	17.8555500			

**

F pruebas de Fisher, ***: significativo, ns: no significativo

Acepto la hipótesis alterna y rechazo la hipótesis nula debido a que existe diferencia de medias y el ANOVA presenta significancia.

c) Análisis de varianza (ANOVA) para STS

Se realizó el análisis de varianza para la electrocoagulación para la remoción de contaminantes del efluente de la PTAR Paucará. Presentaron efecto **significativo** ($P < 0.05$).

Tabla 12.

Análisis de varianza (ANOVA)

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	710.848133	355.424067	8.41	0.044
Error	3	398.167400	132.722467		
Total	5	1109.015533			

corregido

F pruebas de Fisher, ***: significativo, ns: no significativo

Acepto la hipótesis alterna y rechazo la hipótesis nula debido a que existe diferencia de medias y el ANOVA presenta significancia.

d) Análisis de varianza (ANOVA) para Demanda bioquímica de oxígeno

Se realizó el análisis de varianza para la electrocoagulación para la remoción de contaminantes del efluente de la PTAR Paucará. Presentaron efecto **significativo** ($P < 0.05$).

Tabla 13.*Análisis de varianza (ANOVA)*

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	225.8932000	112.9466000	17.96	0.010
Error	3	18.8692000	6.2897333		*
Total corregido	5	244.7624000			

F pruebas de Fisher, ***: significativo, ns: no significativo

Acepto la hipótesis alterna y rechazo la hipótesis nula debido a que existe diferencia de medias y el ANOVA presenta significancia.

CONCLUSIONES

- El porcentaje de remoción de materia orgánica usando el método de electrocoagulación en las aguas residuales en la PTAR Paucará alcanzó un valor de 79.75 %.
- Los parámetros fisicoquímicos como la temperatura presentaron una elevación promedio de 9.05 °C hasta 14.27 °C.
- se registra un incremento del parámetro PH de 7.18 hasta 8.60 el mismo que es muy significativo e importante en el proceso de electrocoagulación.
- Se logró una disminución considerable de los sólidos totales suspendidos desde 504.33 mg/L hasta un valor de 170.24 mg/L, el mismo que es equivalente a una remoción del 66.18%.
- Se logró una reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) desde 963.49 mg/L hasta el valor de 195.29 mg/L, el mismo que es equivalente a una remoción del 79.75 %.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar un mantenimiento a la PTAR Paucará para que no colapse
- ✓ Limpiar constantemente las placas del ánodo y cátodo para evitar que se sulfaten y se provoquen falsos valores de remoción.
- ✓ Se recomienda probar nuevos indicadores de amperaje y conductividad a fin de que ayude a evaluar mejor la remoción

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Ascon, E. A. (2015). *Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua*.
<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4303>
- Aguilar Coronación, F. de M., & Palian Azabamba, J. M. (2020). Influencia de la densidad de corriente y del tiempo de residencia en la remoción de fosfatos de una solución sintética por electrocoagulación, utilizando electrodos de aluminio a nivel laboratorio. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/6079>
- Alfaro Rodríguez, C. H. (2017). Metodología del trabajo universitario aplicado para ingeniería. *Repositorio institucional – UNAC*.
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/2201>
- Andaluz Delgado, J. C. (2016). *REDUCCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA E INORGÁNICA PRESENTE EN AGUA RESIDUAL DE AGROQUÍMICOS MEDIANTE TÉCNICA ELECTROQUÍMICA DE OXIDACIÓN AVANZADA*. UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.
- Apaza Aquino, H. (2018). *Sistema combinado electrocoagulación-filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos* [Universidad Nacional Agraria La Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3395>

Arango Ruíz, Á., Garcés Giraldo, L. F., & Restrepo Mejía, A. P. (2012). *La Electrocoagulación: Retos y oportunidades en el tratamiento de aguas.*

Brillas E. Una revisión del proceso fotoelectro-Fenton como oxidación avanzada electroquímica eficiente para la remediación de aguas residuales. Tratamiento con luz ultravioleta, luz solar y acoplamiento con tecnologías avanzadas convencionales y otras fotoasistidas. 2020.

