

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES



Tesis

**Tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada
Honda mediante el método de electrocoagulación, Distrito de Yanatile,
Cusco – 2024**

Asesor:

Mag. Salcedo Valeriano, María Concepción

Autores:

Alejo Juro, Rosaura

Rupa Herrera, Evert

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Cusco - Cusco - Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN ORAL DE LA TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Modalidad de titulación: Presentación, Sustentación y Aprobación de Tesis Profesional.

En la ciudad del Cusco siendo las 11:00 horas del día 23 de diciembre del año dos mil veinticuatro, en concordancia con el Reglamento General de Grado Académico y Título de la Universidad Tecnológica de los Andes, y en mérito a la Resolución Sub Directoral N° RSD- 154 - 2024-UTEA-FIEPIARN-SD del 11 de diciembre del 2024, se realiza el acto académico de sustentación de la tesis, intitulada "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DEL CENTRO POBLADO QUEBRADA HONDA MEDIANTE EL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN, DISTRITO DE YANATILE, CUSCO - 2024", presentado por los bachilleres señores ALEJO JURO ROSAURA Y RUPA HERRERA EVERT; como asesora del trabajo de investigación Mg. MARÍA CONCEPCIÓN SALCEDO VALERIANO. Habiéndose nombrado al jurado con resolución Sub directoral RSD- 154 - 2024-UTEA-FI - EPIARN-SD, que está conformada por los señores docentes:

- Presidente: Econ. Wilfredo Baltazar Vega Villafuerte.
- Replicante: Mg. Helidia Hanco Loayza.
- Dictaminante: Mg. Cynthia Cecilia Arrieta Concha.

El acto académico se realizó de la siguiente manera:

Primero: El docente secretario designado dio lectura de la resolución sub Directoral N° RSD- 154 - 2024-UTEA-FIEPIARN-SD, en el que se señala la fecha y hora y el jurado correspondiente para la sustentación de la tesis antes mencionada, así como los artículos 18 y 19 del Reglamento General de Grados Académicos y títulos de la Universidad Tecnológica de los Andes.

Segundo: Se procedió con la sustentación de los tesisistas señores bachilleres aspirantes al título de Ingeniero Ambiental y Recursos Naturales.

Tercero: Se procedió con las preguntas y repreguntas por parte del jurado calificador quienes en una ficha de observaciones hacen conocer por escrito sus apreciaciones y observaciones al trabajo de investigación(tesis).

Cuarto: El presidente del jurado invitó a los señores bachilleres y al público en general para que se sirvan desocupar el salón de grados para que el jurado dilucide las calificaciones y determine la nota calificadora de los aspirantes al título profesional.

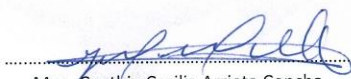
Quinto: Culminada con la calificación de parte de los señores integrantes del jurado se dio a conocer públicamente la nota obtenida por los señores bachilleres, la misma que fue de 14 (catorce) puntos.

El presidente del jurado calificador hará llegar a los bachilleres las fichas de observaciones para que puedan levantar las observaciones en los plazos previstos.

Siendo las 12:20 am horas se dio por concluido el acto de sustentación, firmando los señores integrantes del jurado, los señores bachilleres en señal de conformidad.


Econ. Wilfredo Baltazar Vega Villafuerte
Presidente


Mg. Helidia Hanco Loayza
Replicante


Mag. Cynthia Cecilia Arrieta Concha
Dictaminante


Bach. Alejo Juro Rosaura


Bach. Rupa Herrera Evert

Tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda mediante el método de electrocoagulación, Distrito de Yanatile, Cusco - 2024.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	17 %	4 %	7 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3 %
2	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	2 %
3	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	2 %
4	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	1 %
5	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
7	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1 %
8	www.slideshare.net	

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Alejo Juro, Rosaura
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad	:	71844005
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0006-3963-5558
Apellidos y nombres	:	Rupa Herrera, Evert
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad	:	60538121
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0002-0807-703X
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Mag. Salcedo Valeriano, María Concepción
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad	:	23994918
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0009-0038-4335
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	enero - diciembre del 2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	17 %
URL ORCID	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

A mi familia, en especial a mis padres, Martin Alejo Llicahua y Justina Juro Guillermo por estar a mi lado y brindarme su amor incondicional y apoyo inquebrantable en cada momento de esta etapa tan importante de mi vida; Agradezco a Dios por haberme otorgado la fortaleza necesaria para perseverar en la realización de este objetivo, por no haber permitido que la adversidad me venza.

Rosaura.

Dedico la presente tesis con mucho amor, especialmente a mi madre por su apoyo incondicional en cada momento, a mis hermanas y hermano que son mi fuerza a seguir, siendo los pilares fundamentales en este trayecto de mi vida.

Evert.

Agradecimientos

En primer lugar, siempre agradecer a Dios todo poderoso por brindarnos salud y permitirnos llegar hasta este punto para lograr nuestros objetivos.

Agradecer a nuestras familias, por su incondicional y valioso apoyo en toda la etapa de elaboración de tesis.

Asimismo, expresamos nuestro agradecimiento a los distinguidos docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales de la UTEA, por sus enseñanzas y experiencias en la investigación.

Seguidamente agradecemos a los compañeros y amigos que siempre también mostraron un gran apoyo en esta etapa de formación profesional.

Resumen

La presente investigación abordó el tema del tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda mediante el método de electrocoagulación, distrito de Yanatile, Cusco – 2024 debido a que se identificó la problemática ambiental por la contaminación de aguas residuales que son vertidos directamente a las fuentes hídricas y afectando a la salud pública.

El objetivo principal fue determinar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda mediante el método de electrocoagulación. Para este proceso se utilizó la metodología de diseño experimental, de enfoque cuantitativo, tipo aplicada y nivel explicativo. Para el desarrollo se diseñó una celda de electrocoagulación con electrodos de aluminio y acero inoxidable, con capacidad de 3 litros de agua residual, empleando la intensidad de corriente de 3 y 5 amperios y tiempos de tratamiento de 15 y 30 minutos. Como resultado de la aplicación del método de electrocoagulación, se logró una reducción significativa del 92.32% en la (DQO) y del 92.54% en la (DBO₅) con electrodo de aluminio, y un 89.35% en la (DQO) y 89.01% en la (DBO₅) con electrodos de acero inoxidable. Sin embargo, se observó un aumento moderado en el pH y la temperatura.

De acuerdo al análisis realizado, se concluyó que el método de electrocoagulación es eficiente para el tratamiento de aguas residuales. Según Tukey se obtuvo que el método electrocoagulación con electrodo de aluminio es mejor que con el electrodo de acero inoxidable para mejorar la remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Eficiencia, electrocoagulación, aguas residuales, tratamiento, electrodo.

Abstract

This research addressed the issue of wastewater treatment from the Quebrada Honda population center using the electrocoagulation method, Yanatile district, Cusco - 2024, because the environmental problem was identified due to the contamination of wastewater that is directly discharged into water sources and affecting public health.

The main objective was to determine the efficiency of the treatment of wastewater from the Quebrada Honda population center using the electrocoagulation method. For this process, the experimental design methodology was used, with a quantitative approach, applied type and explanatory level. For the development, an electrocoagulation cell was designed with aluminum and stainless-steel electrodes, with a capacity of 3 liters of wastewater, using a current intensity of 3 and 5 amps and treatment times of 15 and 30 minutes. As a result of the application of the electrocoagulation method, a significant reduction of 92.32% in (COD) and 92.54% in (BOD5) was achieved with aluminum electrode, and 89.35% in (COD) and 89.01% in (BOD5) with stainless steel electrodes. However, a moderate increase in pH and temperature was observed.

According to the analysis carried out, it was concluded that the electrocoagulation method is efficient for the treatment of wastewater. According to Tukey, it was found that the electrocoagulation method with aluminum electrode is better than with the stainless steel electrode to improve the removal of contaminants in the treatment of wastewater.

Key words: Efficiency, electrocoagulation, wastewater, treatment, electrodes.

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice de tabla.....	xii
Índice de figuras.....	xv
Acronimos	xv
I. Introducción.....	17
II. Planteamiento del problema.....	19
2.1. Descripción y formulación del problema	19
2.1.2. Problema General.....	21
2.1.3. Problemas Específicos	21
2.2. Objetivos	22
2.2.1. Objetivo General.....	22
2.2.2. Objetivo Específicos	22
2.3. Justificación e importancia.....	22
2.4. Limitaciones	23
2.5. Hipótesis.....	24

2.5.1. Hipótesis general	24
2.5.2. Hipótesis específicas	24
2.6. Variables	24
III. Marco teórico.....	26
3.1. Antecedentes de investigación.....	26
3.1.1. A nivel internacional	26
3.1.2. A nivel nacional	29
3.1.3. A nivel regional y local.....	32
3.2. Bases teóricas	33
3.2.1. Aguas residuales.....	33
3.2.2. Electrocoagulación	39
3.3. Definición de terminos.....	47
IV. Metodología.....	49
4.1. Tipo y nivel de investigación	49
4.2. Ámbito temporal y espacial	50
4.2.1. Temporal.....	50
4.2.2. Espacial	50
4.3. Población y muestra.....	52
4.3.1. Población:	52
4.3.2. Muestra:	53
4.4. Instrumentos	55
4.6. Análisis de datos.....	65
4.7. Consideraciones éticas.....	65
V. Resultados y discusión	66

5.1. Resultados	66
5.4. Discusión de resultados.....	103
VI. Conclusiones	110
VII. Recomendaciones	111
VIII. Referencias	112
IX. Anexos.....	120

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalizacion de las variables.....	25
Tabla 2 Composicion de aguas residuales domesticas	34
Tabla 3 Medición del Caudal	53
Tabla 4 Esquematización de la toma de muestra en el mes de abril	54
Tabla 5 Esquematización de la toma de muestra en el mes de septiembre.....	54
Tabla 6 Materiales y equipos para la investifacion.....	57
Tabla 7 Procedimiento de tiempos y amperios empleados en la electrocoagulacion	61
Tabla 8 Validacion de instrumento por los expertos	65
Tabla 9 Concentraciones iniciales del mes de abril	66
Tabla 10 Concentraciones iniciales del mes de septiembre.....	66
Tabla 11 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 15min/3amp en el mes de abril.....	68
Tabla 12 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 30min/3amp en el mes de abril.....	69
Tabla 13 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 15min/5amp en el mes de abril.....	70
Tabla 14 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 30 min/5 amp en el mes de abril.....	71
Tabla 15 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 15min/3amp en el mes de abril.	72
Tabla 16 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 30 min/3 amp en el mes de abril.	73
Tabla 17 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 15 min/5 amp en el mes de abril.	74
Tabla 18 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 30 min/5 amp en el mes de abril.	75

Tabla 19 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 15 min/3 amp en el mes de septiembre.....	76
Tabla 20 Concentraciones despues de aplicar el metodo de electrocoagulacion utilizando electrodos de acero inoxidables 30 min/3 Amp en el mes de septiembre.....	77
Tabla 21 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 15 min/5 amp en el mes de septiembre.....	78
Tabla 22 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 30 min/5 amp en el mes de septiembre.....	79
Tabla 23 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 15 min/3 amp en el mes de septiembre.	80
Tabla 24 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 30 min/3 amp en el mes de septiembre.	81
Tabla 25 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 15 min/5 amp en el mes de septiembre.	82
Tabla 26 Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 30 min/5 amp en el mes de septiembre.	83
Tabla 27 Pruebas de normalidad.....	85
Tabla 28 ANOVA para el parámetro DQO	86
Tabla 29 ANOVA para el parámetro DBO5	87
Tabla 30 Prueba de comparación de medias de Tukey	87
Tabla 31 ANOVA para el parámetro PH	88
Tabla 32 ANOVA para el parámetro temperatura	89
Tabla 33 Tabla cruzada de las eficiencias utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable del mes de abril.....	90
Tabla 34 Tabla cruzada de las eficiencias utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable del mes de septiembre.....	92
Tabla 35 Tabla cruzada de las eficiencias utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de aluminio del mes de abril.	94

Tabla 36 Tabla cruzada de las eficiencias utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de aluminio del mes de septiembre	96
Tabla 37 Tabla cruzada de las eficiencias por remoción y la intensidad de corriente del mes de abril	98
Tabla 38 Tabla cruzada de las eficiencias por remoción y la intensidad de corriente del mes de septiembre.....	100

Índice de figuras

Figura 1 Electrocoagulación.....	39
Figura 2 Reacciones en el proceso de electrocoagulación.....	41
Figura 3 Mapa de ubicación del distrito de Yanatile.	51
Figura 4 Mapa de ubicación del centro poblado de Quebrada Honda	51
Figura 5 Esquematación de la toma de muestra.....	54
Figura 6 Diseño de la celda de electrocoagulación	59
Figura 7 Gráfica de las eficiencias promedio utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable del mes de abril	91
Figura 8 Gráfica de las eficiencias promedio utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable del mes de septiembre	92
Figura 9 Gráfica de barras de las eficiencias promedio utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de aluminio del mes de abril	95
Figura 10 Gráfica de barras de las eficiencias promedio utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de aluminio del mes de abril	96
Figura 11 Gráfica de barras de las eficiencias por remoción y la intensidad de corriente del mes de abril.....	99
Figura 12 Gráfica de barras de las eficiencias por remoción y la intensidad de corriente del mes de septiembre	101

Acrónimos

DQO	: Demanda química de oxígeno
DBO	: Demanda bioquímica de oxígeno
ECA	: Escandares de calidad ambiental
LMP	: Límite máximo permisibles
OEFA	: Organismo de evaluación y fiscalización ambiental
MINAM	: Ministerio del ambiente

I. Introducción

En la actualidad, la problemática de contaminación ambiental ha experimentado un notable incremento, principalmente a causa de las diversas actividades antropogénicas que se desarrollan en distintas regiones del planeta. Según el informe presentado por la ONU & UNESCO, (2017), se proyecta que el crecimiento demográfico continuará en una trayectoria ascendente, lo que conllevará a un aumento significativo en la contaminación del agua. De acuerdo con las estimaciones realizadas, de las aguas residuales generadas globalmente, un porcentaje mayor al 80% son descargadas al entorno ambiental sin recibir tratamiento previo. Asimismo, a nivel nacional, de acuerdo con las investigaciones realizadas por la OEFA, (2014) se estima que en el territorio peruano circulan aproximadamente 2,2 millones de metros cúbicos de aguas residuales a través de alcantarillado, siendo únicamente el 32% de este volumen sometido a procesos de tratamiento. Lo más comúnmente observado es que estos desechos son vertidos sin recibir ningún tipo de tratamiento previo, ya sea directamente en el mar, ríos o lagos cercanos. Estas cifras alarmantes y preocupantes evidencian de manera contundente una realidad innegable que requiere ser abordada de forma urgente y prioritaria.

Asimismo, de acuerdo al informe detallado y minucioso emitido por el INEI, (2017), las municipalidades comunicaron dentro del extenso listado que presentaron los elementos que originan la mayor cantidad de contaminación ambiental en su amplia jurisdicción son las aguas residuales con un preocupante porcentaje del 47.6 %; afectando de manera directa a la condición del vital líquido, colocando en grave amenaza la salud de la población y alterando de forma significativa los frágiles ecosistemas desarrollados en el agua. El distrito de Yanatile tampoco escapa de esta problemática, ya que carece de una infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales. Mientras tanto, toda el agua residual producida en la localidad de Quebrada Honda se vierte directamente a una fuente hídrica, la cual corresponde al río Yanatile.

En este escenario, el presente estudio se concentra en la aplicación del método de electrocoagulación como una alternativa dable y eficiente para el tratamiento de aguas

residuales provenientes del centro poblado Quebrada Honda. La electrocoagulación no solo se destaca por su capacidad de tratar eficientemente diferentes contaminantes, sino que también se alinea con las necesidades de sostenibilidad y protección del medio ambiente, y la presente tesis se desarrolla en función a los siguientes capítulos:

Ítem I y II, se inicia identificando el problema de investigación desarrollando con preguntas que estos orientaran el desarrollo del presente estudio, posteriormente se plantean los objetivos, siendo relevancia y la estructura general del estudio.

Ítem III es la parte donde se desarrolla el marco teórico que sostiene fundamentalmente a esta investigación. Así mismo se exploran conceptos clave relacionados al tratamiento de aguas residuales mediante el método de electrocoagulación, además se analizan estudios previos importantes de temas idénticos, proporcionando un contexto útil para la comprensión de los resultados obtenidos.

Ítem IV se explica en detalle la metodología de investigación empleada en el presente estudio. Se da a conocer los procedimientos de muestreo, análisis de datos y aplicación del proceso de electrocoagulación, para el tratamiento de aguas residuales mediante el método de electrocoagulación.

Ítem V se obtiene los resultados a base de la metodología empleada que se menciona en el capítulo anterior. Se examinan los datos obtenidos y se debaten las consecuencias de estos descubrimientos en lo que respecta al procedimiento de tratamiento de aguas residuales a través del método de electrocoagulación.

Ítem VI y VII Finalmente se concluye la presente investigación dando dictamen a los objetivos establecidos de acuerdo a los resultados que fueron obtenidos, y posteriormente se recomienda sobre del estudio realizado.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

El agua es el recurso hídrico que integra todos los ecosistemas, este recurso tiene una importancia crucial para el planeta y la humanidad, en ese sentido, la polución hídrica debido al desarrollo industrial y demográfico generan el vertimiento de aguas residuales que llegan a las fuentes de agua, provocando la alteración y escases de este elemento, creando amenazas para la vida del planeta y la salud humana Izquierdo (2018).

Según el Banco Mundial [BM] (2018), señala que el mundo enfrenta una crisis del agua, en ese sentido, se tiene que un 40% de la población en el mundo tiene problemas de escases de este recurso hídrico, y se tiene una proyección hacia el año 2030, que 700 millones de personas puedan tener que desplazarse por la falta de acceso a este recurso, así mismo, se tiene a más de dos millones de personas que beben agua no potable y los servicios de saneamiento son inexistentes para una cantidad superior a 4,5 mil millones de individuos humanos.

Además, la Organización de Naciones Unidas [ONU] (2018), afirma que las aguas residuales no son tratadas o reutilizadas antes de retornar al ecosistema, esto se da en un 80% que es un porcentaje muy alto, generando un impacto en la flora y fauna del ecosistema y en la salud de la población, esto, evidencia un ineficiente manejo de las aguas usadas o residuales.

Para América Latina y el Caribe, se tiene un 26 % de personas no pueden acceder al agua potable y 31% al acceso al saneamiento, esto es debido al crecimiento de la población, esto trae como consecuencias altas demandas por este recurso hídrico, sin embargo, el número de personas sin acceso al agua crecerá, si no se tiene un suministro continuo de este recurso Paltán et al., (2020).

En el Perú, se tiene poco conocimiento del problema ambiental que genera el no tratar el agua residual, si a esto se suma, que las plantas de tratamiento que no funcionan correctamente en diferentes partes del país, por haber sido sobre dimensionadas y poco eficientes, por no contar con la adecuada tecnología para el clima y lugar de destino, sin contar

con fiscalización seria, por ende las aguas residuales en muchas partes del Perú terminan en ríos o lagunas afectando al ambiente ecológico y la salud humana Sánchez (2017).

Además, según el primer estudio sobre el desempeño ambiental, respecto de las aguas residuales de carácter doméstico que se generan en el país Perú, se tiene que solo un 40% del total llega a recibir algún tratamiento, en ese sentido, se puede observar una clara deficiencia en cuanto al tratamiento de esta agua en el país Paucar y Iturregui (2020).

Por otro lado, ante las limitaciones observadas en los tratamientos convencionales de aguas residuales, se ha comenzado a explorar nuevas propuestas tecnológicas que sean de bajo costo y viables. En este contexto, destaca el método de electrocoagulación, una técnica que posibilita la desestabilización y la remoción de contaminantes presentes en el agua, ya sean partículas suspendidas, emulsiones o sustancias disueltas. Este proceso se logra al aplicar una corriente eléctrica por medio de placas paralelas hechas de diversos materiales, como hierro o aluminio, las cuales actúan como electrodos Huertas et al., (2022). Además, este método presenta ventajas significativas, como la reducción de la cantidad de lodos generados, menor consumo de productos químicos y un mantenimiento relativamente sencillo, lo que hace particularmente atractiva para su aplicación en contextos donde los recursos son limitados.

Asimismo, el método de electrocoagulación utiliza los electrones como reactivos, en lugar de emplear reductores y oxidantes, que suelen generar contaminantes durante su uso. Esta técnica reduce el número de fases en la síntesis de diversos compuestos, lo que disminuye la contaminación asociada a los procesos químicos. Así mismo, la electrocoagulación ofrece beneficios adicionales, como la recuperación de suelos contaminados, la regeneración de oxidantes y la desalación de disoluciones, destacándose por su eficiencia, bajo costo y versatilidad en diversas aplicaciones ambientales. Almukdad et al., (2021).

A nivel de la provincia de Calca, se ha visto un crecimiento demográfico en los últimos años, y esto no ha sido ajeno al centro poblado de Quebrada Honda del distrito de Yanatile, en ese sentido, este crecimiento demográfico trae consigo más residuos y descargas

contaminantes, que afligen la salud de la población de este estudio, entre ellas se tiene a las aguas residuales y residuos sólidos de uso doméstico y agropecuarios.

Por lo expuesto en los párrafos anteriores, se consideró que el tratamiento de aguas residuales en el centro poblado de Quebrada Honda, es un desafío ambiental importante. La falta de un procedimiento efectivo en el manejo de aguas residuales puede resultar en la contaminación de recursos hídricos locales, afectando tanto el medio ambiente como la salud de la comunidad.

En consecuencia, habiendo observado esta problemática, se puede mencionar que el empleo del método de electrocoagulación se presenta como una factible solución para el manejo adecuado de aguas de carácter residual. Este estudio buscará identificar la efectividad del método para suprimir contaminantes presentes en las aguas residuales, así como su efecto beneficioso en la calidad del agua para su potencial reutilización para el riego o descarga segura en el entorno natural.

2.1.2. Problema General

¿Cuál es la eficiencia del tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda mediante el método de electrocoagulación, Distrito de Yanatile-Cusco 2024?

2.1.3. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la eficiencia del método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado de Quebrada Honda, distrito de Yanatile - Cusco 2024?
- ¿Cuál es la eficiencia del método de electrocoagulación con electrodos de aluminio para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado de Quebrada Honda, distrito de Yanatile - Cusco 2024?
- ¿Cuál es la eficiencia del método de electrocoagulación según el tiempo de remoción y la intensidad de corriente en los parámetros fisicoquímicos DQO, DBO5, PH y Temperatura para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado de Quebrada Honda, distrito de Yanatile - Cusco 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Determinar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda mediante el método de electrocoagulación, Distrito de Yanatile-Cusco 2024.

2.2.2. Objetivo Específicos

- Determinar la eficiencia del método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado de Quebrada Honda, distrito de Yanatile - Cusco 2024.
- Determinar la eficiencia del método de electrocoagulación con electrodos de aluminio para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado de Quebrada Honda, distrito de Yanatile - Cusco 2024.
- Determinar la eficiencia de método de electrocoagulación según el tiempo de remoción y la intensidad de corriente en los parámetros fisicoquímicos DQO, DBO5, PH y Temperatura para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado de Quebrada Honda, distrito de Yanatile - Cusco 2024.

2.3. Justificación e importancia

El tratamiento de aguas residuales tanto a nivel nacional, como en diferentes provincias y distritos especialmente en el centro poblado de Quebrada Honda, ubicada en el distrito de Yanatile, representa un desafío ambiental importante. La falta de un sistema efectivo para el tratamiento conlleva riesgos significativos para la salud pública, así como graves impactos ambientales en los recursos hídricos y la biodiversidad circundante.