<http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/514>

Camarena Zambrano, H. M. (2014). Sistema de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales urbanas del anexo de Cajas Chico – La Ribera—Huancayo. *Repositorio Institucional - UAP.*

<http://repositorio.uap.edu.pe/handle/uap/1954>

Campos Muñoz, B. E., Hernández Hernández, C., & Trujillo Acuña, P. B. (2017). Tratamiento de aguas residuales en una lavandería industrial mediante electrofloculación en la Ciudad de Lima. *Repositorio institucional –*

UNAC. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/3569>

Canto Ríos, J. de J. (2018). *Modelación hidráulica de reactores de electrocoagulación con flujo vertical bifásico* [Tesis de Doctorado].

Universidad Nacional Autónoma de México.

Chambi Hanco, Z. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAVANDERÍAS POR EL PROCESO DE COAGULACIÓN FLOCULACIÓN Y ADSORCIÓN. *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO*, 75.

Condori Pantoja, A. M. (2018). *Evaluación de la tratabilidad del efluente generado por un laboratorio metalúrgico aplicando la electrocoagulación*

[Universidad Nacional Agraria La Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3627>

Cuba Tello, M. V. (2020). Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales— Ate Vitarte. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.

<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11734>

DS N° 003-2010-MINAM. (2010). *Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*.

Emamjomeh M, Sivakumar M. Un modelo empírico para la desfluorización mediante el proceso de electrocoagulación/flotación (ECF) monopolar por lotes. 2006.

Gadd S, Ryan R, Kavanagh M, Barton W. Desarrollo del diseño de un reactor de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales del proceso de melaza. 2010.

Farfán Chilicaus, G. C. (2019). INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE

CORRIENTE Y LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO OXÁLICO

SOBRE LA REMOCIÓN DE PLOMO POR ELECTROREMEDIACIÓN

DE RELAVE DE LA EMPRESA MINERA PAREDONES. *Repositorio*

Institucional - UNH. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2791>

Gómez Figueroa, M. N. (2019). Tratamiento de efluentes de lavandería industrial mediante la técnica electroquímica de electrocoagulación. *Universidad*

Nacional de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/18570>

Hernández Lehmann, P. S. (2011). *Investigación sobre procesos avanzados de tratamiento y depuración de las aguas mediante electrocoagulación* [Phd,

E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM)]. <http://oa.upm.es/7755/>

Hernández R, Fernández C, Baptista P. Metodología de la investigación. Sexta. México; 2017.

Hernández S, Fernández C, Baptista L, Méndez V, Mendoza T. Metodología de la investigación. México, D.F.: McGraw-Hill Education; 2010.

Holt K, Barton W, Mitchell A. El futuro de la electrocoagulación como tecnología de tratamiento de agua localizada. 2005.

Ibáñez P. J. Métodos, técnicas e instrumentos de la investigación criminológica. España: Editorial Dikynson; 2015.

Koby M, Bayramoglu M, Eyvaz M. Evaluación técnico-económica de la electrocoagulación de aguas residuales textiles utilizando diferentes conexiones

de electrodos. 2007.

Koby M, Delipinar S. Tratamiento de aguas residuales de levadura de panadería por electrocoagulación. 2008.

Koby M, Demirbas E, Akyol A. Tratamiento electroquímico y análisis de costos operativos de aguas residuales textiles utilizando electrodos de hierro de sacrificio. 2009.

Merzouk B, Gourich B, Sekki A, Madani K, Chibane M. Eliminación de turbiedad y separación de metales pesados mediante técnica de electrocoagulación-electroflotación Un caso de estudio. 2009.

M. Yousuf A. Mollah, R. (2001). Electrocoagulation (EC)—Science and applications. *23 de diciembre de 2001, 84, 29-41.*

Mantari Llacuachaqui, C. J., & Maravi Gavino, 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/UNCP/5998>

Martínez Navarro, F. (2007). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional.*

Mejía, A. P. R., Ruiz, Á. A., & Giraldo, L. F. G. (2006). La Electrocoagulación:

Retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Electrocoagulation:*

Challenges and opportunities in water treatment., 1(2), 58-77.

Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2019). *Ingeniería ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, diseño*. Alfaomega Grupo Editor.

Milla Figueroa, Americo Carlos. (2019). *Equipo de electrocoagulación con electrodos móviles para el tratamiento de aguas de pozo* [Universidad Nacional Federico Villarreal].

Mollah, M. Y., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001).

Electrocoagulation (EC)—Science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), 29-41. [https://doi.org/10.1016/s0304-3894\(01\)00176-5](https://doi.org/10.1016/s0304-3894(01)00176-5)

Monsalve Osorio, J. A., & Cardona Gómez, S. (2015). Electrocoagulación para reúso de aguas residuales del proceso de impresión en la industria papelera.

instname:Universidad Pontificia Bolivariana.

<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/2286>

Moussa, D. T., El-Naas, M. H., Nasser, M., & Al-Marri, M. J. (2017). A

comprehensive review of electrocoagulation for water treatment:

Potentials and challenges. *Journal of Environmental Management*, 186,

24-41. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.032>

Moradi M, Vasseghian Y, Arabzade H, Mousavi A. Varios tratamientos de aguas residuales por proceso de sono-electrocoagulación: una revisión exhaustiva de los parámetros operativos y las perspectivas futuras. 2021.

- Morales G, Navarro C. Método de Electrocoagulación en Aguas Residuales. 2006.
- Moussa T, El-Nass H, Nasser M, Al-Marri J. Una revisión exhaustiva de la electrocoagulación para el tratamiento del agua: Potenciales y desafíos. 2017.
- Nidheesh P, Scaria J, Babu S, Kumar S. Una descripción general de los procesos combinados de electrocoagulación-degradación para el tratamiento efectivo de agua y aguas residuales. 2021.
- Othmani A, Kadier A, Singh R, Adaobi C, Bouzid M, Aquatar O, et al. Una revisión exhaustiva sobre las perspectivas ecológicas de la electrocoagulación integrada con procesos avanzados para la eliminación eficaz de contaminantes del medio ambiente acuático. 2022.
- Perez Bendezu, 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. *Universidad César Vallejo*.
- <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/24612>
- Pérez Cuásquer, G. J. (2015). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE PROCESOS ELECTROQUÍMICOS*.
- 110.
- Pinzón Gamboa, E. E. P. (2010). *PROPUESTA TÉCNICA A ESCALA PILOTO PARA LA REMOCIÓN DE COLOR DE ORIGEN TEXTIL, POR MEDIO*

DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA FAVORECER EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA, EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS. 142.

Piña-Soberanis, M., Martín-Domínguez, A., González-Ramírez, C. A., PrietoGarcía, F., Guevara-Lara, A., & García-Espinoza, J. E. (2011). Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Revista mexicana de ingeniería química, 10(2)*, 257-271.

Paredes Salán, M. C. (2013). *Diseño de la planta de tratamiento para aguas residuales de la lavandería y tintorería Jav—Tex del Cantón Pelileo*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2697>

Pérez Alcalá, E. (2012a). *Revisión bibliográfica del método de electrocoagulación en el tratamiento fisicoquímico de aguas residuales* [Tesis de Licenciatura]. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Pérez Alcalá, E. (2012b). *REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN EL TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Poma Javier, J. R., & Quispe Sanca, P. A. (2016). *REMOCION DE*

CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES URBANAS POR EL METODO DE ELECTROCOAGULACION. 125

Solak M, Kilic M, Huseyin Y, Sencan A. Eliminación de sólidos en suspensión y turbidez de las aguas residuales del procesamiento de mármol mediante electrocoagulación: comparación de materiales de electrodos y sistemas de conexión de electrodos. 2009.