La aplicación del método de electrocoagulación se vislumbra como una alternativa prometedora y de bajo impacto ambiental para tratar aguas residuales. Sin embargo, su efectividad, eficiencia y adaptabilidad específicamente en el contexto del centro poblado de Quebrada Honda, distrito de Yanatile, no han sido adecuadamente evaluadas ni estudiadas.

En ese sentido, esta investigación es crucial para evaluar la idoneidad y eficacia del método de electrocoagulación como una solución viable y sostenible para el tratamiento de

aguas residuales en Quebrada Honda, distrito de Yanatile, con el propósito de mitigar los impactos nocivos en la salud pública, el medio ambiente y la calidad de vida de sus habitantes.

Así mismo el presente estudio ayudara brindar mayor información acerca del tratamiento de aguas residuales mediante este método de electrocoagulación, sobre todo a los futuros investigadores en esta materia.

2.4. Limitaciones

- Uno de los principales obstáculos identificados en el desarrollo de esta investigación fue la dificultad para encontrar los electrodos de acero inoxidable y aluminio en la ciudad de Cusco. Ante esta situación, se procedió a realizar el pedido correspondiente a la ciudad de Lima, detallando con precisión las características del material requerido.
- Otro factor limitante es la distancia que dificulta el traslado de la muestra para su tratamiento y también para su posterior análisis en el laboratorio, ya que el transporte público no siempre llega de manera regular hasta el lugar donde se llevó a cabo el estudio. Esto se refiere al hecho de que las muestras podrían sufrir alteraciones durante el extenso traslado hacia su correspondiente procesamiento y posterior análisis.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

La aplicación del método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable y aluminio tienen mayor eficiencia significativa para el tratamiento de los parámetros fisicoquímicos de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda, Distrito de Yanatile- Cusco 2024.

2.5.2. Hipótesis específicas

- El método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable tiene eficiencia significativa para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado de Quebrada Honda, distrito de Yanatile – Cusco 2024.
- El método de electrocoagulación con electrodos de aluminio tiene una alta eficiencia significativa para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado de Quebrada Honda, distrito de Yanatile – Cusco 2024.
- El método de electrocoagulación según el tiempo de remoción y la intensidad de corriente tienen mayor eficiencia significativa en los parámetros fisicoquímicos DQO, DBO5, PH y Temperatura, para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado de Quebrada Honda, distrito de Yanatile – Cusco 2024.

2.6. Variables

- **Variable dependiente:** Tratamiento de aguas residuales
- **Variable independiente:** Método de electrocoagulación

Tabla 1*Operacionalización de las variables*

Variable		Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Índices
Variable dependiente	Tratamiento de aguas residuales	Es una agrupación de procesos biológicos, físicos y químicos diseñados con la intención de eliminar contaminantes biológicos, físicos y químicos que estén presentes en el agua residual generada por las actividades humanas.(Alfaro y Nina, 2022)	Parámetros químicos	DQO: Demanda química de oxígeno	22.4 mg/L
				DBO5: Demanda biológica de oxígeno.	11.69 mg/L
			Parámetros físicos	pH: Potencial de Hidrógeno	7.6 pH
				Temperatura	196.3 (μS/cm)
Variable independiente	Método de electrocoagulación	Procedimiento mediante el cual se logra que las partículas de contaminantes, presentes en suspensión, emulsión o disolución en un entorno acuoso, se desestabilicen. Se consigue esto al provocar una corriente eléctrica en el agua mediante placas de metal. (Restrepo et al., 2012).	Tiempo de remoción	Minutos	15
					30
			Intensidad de corriente eléctrica	Amperios	3
					5

Fuente: *Elaboración propia*

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes de investigación

3.1.1. A nivel internacional

Mendes (2019) España, la tesis titulado “tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación acoplada a un MBR para minimizar el ensuciamiento de la membrana y obtener efluentes de alta calidad”, cuyo objetivo fue verificar la reducción de la turbidez de la membrana a partir de un MBR (Reactor Biológico de Membrana o Biorreactor de Membrana) sin sistema de electrocoagulación y mejorar la calidad de efluentes. La primera planta EMBR (Electro-Biorreactor de Membrana) estuvo ubicada en depuradoras diferentes, razón por la cual el estudio fue llevado a cabo en un par de etapas; la primera etapa, fue realizada en la EDAR de Santomera de Murcia en España y para la siguiente etapa, la operación se trasladó hacia la EDAR de Monte Orgegia de Alicante en España. Los resultados evidenciaron mejoras en la calidad del efluente, en otras palabras, en el sistema EMBR se logró eliminar el fosforo, diclofenaco, claritromicina y la carbamazepina. En cuanto a la disminución de la turbidez de la membrana, se registraron impactos positivos en las características del lodo y, en consecuencia, la disminución de la turbidez de la membrana.

García (2022) Honduras, en la investigación “Evaluación de la electrocoagulación como tratamiento para remoción de hierro en las fuentes de abastecimiento de Zamorano”, a fin de evaluar el nivel de eficiencia existente al usar la electrocoagulación para remover el hierro en depósitos de agua. Por medio del diseño y edificación de un sistema de electrocoagulación con la capacidad de tratar 10 litros de agua en un periodo de 35 minutos, además de una distancia de 3cm entre las placas y 1.5 mA/cm² de densidad de la corriente. Los resultados demostraron la eficiencia en la eliminación del hierro alcanzando el 98% con 6.54 mg/L de concentración inicial. Asimismo, se realizaron comparaciones de la eficiencia de eliminación de este compuesto en fuentes abastecedoras distintas sin hallar diferencias significativas en el campo de la estadística.

Al comparar la eficiencia de la coagulación tradicional y la electrocoagulación, mediante el policloruro de aluminio, demostrando la inexistencia de diferencias en ambos procedimientos.

Olmos y Moncaleano (2021) Colombia, presentaron la tesis titulado “Evaluación de la eficiencia de la electrocoagulación en aguas residuales textiles utilizando como electrodo el aluminio”, con el propósito de fabricar un mecanismo de electrocoagulación para tratar efluentes del sector textil colombiano en Soacha Cundinamarca, a través de la definición de lineamientos técnicos como el de acero inoxidable (cátodo) y los electrodos de aluminio (ánodo) y la de tipo Beth cuya volumen es de dos litros. Como variables experimentales se tuvo al área de contacto del electrodo, intensidad de corriente y tiempo de retención; que, mediante un prototipo experimental de cuadro latino 3x3x3, se logró determinar 9 experimentos realizados al mismo tiempo en el laboratorio, haciendo uso de agua residual falsa, posteriormente, se midieron las variables demanda química del oxígeno, respuesta o control de turbidez, conductividad y pH del agua.

Fonseca y Panimbosa (2021) Ecuador, presentaron la tesis titulado “Evaluación de un electrocoagulador para la disminución de contaminantes en aguas residuales de la industria láctea, en el periodo abril - agosto 2021” con la finalidad de realizar una evaluación de un mecanismo electrocoagulador para reducir los contaminantes de efluentes de una fábrica de lácteos. Para ello se empleó un diseño experimental multifactorial a partir de un programa estadístico denominado InfoStat y un análisis de costos. Al finalizar la investigación, se concluyó que la entidad “Productos Lácteos Marlén” no cuenta con un sistema de limpieza de sus efluentes, los contaminantes de mayor predominancia son los aceites y grasas con 75.85%. Los resultados evidencian que, gracias a la electrocoagulación, los contaminantes vertidos en el agua redujeron su volumen en un 91.21%. Se concluyó que el método utilizado constituye una gran alternativa accesible y de bajo costo para empresas medianas y pequeñas que generan efluentes.

Limón (2019) México, presentó una investigación llamada “Electrocoagulación como tratamiento de aguas de descarga al río Tecolutla en la zona de Gutiérrez Zamora,

Veracruz”, para analizar cómo funciona la electrocoagulación al tratar aguas servidas del río Tecolutla de Gutiérrez Zamora en Veracruz. La investigación inició realizando un recorrido por el lugar a fin de determinar las zonas de descarga de las aguas servidas. A partir de ello, se identificaron 3 zonas; la primera, ubicada en el ingreso a la ciudad; la segunda, en el centro y; la tercera, en la salida de la ciudad. De forma similar, se distinguieron los espacios para el muestreo; la A ubicada en la rivera de la urbe, la B ubicada en el centro y la C ubicado en la ribera a la salida de la ciudad. El muestreo fue realizado mensualmente en dos tiempos, durante el periodo de sequías y en el periodo de lluvias. Los resultados evidenciaron que la electrocoagulación remueve los sólidos disueltos en un 86%, los fosfatos en un 84% y los nitratos en un 66.89%. Se concluyó que luego de realizar la electrocoagulación, el agua resultante puede ser utilizada en actividades agrícolas e industriales.

3.1.2. A nivel nacional

Cuba (2020) Lima, en su estudio titulado “Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales – Ate Vitarte”, cuyo objetivo fue constatar la viabilidad del uso la electrocoagulación en lugar de sistemas químicos de tratamiento tradicional de efluentes de lavadoras para su reutilización en el sector agrícola. Para ello, fueron analizados 4 factores y 3 niveles en cada uno: el pH, distancia, tiempo e intensidad. El procedimiento de electrocoagulación fue mejorado realizando el diseño de experimentos conforme a la técnica de Taguchi. Asimismo, se llevó a cabo el test de varianza denominado ANOVA, a fin de observar el impacto de las variables en la disminución de la turbidez y demás parámetros de índole fisicoquímico. Se halló que, los parámetros más influyentes fueron la intensidad y el tiempo. Los factores fueron optimizados a los 6 amperios de intensidad, 13 min de tiempo, 2cm de distancia y 7.5 de pH; en tal sentido, la turbidez fue removida en un 99.02%, la demanda química del oxígeno en 90.83% y los sólidos suspendidos en 95.93%. Se concluyó que, el agua tratada se encuentra debajo de los parámetros de la categoría 3 establecida por la norma, es decir, la categoría bebida para animales y riego para vegetales.

Ramón (2021) Junín, investigó sobre la “Aplicación de la electrocoagulación como alternativa de remoción de sólidos suspendidos totales presentes en las aguas residuales generadas en el distrito de San Pedro de Saño, 2020”, a fin de determinar la pertinencia del uso de la electrocoagulación en la eliminación de solidos suspendidos en efluentes de un distrito de Huancayo, denominado San Pedro de Saño. La metodología empleada es la hipotética – deductiva, experimental, aplicado y observacional. Los hallazgos del estudio mostraron que inicialmente, existía gran concentración de solidos a comparación de la cantidad estándar ($296,5 \text{ mg/L} > 100 \text{ mg/L}$), pertenecientes a la categoría 4 (conservación del ambiente acuático). El procedimiento transcurrió aplicando 3 amperios de corriente eléctrica en un tiempo de 20 minutos, siendo posible remover el 89.43% de solidos indeseados; por otro lado, al aplicar solo 2 amperios de corrientes y en un tiempo de 10

minutos, la eliminación de sólidos disminuyó en 81.48%. Por último, el autor concluye que el uso de mecanismos de electrocoagulación sirve de gran utilidad para la eliminación de sólidos indeseados en efluentes del mencionado distrito, puesto que la eliminación de sólidos tuvo eficiencia alta (más del 80%).

Rivas y Rojas (2020) Lambayeque, presentaron un estudio llamado "Tratamiento de aguas residuales por el método de electrocoagulación del sistema PTAR de la laguna de estabilización San José", con el propósito de evaluar la reacción de las aguas residuales ante tratamientos de mayor eficiencia, en este caso la electrocoagulación, aplicada a la PTAR de San José. Los parámetros evaluados fueron: grasa, aceites, DBO₅, DQO, sedimentos, conductividad, turbidez, pH, temperatura y coliformes tolerantes al calor. Luego de comparar los resultados en ambos momentos del tratamiento, se pudo apreciar la disminución eficiente de la materia orgánica que albergaba el efluente, obteniendo más claridad y menos olores fétidos. Asimismo, se observaron cambios durante los tratamientos en los parámetros microbiológicos, químicos y físicos de los efluentes. Finalmente, se concluyó que al adherir microorganismos en los efluentes incrementa los siguientes parámetros: grasa, aceites, DBO₅, DQO, sedimentos, conductividad, turbidez, pH, temperatura y coliformes tolerantes al calor, luego de 30 días de aplicarlas.