Indigoyen Ramirez, D. (2019). Remoción de materia orgánica de aguas residuales de la industria láctea por el método de electrocoagulación, utilizando energía eólica. *Universidad Nacional del Centro del Perú.*

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5293>

<http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3367>

Riccio Yauri, L. F. (2010). *Remoción de aceites y grasas de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por electrocoagulación, a nivel de laboratorio.* <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7727>

Rodríguez González, J. (2014). *Evaluación de reactores de electrocoagulación para el tratamiento de agua de purga de torres de enfriamiento.*

Universidad Nacional Autónoma de México.

Ryder, Guy. (2017, París). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: El recurso no explotado—UNESCO Biblioteca Digital.*

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>

Sánchez Carpio, R. A. (2015). *Propuesta de aplicación de tecnologías limpias para el reuso del agua residual industrial en una empresa de fabricación de vidrios de seguridad* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/577241>

Soncco Quispe, M. D. (2017). *Proceso de electrocoagulación para la disminución de contaminantes de los efluentes de la empresa textil, Chorrillos—2017. Universidad César Vallejo.*

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/16634>

Tam Malaga, J. L. (2008). *Tipos , Métodos y Estrategias de Investigación*. Scribd.

<https://es.scribd.com/doc/72501771/Adj-Modela-Pa-5-145-Tam-2008->

Investig

Tello, M. V. C., Meneses, P. A., & Ortíz, M. P. (2019). *Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales – Ate Vitarte. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera,*

Metalúrgica y Geográfica, 22(44), 65-74.

<https://doi.org/10.15381/iigeo.v1i1.17287>

Velásquez Flores, D. J. (2017). *Aplicación del método de electrocoagulación al efluente de la Planta Piloto de Leche «La Molina»* [Universidad Nacional Agraria La Molina].

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3106>

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

REMOCION DE MATERIA ORGANICA USANDO EL METODO DE ELECTROCOAGULACION EN AGUAS RESIDUALES PTAR PAUCARÁ - HUANCVELICA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODO
<p>GENERAL</p> <p>¿Cuál es la remoción de materia orgánica usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR Paucará – Huancavelica?</p>	<p>Evaluar la remoción de materia orgánica usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR Paucará – Huancavelica</p>	<p>Existe significancia de la remoción de materia orgánica usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR Paucará – Huancavelica.</p>	<p>Variable Dependiente (causa):</p> <p>Tratamiento de aguas residuales</p>	<p>Tipo: Experimental</p> <p>Nivel: Aplicativo</p> <p>Diseño:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <p>01 X 02</p> </div>
<p>ESPECIFICOS</p> <p>¿Cuál es la intensidad de corriente y tiempo de la demanda química de oxígeno usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR Paucará-Huancavelica?</p> <p>¿Cuál es la intensidad de corriente y tiempo en los sólidos suspendidos totales usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR Paucará-Huancavelica?</p>	<p>Evaluar la intensidad de corriente y tiempo de la demanda química de oxígeno usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR Paucará-Huancavelica</p> <p>Evaluar la intensidad de corriente y tiempo en los sólidos suspendidos totales usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR Paucará- Huancavelica</p>	<p>Existe significancia de la intensidad de corriente y tiempo de la demanda química de oxígeno usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR Paucará-Huancavelica.</p> <p>Existe significancia de la intensidad de corriente y tiempo en los sólidos suspendidos totales usando el método de electrocoagulación en aguas residuales PTAR Paucará-Huancavelica</p>	<p>Indicadores</p> <p>Parámetros fisicoquímicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Demanda química de oxígeno (DQO). - Sólidos suspendidos totales (SST). <p>Variable Independiente (efecto):</p> <p>Método de electrocoagulación</p> <p>Indicadores</p> <p>Tiempo de retención (min)</p> <p>Intensidad de corriente eléctrica (Amperios)</p>	<p>Diseño pretest posttest con un solo grupo. (Sánchez, 2018) Donde:</p> <p>X: Presencia de variable independiente o experimental (método de electrocoagulación)</p> <p>O1: Pretest (DQO, SST)</p> <p>O2: Posttest (DQO, SST)</p> <p>Significancia: Al 95%</p> <p>Técnica: Observación Experimental</p> <p>Población: Agua residual de la PTAR Paucará de Huancavelica.</p> <p>Muestra: 10 Litros de Agua residual de lavandería de cada una de las empresas formalizadas que brindan el servicio de lavandería de prendas.</p> <p>Método: Muestreo no probabilístico (no aleatoria) de tipo intencional (se basa en la selección de casos que serán más convenientes para el propósito del estudio)</p>

INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

Tabla 14.