Ríos (2022) Arequipa, estudió la "Remoción de contaminantes de las aguas residuales generadas por lavado de autos empleando el método electrocoagulación", a fin de eliminar los contaminantes de los efluentes de empresas dedicadas a la limpieza de automóviles, usando la electrocoagulación mediante electrodos, aluminio para cátodo y ánodo. Asimismo, se intenta determinar los efectos de la densidad de corriente (7, 3 y 5) voltios, el tiempo (7, 3 y 5) minutos, y la distancia entre los electrodos (1.6, 1.0 y 1.3) centímetros. Los componentes evaluados fueron las grasas y aceites, DQO, los fosfatos y los sólidos suspendidos. Junto al control de otros factores como la conductividad, turbidez, sólidos disueltos y densidad. Los resultados mostraron que, el mejor escenario para remover la mayor cantidad de materiales indeseados es, 1.3 centímetros de distancia, 17.5 minutos de electrocoagulación 5 5 voltios de intensidad de corriente; a partir de ello, se

logró eliminar fueron las grasas y aceites, DQO, los fosfatos y los sólidos suspendidos. Consiguientemente, los contaminantes se redujeron en más del 90% en todos los parámetros, por lo que se concluyó que el uso de la electrocoagulación es útil para la remoción de contaminantes de los efluentes de las entidades dedicadas a la limpieza de automóviles.

Ayuque (2022) Huancavelica, presentó un trabajo titulado “Tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras por el método de electrocoagulación en la ciudad de Huancavelica”, con el objetivo de analizar que tanto influye la técnica de electrocoagulación al tratar efluentes de lavanderías en el lugar mencionado. Por medio de una metodología aplicada, observacional, explicativa, pre y post test en un solo conjunto de unidades de análisis, usando una ficha de anotación de datos. En cuanto a la muestra, se recolectaron 3 litros por cada lavandería del lugar. Los resultados evidenciaron que en la primera lavandería la intensidad de la corriente y el tiempo de retención poseen influencia significativa en la disminución de la DQO, puesto que inicialmente se tenía 1308.00 mg/l y disminuyó hasta los 366.50 mg/l. Por otro lado, la segunda lavandería inicialmente tenía 1333.50 mg/l de DQO y bajó a 348.50 mg/l, en cumplimiento de los valores máximos admisibles establecidos en el DS N°10-2019-VIVIENDA, Concluye que el método de electrocoagulación para la DQO tiene un impacto considerable en el tratamiento de aguas residuales provenientes de lavadoras en Huancavelica. Sin embargo, para los parámetros de pH y temperatura no se observó un impacto relevante.

3.1.3. A nivel regional y local

Chacon y Huampotupa (2021) Cusco, presentaron el estudio intitulado “Electrocoagulación de aguas residuales en la Industria Láctea Ramírez, Anta – Cusco. Con la finalidad de comprobar el porcentaje de remoción de materia orgánica en el proceso del efluente industrial RAMIREZ. La metodología fue experimental, las muestras fueron recolectadas de octubre hasta diciembre del 2019 y enero, febrero del 2020. Los resultados evidenciaron valores altos de contaminantes como la DBO₅, sólidos totales en suspensión, Aceites y Grasas antes de la aplicación del tratamiento. Concluyendo que la electrocoagulación tiene influencia en una mejor eficiencia para la remoción de materia orgánica según los resultados después de tratamiento de las aguas residuales.

Guillen & Sánchez (2024) Cusco, presentaron el estudio intitulado “Eficiencia del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y aluminio para la reducción del DQO de las aguas residuales del Camal municipal de K’ayra, Cusco – 2022. Con el objetivo de comparar la eficiencia del método de electrocoagulación de acero inoxidable y aluminio para la reducción del DQO de las aguas residuales de Camal municipal de K’ayra. De diseño experimental, de alcance explicativo. Teniendo como resultado para el electrodo de acero inoxidable una reducción de 88.74% de DQO en un tiempo de 60 minutos y en una intensidad de corriente de 10 amperio y para el electrodo de aluminio una reducción de 81.57% de DQO en un tiempo de 60 minutos y en una intensidad de corriente 10 amperio, que están dentro del cumplimiento de con los LMP de vertimientos de aguas residuales permitidos para actividades productivas de ganadería. Concluyendo que el método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable es más eficiente que la electrocoagulación con los electros de aluminio.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Aguas residuales

3.2.1.1. Definición.

Surgen de distintas actividades industriales o domésticas que las personas realizan, con diferentes características cada una; sin embargo, pueden ser idénticas en ciertas situaciones. Generalmente, es fundamental mejorar los procesos de tratamiento a fin de aminorar la contaminación del recurso hídrico (Metcalf & Eddy, 1996).

El agua residual originada por actividades humanas se distingue por su potencial peligro y la necesidad de ser eliminadas por la gran acumulación de sustancias contaminantes y organismos microscópicos (LÓPEZ, 2015).

Desechos que resultan después de ser utilizadas por el ser humano ya sea en actividades personales o industriales (Moya Medina, 2018)

3.2.1.2. Clasificación.

Según (OEFA, 2014) se puede clasificar a las aguas residuales en:

- **Aguas residuales industriales:** se originan de un proceso de producción, que incluye las derivadas de las actividades como: la agrícola, la energética, la agroindustrial y la minería.
- **Aguas residuales domésticas:** proceden de la residencia y el comercio que incluyen residuos fisiológicos y otros.; derivados de la actividad humana que necesitan un almacenamiento apropiado.
- **Aguas residuales municipales:** Las aguas residuales caseras que provienen del desarrollo de actividades habituales como son lavar platos, bañarse o tirar la cadena del inodoro, pueden contener una variedad de contaminantes que necesitan un tratamiento antes de descargarlos en los sistemas de alcantarillado. Estas aguas, que pueden estar unidas con agua pluvial o residual de origen industrial con tratamiento, deben respetar ciertos estándares que confirman su calidad para ser aceptadas en los sistemas de alcantarillado.

3.2.1.3. Características y composición de las aguas residuales.

Las aguas residuales de índole doméstico tienen dentro de su composición materias biológicas, físicas y químicas. Se trata de una combinación de elementos inorgánicos y orgánicos, disueltos o suspendidos; pudiendo ser, residuos de alimentos, heces, vegetales, sales minerales, detergentes artificiales (Tebbutt, 1998).

Asimismo, estas aguas contienen proteínas como las globulinas, albúminas de origen diverso y enzimas de detergentes o surgidas en la actividad microbiana del agua residual. Comúnmente, se hallan carbohidratos como la celulosa, almidón, sacarosa y glucosa, los microorganismos se encargan de degradar con facilidad los dos últimos mencionados; en cambio, la celulosa y los polisacáridos poseen mayor resistencia (Blundi, 1988).

Los alimentos poseen aceites y grasas animales debido al uso de aceites y carnes, etc., es por ello que siempre se encuentran presentes en aguas residuales de índole doméstico (Metcalf & Eddy, 1996).

Tabla 2

Composición de aguas residuales domesticas

Componente	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales	1200	720	35
Sólidos Disueltos	950	500	250
Sólidos disueltos fijos	525	300	145
Sólidos disueltos volátiles	325	200	105
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrógeno Total	85	40	20
Nitrógeno Orgánico	35	15	8
Nitrógeno Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo Total	15	8	4
Fósforo Orgánico	5	3	1
Fósforo Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad	200	100	50
Grasas y Aceites	150	100	50

Fuente: Metcalf y Eddy (1996).

3.2.1.4. Tratamiento de aguas residuales.

Según Alfaro & Nina (2022), el proceso de tratamiento de aguas residuales, también conocido como depuración de aguas residuales, implica la aplicación de una variedad de métodos biológicos, físicos y químicos con el propósito de quitar los diferentes agentes contaminantes presentes en el agua residual generada por actividades humanas u otros usos. Mencionan que el tratamiento se realiza en etapas o fases, que a continuación se exponen:

- **Pre tratamiento:** Está conformado por procesos que están basados en un modo de depuración, cuya finalidad es separar sólidos voluminosos como arena, plástico y/o piedras que puedan perjudicar e interferir en este proceso, el cual está conformado por las operaciones posteriores.
- **Tratamiento primario:** Se trata de eliminar y disminuir la materia suspendida mediante procesos físicos y mecánicos a través de la sedimentación, coagulación y floculación.
- **Tratamiento secundario:** En esta fase del proceso, se descompone la materia orgánica biodegradable por medio de métodos biológicos de auto depuración, lo cual resulta ser una alternativa sumamente económica y altamente eficaz en términos de eliminación de residuos. Además, los microorganismos juegan un rol crucial en el proceso de autodepuración en entornos aeróbicos bajo condiciones cuidadosamente controladas. Así es como se procesan las aguas residuales para transformarse en alimento para las bacterias, lo que les facilita la tarea crucial de disminuir la cantidad de materia orgánica existente, además de eliminar nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, así, aportando considerablemente a la preservación del medio ambiente.

Según (Roman, 2024) menciona que en esta fase se utilizará la tecnología de Electrocoagulación, lo que facilitará la remoción de los sólidos. Metales pesados suspendidos y el residuo de carga orgánica existente en el efluente tratado, adicionalmente, El procedimiento permitirá llevar a cabo una desinfección del agua

residual y producirá un lodo compacto y estabilizado que será posible estabilizar. se llevarán a su tratamiento posterior utilizando un filtro prensa para su posterior clasificación final.

- **Tratamiento terciario:** Se trata de un procedimiento físico-químico complicado que se desarrolla con el objetivo de disminuir los niveles de nutrientes inorgánicos. Mediante este medio se expulsa la carga residual orgánica, los componentes sobrantes de un tratamiento secundario, el color y olor no deseados, la supresión de patógenos, la expulsión nitratos, fosfatos y detergentes causantes de espumas y el proceso de eutrofización.

3.2.1.5. Importancia del tratamiento de aguas residuales

Más allá de la búsqueda de la reducción de contaminantes en el agua, los tratamientos se realizan para conseguir valor para su auto sustentación y mejoramiento del sistema económico. El empleo razonable del agua tratada en actividades agrícola y energéticas, alivia la demanda de agua en zonas cuyo suministro es limitado (WALPE, 2017).

3.2.1.6. Parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales

Se menciona los parámetros físico químicos de las aguas residuales:

a. Demanda química de oxígeno (DQO)

Indicador que evalúa el nivel del oxígeno requerido para oxidar tanto la materia orgánica como la inorgánica presentes en una muestra de agua, teniendo en cuenta un pH bajo. Es útil para medir la calidad del agua con el fin de valorar su calidad y la cantidad de contaminantes en ella (Cuba, 2020).

b. Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

Indicador para medir que nivel de oxígeno es necesario para degradar la materia orgánica, generada por sustratos orgánicos. También se le conoce como demanda bioquímica de oxígeno. (Gallegos, 2024).

c. Temperatura (T)

Para Trapote (2020), la temperatura regula el proceso de nitrificación y de degradación de materias orgánicas, siendo fundamental su monitoreo. Al descender la temperatura los procesos pierden velocidad.

Para chen (2004), considera que la temperatura en la electrocoagulación no ha sido profundamente estudiada; aunque se halló eficacia máxima de la corriente con 60°C de temperatura para disolver el aluminio. Al usar altas temperaturas, los poros del gel de hidróxido de aluminio se reducen considerablemente, produciendo flóculos compactos que fácilmente se depositan encima del electrodo.

d. Potencial de Hidrogeno (Ph)

Se trata de una medida que sirve para determinar la basicidad o acidez de cualquier solución. De forma específica, es la acumulación de cationes o iones de hidrógeno en cierta sustancia, se representa por H⁺. El pH se cuantifica en una escala del 0 al 14 en un compuesto acuoso, valores menores a 7 indican que el líquido es ácido; por el contrario, valores mayores a 7 indican que el líquido es alcalino, el Ph = 7, significa que la solución es neutra. (Calsin, 2020).

- e. **Aceites y grasas:** En el ámbito de la química se consideran lípidos simples conformados de glicéridos y la grasa engloba a los triglicéridos. Tienen como resultado la creación de una película de partículas biológicas que obstaculizan la respiración de los seres vivos en el agua. (Gallegos Saravia, 2024).
- f. **Cianuro:** Sustancia química que constantemente se reúne con otras creando compuestos. Es posible encontrarlo en forma de cristal, de gas o líquida; además, estos compuestos suelen ser mortales (Gallegos Saravia, 2024).
- g. **Cloruros:** Tradicionalmente eran vistos como un indicador o señal indirecta de contaminación por heces, cuyo valor medio normal oscila entre los 20 y 100 mg/L. Sin embargo, es crucial considerar que también pueden provenir de otras fuentes,

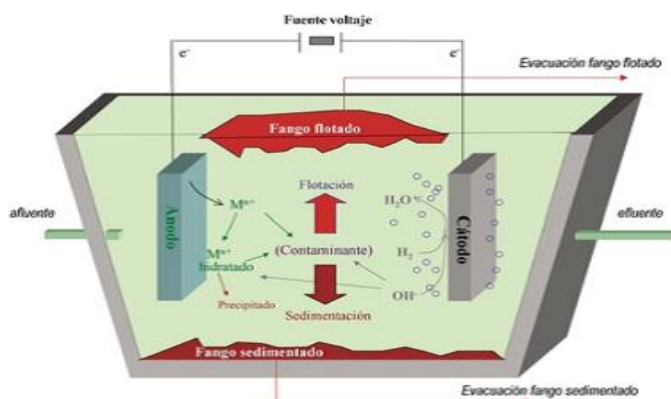
- como la aplicación de compuestos suavizadores e infiltración de aguas de mar, entre otros. (Espigares y Pérez, 2015)
- h. **Dureza:** Unión de conjuntos de iones de magnesio y calcio, o de bario y estroncio; pudiendo ser bicarbonatos o carbonatos. La dureza en el agua debe estar por debajo de los 60 mg/l para considerarse blanda (Gallegos Saravia, 2024).
 - i. **Oxígeno disuelto:** Esencial en la subsistencia de todos los organismos vivos aeróbicos tener una concentración reducida de oxígeno disuelta en el agua de al menos 5 mg por litro. No obstante, un aumento descontrolado de la población de estos organismos puede provocar un agotamiento de los niveles de oxígeno, poniendo en riesgo la vida acuática, etc. Espigares & Pérez,(2015)
 - j. **Fosforo:** Elemento no toxico para animales y humanos; no obstante, podría generar consecuencias indirectas mediante la eutrofización de cuerpos de agua de la superficie, provocando crecimiento de algas y abatimiento de oxígeno luego de su descomposición post muerte (Gallegos Saravia, 2024)
 - k. **Nitritos:** Surgen de la descomposición biológica de compuestos proteicos, así como de la actividad bacteriana en el nitrógeno amoniacal, es empleado en la determinación del nivel de contaminación fecal de las aguas en estado natural (Gallegos Saravia, 2024).
 - l. **Nitratos:** Nutriente principal de múltiples autótrofos fotosintéticos, en ocasiones determina el crecimiento abundante de algas, provocando eutroficación, incremento de la toxicidad y de la DBO (Gallegos Saravia, 2024).
 - m. **Sólidos disueltos:** Se producen debido a la erosión del suelo, se trata de partículas diminutas imposibles de separar, favorecen el crecimiento de algas y afectan al agua, provocando reacciones fisiológicas negativas al ser consumidas (Gallegos Saravia, 2024).

3.2.2. Electrocoagulación

Técnica empleada para tratar aguas residuales. Mediante la coagulación se remueven contaminantes de efluentes de origen industrial o doméstico, en este caso, la extracción de dichos contaminantes se realiza aplicando corriente eléctrica al agua contaminada. En tal sentido, la electrocoagulación es un procedimiento que contribuye a desestabilizar las partículas de los agentes contaminantes dispersos en las aguas a ser tratadas, aplicando una corriente eléctrica con placas paralelas de distintos materiales, así como el aluminio y el hierro. Esta corriente provee la fuerza necesaria para dar paso a múltiples reacciones químicas, y conseguir que las moléculas contaminantes permanezcan estables. Generalmente, la estabilidad genera partículas sólidas con menor solubilidad o dispersión. Al ocurrir ello, los contaminantes se agrupan de forma hidrofóbica que flotan o precipitan, haciendo fácil su eliminación por métodos secundarios de separación. A través de la electrocoagulación se sueltan iones metálicos, los cuales se dispersan en el agua contaminada formando óxidos metálicos para atraer de forma eléctrica a los agentes contaminantes que perdieron su estabilidad (Restrepo et al., 2012).

Figura 1

Electrocoagulación



Fuente: Henn y Salas (2017).

3.2.2.1. Diseño de la celda electrocoagulación.

Según Limaymanta (2023), el dimensionamiento de las celdas de electrocoagulación está conformada por:

Solución electrolítica: las soluciones electrolíticas son las que poseen la habilidad de conducir una corriente eléctrica mediante su composición química. Se conoce como electrolito a una sustancia química que, cuando se disuelve en agua, posee la capacidad de incrementar su conductividad eléctrica. Un electrolito muy usado en la vida diaria es la sal común, denominada químicamente como cloruro de sodio.

Electrodos (ánodo y cátodo): Según la definición estándar, en una celda electroquímica el ánodo es el electrodo donde ocurre la reacción de oxidación, mientras que el cátodo es el electrodo donde ocurre la reacción de reducción.

Ánodo.

Electrodo que durante la oxidación se desprende de electrones. Usualmente se enlaza con el polo positivo de la corriente eléctrica Lifeder, (2020).

Cátodo.

Electrodo cuya carga es negativa, durante la reacción química sufre reducción, al recibir electrones Lifeder, (2020).

3.2.2.2. Proceso de electrocoagulación.

Los electrodos provocan múltiples reacciones con iones negativos y positivos. El electrodo de sacrificio o ánodo suministra iones de índole metálico, se le denomina de esa manera porque su placa metálica se disuelve y la placa del cátodo queda intacta. Los iones se encargan de quitar la estabilidad de las cargas de las partículas contaminantes del agua. Al neutralizar dichas cargas, las partículas pierden sus sistemas de suspensión, se forman los agregados e inicia la coagulación. Los iones procedentes de electrodos ayudan a quitar los contaminantes a través de dos formas: mediante precipitación y reacción químicas y mediante la inclusión de coloides, que en función a su densidad precipitan o flotan (Restrepo et al., 2012).

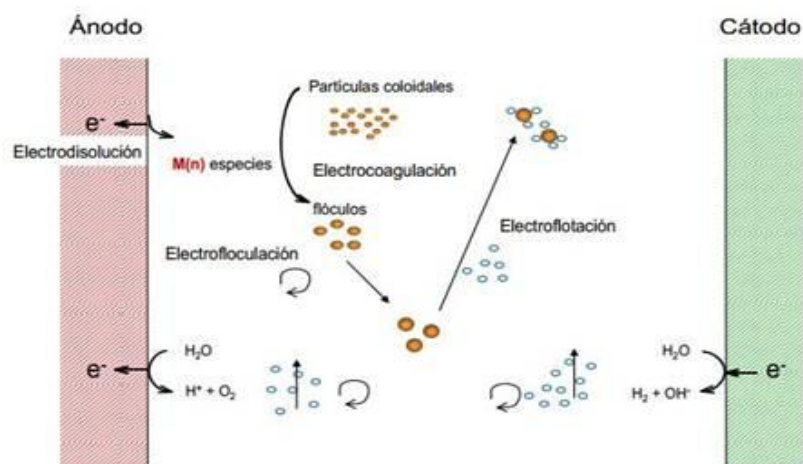
Las partículas contaminantes pueden sufrir las siguientes reacciones:

- Electrólisis
- Hidrólisis.
- Conformación de radicales libres
- Reacciones de ionización

Las reacciones mencionadas alteran las propiedades de las partículas del agua contaminada, llevando a su eliminación (Restrepo et al., 2012).

Figura 2

Reacciones en el proceso de electrocoagulación



Fuente: Ayuque (2022).

3.2.2.4. Ventajas y desventajas de la electrocoagulación.

Según, Restrepo et al. (2012), menciona cuales son los beneficios e inconvenientes de la electrocoagulación que a continuación se detalla :

Ventajas

- Se realiza con equipos nada complejos y fáciles de operar.
- No es necesario usar productos de índole químico ni almacenamiento.
- Produce menos cantidad de lodo y con mayor solidez, haciendo más sencilla su eliminación.
- Genera flóculos de mayores magnitudes que los procedentes de coagulación química con menor cantidad de agua en el medio.
- Mejor efectividad de eliminación de múltiples contaminantes.

- Permite el reciclaje de agua y la purifica.
- La corriente eléctrica aplicada mejor el desplazamiento de las partículas contaminantes menos visibles, aumentando la coagulación.
- Disminuye la contaminación del agua.
- Disminuye la cantidad de sólidos disueltos en el agua, a comparación de otros métodos, disminuyendo los costos de tratamiento y promoviendo la reutilización.

Desventajas

- La reposición de ánodos es constante.
- Podría ser costoso en lugares donde la energía eléctrica tenga precios altos.
- Al formarse óxido en el ánodo, puede impedir la acción de la corriente eléctrica, restándole eficiencia al proceso.

3.2.2.5. Fases de la Electrocoagulación

Según Cueva & Peralta, (2020) tiene 3 fases muy importantes la electrocoagulación:

- a) **Coagulación:** Se trata de generar partículas suspendidas de mayor tamaño derivadas de micropartículas que de manera previa están desestabilizadas en un sistema acuoso.
- b) **Floculación:** Trata de un fenómeno de adsorción de diminutos flóculos que se encuentran en la solución, los cuales se agrupan y se unen durante esta etapa inicial del tratamiento del agua. Durante este proceso, se produce la creación de partículas de una superior envergadura.
- c) **Flotación/sedimentación:** Los gases como el oxígeno e hidrógeno, liberados en el cátodo y en el ánodo, tienen la capacidad de promover la aglomeración y migración hacia la superficie de los flóculos de baja densidad presentes en el sistema.

3.2.2.6. Mecanismos de la electrocoagulación

Tiene la tarea de poder facilitar la remoción de ciertos elementos contaminantes que están en el agua. Esto se logra a través de un complejo proceso de electrólisis, en el cual tienen lugar múltiples etapas de reacciones fisicoquímicas que determinan la erradicación de los contaminantes presentes en el agua. (Cueva & Peralta, 2020)

3.2.2.7. Factores que afectan la electrocoagulación

Según Restrepo et al., (2012) los factores primordiales que intervienen en el proceso de la electrocoagulación son:

- **Densidad de corriente:** La cantidad de iones liberados por los respectivos electrodos es un factor crucial a considerar en este proceso. Es importante tener en cuenta que, si la corriente eléctrica alcanza niveles excesivos, se produce una conversión de energía eléctrica en energía calórica. Esta transformación genera un aumento de la temperatura del agua, lo cual puede resultar en una disminución en la eficiencia global del sistema.
- **Conductividad:** Un aumento en la conductividad eléctrica del sistema puede resultar en un aumento en la densidad de corriente. Esto significa que al mantener constante el voltaje aplicado a la celda de electrocoagulación y aumentar la conductividad, es posible lograr una reducción en el voltaje total requerido para el proceso.
- **Temperatura:** Hasta el momento las repercusiones de la temperatura en el proceso de electrocoagulación no han sido profundamente estudiadas. No obstante, se ha observado experimentalmente que la eficiencia en la supresión de contaminantes en el agua aumenta de manera significativa al principio, alcanzando su punto máximo alrededor de los 60 grados Celsius, para luego disminuir gradualmente.