Ficha de recolección de datos de temperatura

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA (CREADO POR LEY N.º 25265) ESCUELA DE POSGRADO FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA UNIDAD DE POSGRADO 				
FICHA RECOLECCION DE DATOS				
TESIS:				
Evaluación del proyecto en remoción de materia orgánica usando el método de Electrocoagulación en Aguas Residuales, PTAR – Paucará – Huancavelica				
DATOS DE ENTRADA DE TEMPERATURA				
Nº	PUNTO DE MONITOREO	MUESTRA	TEMPERATURA INICIAL	TEMPERATURA FINAL
punto 1	cámara de distribución	Muestra 1		
		Muestra 2		
		Muestra 3		
punto 2	tratamiento preliminar (cámara de rejas)	Muestra 1		
		Muestra 2		
		Muestra 3		
punto 3	tratamiento preliminar (desarenador)	Muestra 1		
		Muestra 2		
		Muestra 3		
Promedio				

Tabla 15.

Ficha de recolección de datos de PH

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA



(CREADO POR LEY N.º 25265)



ESCUELA DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

UNIDAD DE POSGRADO

FICHA RECOLECCION DE DATOS

TESIS:				
Evaluación del proyecto en remoción de materia orgánica usando el método de Electrocoagulación en Aguas Residuales, PTAR – Paucará – Huancavelica				
DATOS DE ENTRADA DE PH				
Nº	PUNTO DE MONITOREO	MUESTRA	PH INICIAL	PH FINAL
punto 1	cámara de distribución	Muestra 1		
		Muestra 2		
		Muestra 3		
punto 2	tratamiento preliminar (cámara de rejillas)	Muestra 1		
		Muestra 2		
		Muestra 3		
punto 3	tratamiento preliminar (desarenador)	Muestra 1		
		Muestra 2		
		Muestra 3		
Promedio				

Tabla 16.

Ficha de recolección de datos de solidos totales suspendidos

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA (CREADO POR LEY N.º 25265) ESCUELA DE POSGRADO FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA UNIDAD DE POSGRADO 				
FICHA RECOLECCION DE DATOS				
TESIS:				
Evaluación del proyecto en remoción de materia orgánica usando el método de Electrocoagulación en Aguas Residuales, PTAR – Paucará – Huancavelica				
DATOS DE ENTRADAY SALIDA DE SOLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS				
Nº	PUNTO DE MONITOREO	MUESTRA	STS INICIAL	STS FINAL
punto 1	cámara de distribución	Muestra 1		
		Muestra 2		
		Muestra 3		
punto 2	tratamiento preliminar (cámara de rejillas)	Muestra 1		
		Muestra 2		
		Muestra 3		
punto 3	tratamiento preliminar (desarenador)	Muestra 1		
		Muestra 2		
		Muestra 3		
Promedio				

Tabla 17.

Ficha de recolección de datos de Demanda Bioquímica de Oxígeno

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA (CREADO POR LEY N.º 25265) ESCUELA DE POSGRADO FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA UNIDAD DE POSGRADO 				
FICHA RECOLECCION DE DATOS				
TESIS:				
Evaluación del proyecto en remoción de materia orgánica usando el método de Electrocoagulación en Aguas Residuales, PTAR – Paucará – Huancavelica				
DATOS DE ENTRADA Y SALIDA DE DBO5				
Nº	PUNTO DE MONITOREO	MUESTRA	DBO5 INICIAL	DBO5 FINAL
punto 1	cámara de distribución	Muestra 1		
		Muestra 2		
		Muestra 3		
punto 2	tratamiento preliminar (cámara de rejas)	Muestra 1		
		Muestra 2		
		Muestra 3		
punto 3	tratamiento preliminar (desarenador)	Muestra 1		
		Muestra 2		
		Muestra 3		
Promedio				

BASE DE DATOS

Tabla 18.