- **PH:** El potencial de hidrogeno presenta una notable variabilidad durante el procedimiento de electrocoagulación, esto determina su relevancia, según diversos tipos de proyectos. Esto dependiendo al tipo de electrodos utilizados en el procedimiento. El inicio del potencial hidrogeno del agua que se vaya a tratar, así como el material de los electrodos, también tiene un rol crucial en el proceso de electrocoagulación. Dado el procedimiento de electrocoagulación y las reacciones que suceden durante dicho procedimiento, en las aguas residuales de alta acidez, el pH generalmente aumenta sucesivamente, en el cátodo se producirá hidrógeno molecular. Así, al tratar agua con un pH bajo y un elevado grado de acidez, el pH se reducirá de manera correspondiente. Para finalizar, el pH influirá en la eficacia del proceso.
- **Componente del Electrodo:** Para realizar el procedimiento de electrocoagulación, se utilizan ánodos cuyo propósito principal es actuar como agentes de sacrificio durante el tratamiento del agua. En el tratamiento con electrodos inertes, tales como el acero inoxidable, el titanio, el platino, el níquel, el grafito y otros, el proceso de eliminación tiene lugar porque se produce una rebaja electroquímica del solvente en el cátodo. Esto provoca un incremento en el pH, provocando la creación de hidroxisales o sales básicas difíciles de solubilizar e hidróxidos de metales polivalentes que se depositan en el entorno.
- **Tiempo de residencia:** Otro aspecto relevante a tener en cuenta en el proceso de electrocoagulación es el tiempo de reacción, el cual juega un rol crucial en la eficacia del tratamiento. Según la experiencia práctica, se ha observado que a medida que incrementa la duración de la reacción, se produce una mayor cantidad de sólidos precipitados. Asimismo, se genera una mayor liberación de gases, los cuales arrastran consigo partículas sólidas en forma de espuma, favoreciendo la formación y crecimiento de

flóculos. Este fenómeno contribuye significativamente a la clarificación del agua tratada.

- **Presencia de NaCl:** La presencia de sal en el agua residual puede incrementar significativamente la conductividad eléctrica de la misma, lo cual tiene como consecuencia la disminución de los efectos adversos provocados por la acumulación de iones que podrían formar una capa insoluble alrededor de los electrodos. Este fenómeno conlleva a un aumento en el potencial eléctrico entre los electrodos, lo que a su vez resulta en una disminución en la eficiencia del flujo de corriente eléctrica en el sistema.

3.2.2.8. Corriente eléctrica

Es el flujo de carga electrostática que ocurre cuando los electrones se mueven a través de un circuito eléctrico cerrado. Este movimiento se da de manera constante, siempre en dirección del polo negativo hacia el polo positivo de la fuente de energía electromotriz (FEM) que alimenta el circuito Pereira Arroyo,(2018)

Según Pereira Arroyo (2018) presenta la siguiente clasificación:

- ✓ **Corriente directa o continua (CC):** La corriente posee una dirección estable o un solo sentido, y su magnitud es constante.
- ✓ **Corriente alterna (CA):** La corriente cambia periódicamente su dirección o sentido a lo largo del tiempo, además de que su intensidad no se mantiene estable.
- ✓ **Corriente exponencial:** Se encuentra en la reacción de circuitos de primer orden.

3.2.2.9. Marco Legal

En el diario oficial El Peruano (2022), existen decretos y leyes relacionadas al tema en estudio:

Ley N°28611 - Ley General del Ambiente.

El tratamiento de aguas residuales es un asunto importante para el Estado, realizado a fin de darle utilidad a este recurso sin comprometer la salud de las personas y reduciendo el nivel de contaminación del ambiente. La mencionada ley garantiza el ejercicio del derecho ambiental, manteniendo su equilibrio y adecuado desarrollo. Asimismo, la ley asegura un desarrollo con sostenibilidad.

Ley N°29338 - Ley de Recursos Hídricos.

Regula la gestión y uso de las aguas subterráneas, continentales y superficiales. Además, ayuda a proteger y conservar las partes más altas de las cuencas de acuerdo a su grado de vulnerabilidad. Los principios más relevantes que rigen la ley son: la sostenibilidad, valoración del agua y la participación activa de las personas.

Decreto Supremo N°001-2010-MINAGRI – Reglamento de ley de Recursos Hídricos.

Ley de aplicación obligatoria para organismos municipales, regionales y nacionales que posean la autorización para la administración y gestión del recurso hídrico.

Decreto Supremo N°004-2017-MINAM – Aprueban ECA para agua.

Este conjunto de normas modifica y eliminan algunas subcategorías, parámetros, categorías y valores de los ECA, definiendo su permanencia.

Decreto Supremo N°003-2010-MINAM – Aprueban los LMP para los efluentes de plantas de tratamientos residuales domésticas o municipales.

Tratándose de las emisiones, se establecen límites máximos permitidos o LMP que, constituyen la cantidad máxima de sustancias, factores físicos o elementos biológicos y químicos que perjudican a los ecosistemas y personas. El MINAM y el Sistema de Gestión Medioambiental poseen facultades para velar por el cumplimiento de sus normas.

3.3. Definición de términos

Aguas Residuales.

Son aguas que fueron alteradas o afectadas negativamente por el uso del ser humano y necesitan ser tratado para retornar al medio ambiente. OEFA (2014)

Límites máximos permisibles (LMP).

Es la normativa que mide en el lugar de emisión o de descarga de efluentes, donde se acumulan las sustancias que superan los niveles fijados por los LMP que pueden presentar riesgos a la salud y al ecosistema. MINAM (2010)

Amperaje.

Mide la cantidad de electrones que se desplazan a través de un circuito eléctrico, por tanto un amperaje alto indica que existen gran número de electrones fluyendo por el circuito Electro, (2023).

Electrodos.

Son placas de metal que, al estar conectado a la energía eléctrica, actúan como reactivos en el proceso de electrocoagulación, y al ser inmersas en agua, producen iones en disolución.

Iones.

Se trata de átomos que al ganar o perder electrones, adquieren carga eléctrica (WordReference, 2023).

Multiparámetro.

Instrumento que sirve para medir diferentes parámetros como, el de turbidez, oxígeno disuelto, conductividad, pH, temperatura, etc. Quimicompany sas, (2021).

pH – metro.

Es un instrumento que permite cuantificar la acidez o la alcalinidad del agua, mide el movimiento del ion hidrógeno en sustancias líquidas. (Laboratorio Agroambiental, 2023).

Sedimentación.

Proceso por el cual las partículas grandes se depositan en la base debido a la gravedad en una cantidad de tiempo adecuada para posteriormente removerlas. (Mihelcic & Zimmerman, 2012).

Remoción.

Es el proceso en el que se separa las partículas para eliminar los contaminantes patógenos del agua a tratar. Este procedimiento es fundamental para asegurar la calidad y la seguridad de las aguas. Ingeniería, (2021)

Oxidación.

La oxidación es el proceso mediante el cual un átomo, una molécula, un conjunto de átomos o un conjunto de moléculas pierde electrones Albarrán (2008)

Reducción.

Ganancia de electrones por parte de un átomo, moléculas, un conjunto de átomos o un conjunto de moléculas Albarrán (2008).

IV: Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

De acuerdo a Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), la presente investigación corresponde al enfoque cuantitativo, aplicado y experimental, ya que se empleará el método de electrocoagulación como variable independiente para generar el efecto deseado en la variable dependiente, que en este contexto sería el tratamiento de aguas residuales del centro de población Quebrada Honda, ubicado en el Distrito de Yanatile, en la región de Cusco.

Para Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), esta investigación corresponde al nivel explicativo, donde se manipula la variable independiente y se evalúa la dependiente, a través de la observación y indicadores para determinar la causa o el efecto del tratamiento. En este estudio, se evaluará la eficacia del método de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales provenientes del centro poblacional Quebrada Honda, Distrito de Yanatile- Cusco.

Según Hernández-Sampieri & Mendoza (2018), el diseño para este estudio esta investigación se encuentra en el contexto experimental, con un diseño de pre - test y post -test con un solo grupo. En este contexto, se emplea el pretest para obtener datos de la muestra utilizada en el estudio, y de esta manera se estaría controlando el efecto del tratamiento aplicado.

La ejecución de este estudio se realizará en tres pasos a seguir:

Primero: El pre-test se utilizó para realizar una evaluación anticipada de la variable dependiente a analizar.

Segundo: Aplicación de la variable independiente o experimental "X" en la muestra "Y"

Tercero: Una nueva medición de la variable dependiente en la muestra que vendría a ser el post-test. Por lo tanto, según el autor, el esquema se muestra de la siguiente manera:

GE: O1..... X.....Q2

Leyenda:

GE: grupo experimental

O1: Pretest (DQO, DBO₅, pH, T)

X: aplicación del método de electrocoagulación

Q2: Post test (DQO, DBO₅, pH, T)

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Temporal

El presente estudio se realizó desde el mes de enero hasta el mes de noviembre del 2024.

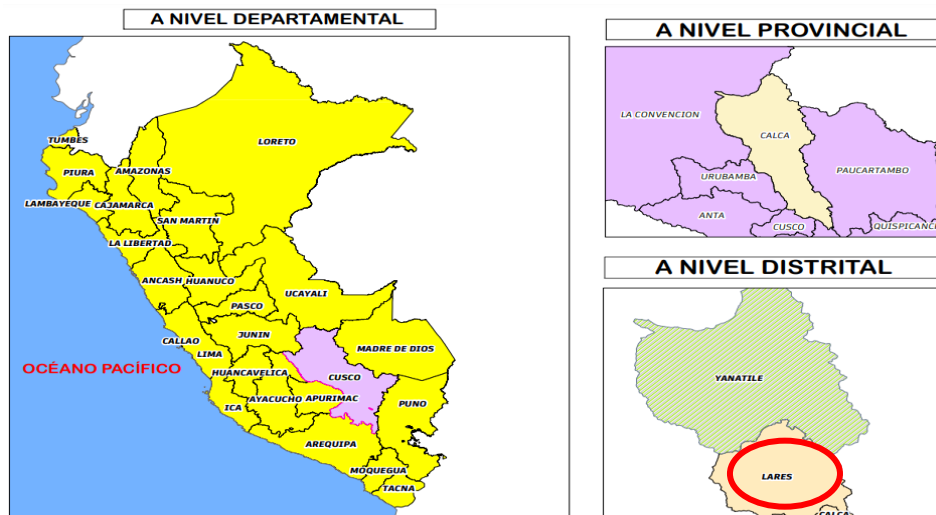
4.2.2. Espacial

El presente estudio se realizó en el centro poblado Quebrada Honda, así como detalla según la ubicación geográfica:

- Región : Cusco
- Provincia : Calca
- Distrito : Yanatile

Figura 3

Mapa de ubicación de la investigación.



Fuente: Elaboración propia Aplicado en ArcGIS 10.5.

Figura 4

Mapa de ubicación del centro poblado Quebrada Honda



Fuente: Elaboración propia en Google Earth pro 2022.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población:

La población está determinada por un caudal de 8.5 l/s de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda del Distrito de Yanatile.

Para determinar el caudal, se empleó la siguiente fórmula matemática:

$$Q = V/T$$

$$Q_{pA} = (10.77 + 9.71 + 8.81 + 7.98) / 4 = 9.32 \text{ L/s}$$

$$Q_{pS} = (7.79 + 7.78 + 7.51 + 7.31) / 4 = 7.60 \text{ L/s}$$

$$Q_T = (Q_{pA} + Q_{pS}) / 2$$

$$Q_T = (9.32 \text{ L/s} + 7.60 \text{ L/s}) / 2$$

$$Q_T = 8.46 \text{ L/s}$$

Donde:

QT : Caudal Total

QpA: Caudal promedio del mes de abril

QpS: Caudal promedio del mes de septiembre

Tabla 3*Medición del Caudal*

		Caudal				
Mes	Und	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Promedio de caudal
Abril	L/s	10.77	9.71	8.81	7.98	9.32
Septiembre	L/s	7.79	7.78	7.51	7.31	7.60
Total						8.46

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 3 se determinó el caudal durante los meses de abril y septiembre.

En el mes de abril, se observa que en la primera semana se registra un caudal de 10.77 l/s, en la segunda semana se registra un caudal de 9.71 l/s, en la tercera semana se registra un caudal de 8.81 l/s, en la cuarta semana se registra un caudal de 7.98 l/s y con un promedio final de 9.32 l/s.

En el mes de septiembre, se observa que en la primera semana se registra un caudal de 7.79 l/s, en la segunda semana se registra un caudal de 7.78 l/s, en la tercera semana se registra un caudal de 7.51 l/s, en la cuarta semana se registra un caudal de 7.31 l/s y con un promedio de 7.60 l/s.

4.3.2. Muestra:

Para llevar a cabo el procedimiento experimental, se emplearon 3 litros de agua residual por ensayo para cada una de las etapas de tratamiento mediante el método de electrocoagulación, realizando un total de 4 repeticiones mensuales y teniendo en cuenta los periodos de lluvias y de sequías, los cuales son considerados los meses de abril y septiembre. En total se llevaron a cabo 8 repeticiones a lo largo de los dos meses.

La celda de electrocoagulación está diseñado a reducida escala, especialmente para tratar 3 litros de agua residual, así como indica en los estudios anteriores diseñados de la misma capacidad Soncco Quispe (2017).

Tabla 4*Esquematización de la toma de muestra en el mes de abril*

Muestra recogida			
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
27litros	27litros	27litros	27litros
Total: 108 litros			

Fuente: Elaboración propia**Tabla 5***Esquematización de la toma de muestra en el mes de septiembre*

Muestra recogida			
Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
27litros	27litros	27litros	27litros
Total: 108 litros			

Fuente: Elaboración propia

Como se ilustra en la tabla 4 se recogió semanalmente 27 litros de agua residual y un total de 108 litros, provenientes del centro poblado quebrada honda, se aplico el mismo procedimiento para la tabla 5.

La muestra recogida tiene procedencia de aguas residuales domesticas del centro poblado Quebrada Honda, que tiene un vertimiento directo a una fuente hidrica, por lo tanto se opto por tomar la muestra de ese punto que seria del vertimiento final, siendo el unico acceso del lugar para la toma de la muestra. Por esta razón se considero un solo punto de monitoreo con las siguientes coordenadas :

- 📍 Coordenadas UTM : WGS84
- Este : 79538.69
 - Norte : 85963.39
 - Altitud : 1095 m.s.n.m

Para la respectiva toma de muestra se realizó tomando en consideración lo indicado en el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, establecido por el Ministerio de Vivienda,

Construcción y Saneamiento que ha sido aprobado por el D.S. N° 003-2010-MINAM siguiendo los proceso como indica en el presente protocolo de monitoreo.

4.4. Instrumentos

Es una herramienta especializada y altamente específica utilizada de manera habitual para recopilar, organizar y analizar detalladamente la información relevante en el complejo y minucioso proceso de investigación. Estos instrumentos de evaluación pueden incluir una variedad de herramientas, como fichas de observación y cotejo, cuestionarios detallados, escalas de medición precisas, fichas de entrevistas estructuradas exhaustivas y pruebas estandarizadas reconocidas a nivel internacional Miguel & otros, (2023)

A. Fichas de recolección de datos

Se empleo un documento emitido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, del protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, que ha sido aprobado por el D.S. N° 003-2010-MINAM donde se consideraron los siguientes anexos:

- **(Anexo I)** Ubicación del Punto de Monitoreo
- **(Anexo IV)** Registro de Datos de Campo
- **(Anexo V)** Etiqueta para Muestra de Agua
- **(Anexo VI)** Cadena de Custodia

B. Reportes de laboratorio (Laboratorio Louis Pasteur)

Se utilizo el reporte brindado por el laboratorio Louis Pasteur, donde precisa los resultados de los parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO, PH, TEMPERATURA). Estos fueron obtenidos de las muestras tratadas por el proceso de electrocoagulación de las aguas residuales.

C. Reportes de laboratorio fisicoquímico de agua (Laboratorio fisicoquímico de aguas de la escuela profesional de ingeniería ambiental y recursos naturales - UTEA)

También se utilizó el reporte presentado por el laboratorio de fisicoquímico de aguas de la escuela profesional de ingeniería ambiental y recursos naturales – UTEA. Se alcanzaron los resultados de parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO, PH, TEMPERATURA) tras el proceso de tratamiento llevado a cabo mediante el método de electrocoagulación en las aguas residuales.

D. Ficha de laboratorio

Se procedió a registrar minuciosamente todos los datos recopilados durante los experimentos realizados antes y después del tratamiento por electrocoagulación en las muestras de aguas residuales.

4.4.1. Materiales y equipos para la investigación

Los materiales y equipos utilizados en la presente investigación, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 6

Materiales y equipos para la investigación.

Materiales e equipos	
Materiales	Frasco de polietileno de 100 ml, frasco de polietileno de 1000 ml, frasco de polietileno de 250 ml, Probetas, Embudo, Pipeta, 6 unidades de vaso precipitado de 600 ml, 4 unidades de vaso precipitado de 200 ml, 6 unidades electrodo de aluminio y 6 unidades de acero inoxidable, Cable tipo cocodrilo negativo y positivo, cooler grande, dos baldes de 20 litros.
Equipos	GPS, Cámara fotográfica, Cronometro, Celda de electrocoagulación, fuente de poder, Colorímetro HACH-DR900, VELP SCIENTIFICA, pHmetro HANNA Edge, laptop para el trabajo de gabinete.
Indumentaria de protección	Cascos de protección, Mandil blanco, lentes de seguridad, mascarillas, guantes de látex y botas de jebe.
Otros	Plumones indelebles, lapicero, libreta de campo.

Fuente: Elaboración propia

Equipos de laboratorio

- Velp Scientifica: Para medir el DBO₅
- Colorímetro portátil DR-900: para medir el DQO
- PHmetro HANNA Edge: Para medir el pH, Temperatura.
- Multímetro: Para medir Intensidad de corriente.

4.5 Descripción del procedimiento

4.5.1. Equipos de electrocoagulación

4.5.1.1. Celda electrocoagulación.

La celda de electrocoagulación fue diseñada especialmente para tratar 3 litros de agua residual. El material seleccionado para el experimento fue un vidrio transparente con un espesor de 6 milímetros, lo cual facilitó la visualización detallada del impacto del proceso físico-químico.

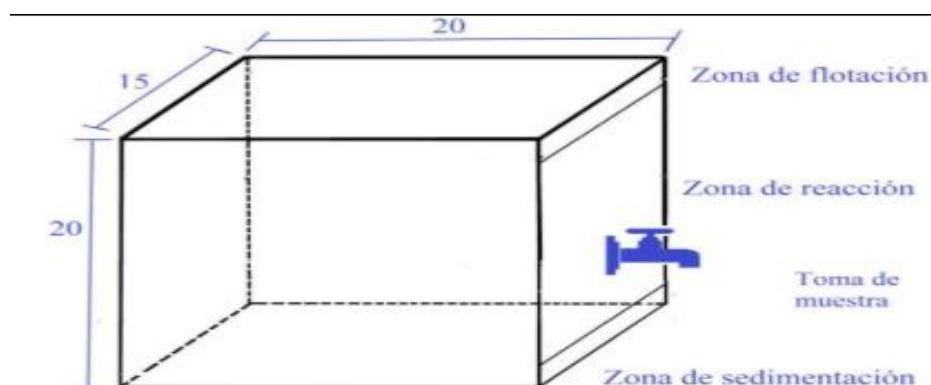
Para el eficaz tratamiento de aguas residuales a través del innovador método de electrocoagulación, se ha desarrollado un sofisticado sistema de distribución volumétrica que contempla detalladamente tres áreas fundamentales: en primer lugar, se destina una amplia zona superior destinada al almacenamiento de lodos de flotación, así como de lodos menos densos y espumas, la cual es comúnmente identificada como la zona de flotación; en segundo lugar, se establece una extensa zona intermedia destinada a las cruciales reacciones electroquímicas, conocida como la zona de reacción, donde se ubican estratégicamente los electrodos para llevar a cabo el proceso de tratamiento; por último, se reserva una espaciosa zona inferior, denominada la zona de sedimentación, donde se efectúa la deposición de los lodos de precipitación o lodos de mayor densidad, completando así de manera integral el proceso de purificación de las aguas residuales. Arango A & Garces G (2007).

- ❖ **Zona de reacción:** Donde están sumergidos los electrodos y se produce el proceso de electrocoagulación.
- ❖ **Zona de Sedimentación:** Donde precipitan los lodos sedimentables.
- ❖ **Zona de Flotación:** Donde se acumulan los lodos producto de la flotación.

Así como se muestra en la figura 6 el de la celda de forma rectangular, cuyas dimensiones son las siguientes: largo =20cm, ancho =15 cm, altura =20 cm, con un caño para extraer el agua tratada, también considerado como toma de muestra.

Figura 5

Diseño de la celda de electrocoagulación



Fuente: *Miriam Deysi (2017)*

4.5.1.2. Electroodos

Los electrodos empleados en este experimento han sido de aluminio y acero inoxidable, materiales que desempeñan un papel fundamental en el desarrollo del proceso de electrocoagulación utilizada en el tratamiento de aguas residuales. Las dimensiones para ambos electrodos son las siguientes: largo = 15 cm, ancho = 13 cm y grosor = 0,3 cm, con una distancia entre las placas de 0,2 cm Soncco Quispe (2017).

En el desarrollo de la presente investigación, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de los estudios anteriores y también se indagaron las diversas tiendas especializadas en las que se pudo encontrar los electrodos necesarios para llevar a cabo nuestro estudio. Posteriormente, se identificó estos electrodos de acero inoxidable y aluminio, ya que fueron fáciles de adquirir en el mercado y presentan una mayor eficiencia en el proceso de electrocoagulación, especialmente en la purificación de aguas residuales. Asimismo, cabe destacar que permiten trabajar con gran facilidad con distintos niveles de corriente eléctrica continua. Además, es importante mencionar que estos electrodos, como el acero inoxidable y el aluminio, no suelen experimentar desgastes significativos durante el proceso de electrocoagulación

4.5.1.3. Fuente de poder.

Según Velasquez F (2017) La fuente de energía se utiliza para suministrar corriente continua, lo que resulta crucial para inducir y sostener reacciones electroquímicas en la celda. Entonces, la fuente cambia según las condiciones operativas, empleando medidores digitales para el voltaje y amperaje, La fuente de alimentación utilizada en este caso tiene una amplia capacidad de suministro, abarcando desde 0 hasta 30 voltios y de 0 a 5 amperios. Dicho análisis experimental se llevó a cabo evaluando dos niveles de corriente eléctrica, específicamente 3 Amperios y 5 Amperios, con el propósito de determinar cuál de estos dos niveles resulta ser más eficaz en el proceso de tratamiento.

4.5.2. Procedimiento por electrocoagulación

El procedimiento para el tratamiento de aguas residuales mediante el método de electrocoagulación, se realizó en el laboratorio de Ingeniería ambiental recursos naturales de la Universidad Tecnológica de los Andes Filial Cusco. Se procede a llenar agua residual a la celda electrocoagulador con capacidad de 3 litros, con una jarra de 300 ml. Posteriormente, se introducen con precaución las 6 unidades de placas electrodos de aluminio de forma paralela, los cuales cuentan con un soporte de plástico en la base para prevenir cualquier posible impacto entre el vidrio y los electrodos. Los electrodos fueron conectados a una fuente de poder que produjo la energía eléctrica necesaria para llevar a cabo el proceso de electrocoagulación.

Igualmente, se sigue el mismo procedimiento con los electrodos de acero inoxidable, colocando las 6 placas de manera paralela sobre un soporte de base de plástico, en una etapa posterior del proceso. Los electrodos fueron cuidadosamente conectados a una fuente de poder especializada que generó la energía eléctrica requerida para llevar a cabo de manera eficiente y efectiva el proceso de electrocoagulación.