Temperatura inicial y temperatura final por cada tratamiento.

Puntos de muestreo	Intensidad Amperios (A)	Tiempo Minutos (min)	Temperatura Inicial (C°)	Temperatura Final (C°)
PM-1	7	40	9.5	15.80
PM-2	7	40	9.5	14.70
PM-3	7	40	9.5	13.20
PM-4	7	60	9.5	13.50
PM-5	7	60	9.5	14.50
PM-6	7	60	9.5	13.80
			9.5	14.25
PM-1	8	40	8.88	13.50
PM-2	8	40	8.88	15.50
PM-3	8	40	8.88	15.70
PM-4	8	60	8.88	14.40
PM-5	8	60	8.88	14.60
PM-6	8	60	8.88	14.30
			8.88	14.74
PM-1	9	40	8.77	12.20
PM-2	9	40	8.77	13.10
PM-3	9	40	8.77	14.10
PM-4	9	60	8.77	14.60
PM-5	9	60	8.77	15.10
PM-6	9	60	8.77	13.50
			8.77	13.82
			9.05	14.27

Tabla 19.*PH inicial y PH final por cada tratamiento.*

Puntos de muestreo	Intensidad Amperios (A)	Tiempo Minutos (min)	PH Inicial (und)	PH Final (und)
PM-1	7	40	7.66	7.58
PM-2	7	40	7.66	7.14
PM-3	7	40	7.66	8.45
PM-4	7	60	7.66	8.64
PM-5	7	60	7.66	8.98
PM-6	7	60	7.66	8.66
			7.66	8.24
PM-1	8	40	7.34	8.79
PM-2	8	40	7.34	8.66
PM-3	8	40	7.34	9.04
PM-4	8	60	7.34	8.55
PM-5	8	60	7.34	8.19
PM-6	8	60	7.34	8.15
			7.34	8.56
PM-1	9	40	6.55	9.11
PM-2	9	40	6.55	9.45
PM-3	9	40	6.55	8.67
PM-4	9	60	6.55	8.85
PM-5	9	60	6.55	8.96
PM-6	9	60	6.55	8.99
			6.55	9.01
			7.18	8.60

Tabla 20.*Remoción del porcentaje de Sólidos totales suspendidos (STS) por cada tratamiento.*

Puntos de muestreo	Intensidad Amperios (A)	Tiempo Minutos (min)	STS Inicial (mg/L)	STS Final (mg/L)	Eficiencia de remoción (%)
PM-1	7	40	489.00	201.00	58.90
PM-2	7	40	489.00	189.00	61.35
PM-3	7	40	489.00	167.00	65.85
PM-4	7	60	489.00	178.00	63.60
PM-5	7	60	489.00	167.00	65.85
PM-6	7	60	489.00	177.00	63.80
			489.00	179.83	63.22
PM-1	8	40	518.00	177.00	65.83
PM-2	8	40	518.00	145.00	72.01
PM-3	8	40	518.00	155.00	70.08
PM-4	8	60	518.00	133.00	74.32
PM-5	8	60	518.00	162.00	68.73
PM-6	8	60	518.00	152.00	70.66
			518.00	154.40	70.19
PM-1	9	40	506.00	182.00	64.03
PM-2	9	40	506.00	169.00	66.60
PM-3	9	40	506.00	173.00	65.81
PM-4	9	60	506.00	172.00	66.01
PM-5	9	60	506.00	182.00	64.03
PM-6	9	60	506.00	181.00	64.23
			506.00	176.50	65.12
			504.33	170.24	66.18

Tabla 21.

Remoción del porcentaje de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) por cada tratamiento.

Puntos de muestreo	Intensidad Amperios (A)	Tiempo Minutos (min)	DBO5 Inicial (mg/L)	DBO5 Final (mg/L)	Eficiencia de remoción (%)
PM-1	7	40	923.45	233.12	74.76
PM-2	7	40	923.45	234.31	74.63
PM-3	7	40	923.45	178.45	80.68
PM-4	7	60	923.45	160.56	82.61
PM-5	7	60	923.45	145.78	84.21
PM-6	7	60	923.45	148.67	83.90
			923.45	183.48	80.13
PM-1	8	40	978.11	167.88	82.84
PM-2	8	40	978.11	178.45	81.76
PM-3	8	40	978.11	145.22	85.15
PM-4	8	60	978.11	154.78	84.18
PM-5	8	60	978.11	155.67	84.08
PM-6	8	60	978.11	168.54	82.77
			978.11	161.76	83.46
PM-1	9	40	988.90	301.56	69.51
PM-2	9	40	988.90	299.45	69.72
PM-3	9	40	988.90	288.44	70.83
PM-4	9	60	988.90	178.45	81.95
PM-5	9	60	988.90	186.55	81.14
PM-6	9	60	988.90	189.34	80.85
			988.90	240.63	75.67
			963.49	195.29	79.75



UNH

Vicerrectorado de
InvestigaciónDirección de Innovación y
Transferencia tecnológicaUnidad de Promoción,
Difusión y Repositorio

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Por medio del presente y de acuerdo al siguiente detalle:

- Trabajo de investigación, titulado:

“EVALUACIÓN DEL PROYECTO EN REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA USANDO EL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN AGUAS RESIDUALES, PTAR - PAUCARA - HUANCAVELICA”

- Presentado por:
MERINO CARHUAPOMA, Alcidiades.
- Docente asesor:
Dr. SANCHEZ ARAUJO, Víctor Guillermo.

- Para obtener:
El **Grado de Maestro** en Ciencias de Ingeniería en la mención: **PLANEACIÓN ESTRATÉGICA Y GESTIÓN EN INGENIERÍA DE PROYECTOS.**

La Unidad de Promoción, Difusión y Repositorio, **certifica que es un trabajo de investigación original** y que no ha sido presentado ni publicado en revistas científicas nacionales e internacionales, ni en sitio o portal electrónico.

Por tanto, en cumplimiento del Art.4° del Reglamento del Software Anti plagio de la Universidad Nacional de Huancavelica, se dictamina que el trabajo de investigación fue analizado por el software anti plagio TURNITIN (realizado por el docente Asesor), se expide el presente.

ORIGINALIDAD	SIMILITUD
84.0 %	16.0 %

El Certificado se expide el 17 de febrero del año 2023.

N° 029-2023



DR. CARLOS ENRIQUE
UNIDAD DE PROMOCIÓN, DIFUSIÓN Y REPOSITORIO

PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 1

Ubicación de la PTAR - Paucara



Figura 2

Desplazamiento a la PTAR



Figura 3
Inicio de la toma de muestra



Figura 4
Cooler y frascos para toma de muestra



Figura 5
Multiparametro para el monitoreo



Figura 6
Monitoreo en la cámara de distribución



Figura 7
Toma de muestra monitoreo 1



Figura 8
Análisis de los parámetros de control



Figura 9
Monitoreo 2 en la cámara de rejas



Figura 10
Toma de muestra monitoreo 2



Figura 11
Lectura del parámetro PH monitoreo 2



Figura 12
Análisis de los parámetros de control monitoreo 2



Figura 13
Lectura de muestra en la PTAR Monitoreo 2



Figura 14
Lectura de muestra monitoreo 1



Figura 15
Lectura de muestra en el filtro percolador monitoreo 1



Figura 16
Lectura de muestra en el filtro percolador monitoreo 2



Figura 17
Muestra en el filtro percolador monitoreo 2



Figura 18
Análisis de los parámetros de control



Figura 19
Muestras lista para colocar en el cooler



Figura 20
Toma de muestra en el filtro percolador monitoreo 1



Figura 210
Lectura con el multiparametro



Figura 22
Análisis de los parámetros de control