Tabla 7

Procedimiento de tiempos y amperios empleados en la electrocoagulación

N° Ensayo	Tiempo (minutos)	Intensidad de corriente (Amperio)	Electrodos
1	15 min	3A	Acero inoxidable
2	30 min		Acero inoxidable
3	15 min	5A	Acero inoxidable
4	30 min		Acero inoxidable
5	15 min	3A	Aluminio
6	30 min		Aluminio
7	15 min	5A	Aluminio
8	30 min		Aluminio

Fuente: *Elaboración propia*

Nota: *En la siguiente tabla 7 se presenta los procedimientos de tiempo y amperio de la intensidad de corriente y con los respectivos electrodos empleado mediante el método de electrocoagulación, que fueron repetidos una vez por semana durante un mes.*

Se realizó un total de 8 ensayos por semana, de los cuales 4 fueron con el electrodo de acero inoxidable y los otros 4 fueron con el electrodo de aluminio. Así como detalla en la tabla 4, el ensayo 1 y 2 se realizó en un tiempo de 15 minutos y 30 minutos con una intensidad de corriente de 3 amperio con electrodo de acero inoxidable; el ensayo 3 y 4 se realizó en un tiempo de 15 minutos y 30 minutos con una intensidad de corriente de 5 amperio con electrodo de acero inoxidable. El mismo procedimiento se aplicó para el ensayo 5, 6, 7, y 8 con el electrodo de aluminio,

4.5.3. Tiempo de tratamiento.

Según (Hernández Flórez, 2019), el tiempo de reacción es una variable fundamental que ejerce una influencia determinante en el proceso de electrocoagulación. A medida que se incrementa la duración de este período, se observa un aumento proporcional en la generación y sedimentación de flóculos. Cualquier mínima modificación en esta variable puede llevar consecuencias de gran relevancia en lo que respecta a la eficacia en la eliminación de los agentes contaminantes presentes en el medio.

En el transcurso de la presente investigación, se llevó a cabo un exhaustivo análisis de los tiempos mediante pruebas preliminares entre (10 minutos, 15 minutos, 20 minutos, 25 minutos, 30 minutos). El objetivo fue determinar cuál de estos resultaba más idóneo para la aplicación del tratamiento mediante el método de electrocoagulación. Tras la obtención de los resultados correspondientes, se pudo determinar que los tiempos óptimos para proceder de manera definitiva fueron de 15 y 30 minutos. Estos hallazgos resultan fundamentales para el desarrollo de la presente investigación.

4.5.4. Procedimiento de medición de los Parámetros Fisicoquímicos

✓ **Medición de PH y TEMPERATURA**

Se midió el potencial de hidrogeno con el equipo pHmetro **HANNA** Edge. Se verifico que el equipo estaba calibrado y en un buen estado y luego se procedió a esterilizar el electrodo con agua destilada para suprimir residuos de usos previos. Después se sumergió el electrodo a la muestra en un vaso precipitado de 200 ml, y en unos minutos se obtuvieron los resultados de pH y temperatura. Finalmente se enjuago el electrodo con agua destilada para el próximo ensayo.

✓ **Medición de Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Se utilizó el equipo Colorímetro **HACH-DR900**, se verifico que el equipo este calibrado, cabe precisar que el equipo viene con dos frascos de 10 ml el primer frasco es para poner agua destilada para que el equipo pueda conocer las propiedades del agua que se va a analizar y el segundo frasco de 10 ml es para realizar la muestra correspondiente. Finalmente nos detalla los resultados del parámetro del DQO.

✓ **Medición de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)**

El equipo DBO Sensor Sistema **VELP SCIENTIFICA** incluye los siguientes:

Sensor D.B.O, Batería de Litio tipo CR2430, Varilla agitadora 6x35 mm, Alkali holder, Botella de vidrio topacio, 500 ml.

En primer lugar, se rotulo las botellas de vidrio para identificar las muestras con electrodo de aluminio y acero inoxidable.

Luego se procedió a analizar la Demanda Biológica de Oxígeno, se colocó un volumen total de 400 ml de agua en la botella de vidrio topacio a una escala de 90 mg O₂/l, posteriormente se introdujo la pastilla magnética de manera cuidadosa, se añadió el hidróxido de sodio 98% posteriormente se colocó con el sensor del DBO₅. Se llevó a la incubadora a una temperatura de 20°C por 5 días y se realizó la medición para obtener los datos.

4.5.5. Procedimiento estadístico

Una vez concluido el periodo de investigación de campo y gabinete, se llevó a cabo el análisis e interpretación de los datos recopilados. Los datos fueron organizados en tablas utilizando Microsoft Excel, donde también se generaron gráficos para su mejor visualización.

Para realizar una prueba de comparación de medias, primero se llevó a cabo una prueba de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilk. Este test estadístico permite determinar si una muestra de datos sigue una distribución normal, lo cual es crucial en estadística inferencial, ya que muchas técnicas, como el ANOVA, suponen que los datos son normales.

Para identificar diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software estadístico SPSS 24. Si este análisis indica la existencia de diferencias significativas entre las medias, se procederá a realizar la prueba de comparación de medias de Tukey. Este método estadístico se utiliza para llevar a cabo comparaciones múltiples entre las medias de diferentes grupos dentro del contexto del ANOVA.

4.5.6. Validación y confiabilidad del instrumento

Para la validación de instrumento se consideraron dos profesionales y expertos en el tema, con el propósito de dar su confiabilidad de la metodología que se emplea en la presente investigación.

Así mismo, los expertos evaluaron la matriz de consistencia y la ficha de observación. Posterior a ello se presentó en la tabla 5 la calificación por los expertos de acuerdo a la evaluación que realizaron.

Tabla 8*Validación de instrumento por los expertos*

N°	Nombres y Apellidos	Promedio de valoración
1	Mg. Walter Florencio, Choquevillca Lira	75%
2	Mg. Paul, Segura Delgado	90%
Promedio total		85%

*Fuente: Elaboración propia***4.6. Análisis de datos**

El análisis de la información estadística se desarrolló con el programa Excel. Una vez sistematizada la información se pasaron los datos al estadístico SPSS 24, ANOVA. La información fue procesada en tablas y gráficos y se llevó a cabo la interpretación mediante la estadística descriptiva e inferencial.

- **Prueba de TUKEY:** Para el análisis comparación múltiple de medias
- **Prueba de ANOVA:** Para la prueba de hipótesis

4.7. Consideraciones éticas.

La presente investigación se realizó dentro del marco normativo de la ética en la investigación, respetando la confidencialidad, los lineamientos de la universidad en el aspecto ético, y cumpliendo con todos los protocolos de investigación en cuanto al anti plagio y la rigurosidad de todo el proceso metodológico en la redacción de este estudio.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Resultados generales antes del tratamiento por electrocoagulación.

Tabla 9

Concentraciones iniciales del mes de abril.

Parámetros	Und	Repeticiones del mes de abril por semana				Promedio	LMP D.S. N° 003– 2010 MINAM
		1	2	3	4		
DQO	mg/L	166.06	166	165	167	166.015	200
DBO ₅	mg/L	82.45	83.57	82.01	84.01	83.01	100
PH	pH	7.7	7.7	9	10	8.6	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	19.8	17.8	25.13	25.87	22.15	<35

Fuente: Elaboración propia

Análisis e interpretación

Los resultados del mes abril muestran que la DQO y la DBO₅ presentan poca variabilidad, con promedios de 166.015 mg/L y 83.01 mg/L respectivamente, ambos dentro de los límites máximos permitidos. Sin embargo, el pH presenta mayor variabilidad, con un promedio de 8.6 que supera ligeramente el límite máximo de 8.5, lo que indica fluctuaciones que deben controlarse. La temperatura, aunque variable, se mantiene dentro del rango permitido con un promedio de 22.15°C, bien por debajo del límite de 35°C. En general, los parámetros son estables, excepto por el pH, que requiere mayor atención.

Tabla 10

Concentraciones iniciales del mes de septiembre

Parámetros	Und	Repeticiones del mes de septiembre por semana				Promedio	LMP D.S. N° 003–2010– MINAM
		1	2	3	4		
DQO	mg/L	368	293	331.5	329.5	330.5	200
DBO ₅	mg/L	108.27	106.87	108.57	106.57	107.57	100
PH	pH	7.74	7.44	11.53	12.47	9.795	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	17.7	16.1	27.14	28.86	22.45	<35

Fuente: Elaboración propia

Análisis e interpretación

En el mes de septiembre, se observa que la DQO tiene una gran variabilidad, con un promedio de 330.5 mg/L, lo que excede el límite máximo permitido de 200 mg/L, lo que podría indicar una alta carga orgánica. La DBO₅ también muestra valores variables con un promedio de 107.57 mg/L, superando el límite de 100 mg/L, lo que sugiere un nivel elevado de contaminación biológica. El pH presenta una gran variabilidad, con un promedio de 9.795, muy por encima del límite permitido de 8.5, lo que indica un entorno altamente alcalino que requiere atención urgente. Por otro lado, la temperatura se mantiene relativamente estable, con un promedio de 22.45°C, dentro del límite de 35°C, lo que no representa un problema. En general, los parámetros clave como la DQO, la DBO₅ y el pH están fuera de los límites permisibles, lo que podría tener implicaciones negativas para la calidad del agua.

5.1.2. Resultados generales después del tratamiento por electrocoagulación.

Según Velásquez Flores, (2017) Para hallar la eficiencia de los tratamientos de aguas residuales tratadas se utilizó la siguiente ecuación:

$$Ef(\%) = \frac{Ci - Cf}{Ci} * 100$$

Nota:

Ef = eficiencia en %

Ci = concentración inicial de los indicadores

Cf = concentración final de los indicadores

Tabla 11

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 15min/3amp en el mes de abril.

Post tratamiento con electrodo de acero inoxidable – 15 min/3 amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003– 2010– MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	16	15	14.5	16.5	15.5	90.663	200
DBO ₅	mg/L	10.1	10.01	11.055	9.055	10.055	87.887	100
PH	pH	7.65	7.71	8.68	6.68	7.68	10.697	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	19.3	20.4	18.85	20.85	19.85	9.360	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 11, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable durante 15 minutos y 3 amperios, resultando en concentraciones promedio de 15.5 mg/L para la DQO y 10.055 mg/L para la DBO₅, lo que indica una baja carga de materia orgánica y una eficiencia de reducción del 90.66% y 87.89%, respectivamente, ambas por debajo de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. El pH promedio fue de 7.68, dentro del rango aceptable de 6.5 a 8.5, aunque se observó un valor elevado de 8.68 en la tercera semana, lo que podría señalar una tendencia hacia la alcalinidad; la eficiencia en este caso fue del 10.70%. La temperatura promedio de 19.85 °C también se mantuvo por debajo del límite máximo de 35 °C, lo que sugiere que el tratamiento no afecta negativamente a la temperatura del agua y es ambientalmente amigable. En general, el tratamiento mostró eficacia significativa en la mejora de la calidad del agua tratada.

Tabla 12

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 30min/3amp en el mes de abril.

Post tratamiento con electrodo de acero inoxidable 30 min/3 amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003– 2010– MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	6.4	11	7.7	9.7	8.7	94.759	200
DBO ₅	mg/L	3.1	3.8	2.45	4.45	3.45	95.843	100
PH	pH	7.9	7.68	8.79	6.79	7.79	9.418	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	19.3	21.8	21.55	19.5 5	20.55	6.164	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 12, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable durante 30 minutos y a 3 amperios resultando en una notable mejora en la calidad del agua, con una DQO promedio de 8.7 mg/L y una DBO₅ promedio de 3.45 mg/L, ambas significativamente por debajo de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L y 100 mg/L, respectivamente, lo que indica una eficiencia de reducción del 94.76% y 95.84%. El pH promedio se mantuvo en 7.79, dentro del rango aceptable de 6.5 a 8.5, aunque se observó un valor elevado de 8.79 en la tercera semana, lo que sugiere una leve tendencia hacia la alcalinidad, con una eficiencia del 9.42%. La temperatura promedio de 20.55 °C también estuvo por debajo del límite máximo de 35 °C, indicando que el proceso no afectó negativamente a este parámetro y es ambientalmente adecuado. En general, el tratamiento demostró ser altamente efectivo en la mejora de la calidad del agua tratada.

Tabla 13

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 15min/5amp en el mes de abril.

Post tratamiento con electrodo de acero inoxidable 15 min/5 amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003-2010-MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	25.6	23	25.3	23.3	24.3	85.36276842	200
DBO ₅	mg/L	12.0 5	12.2 3	13.1 4	11.1 4	12.14	85.37525599	100
PH	pH	7.3	8.4	8.85	6.85	7.85	8.720930233	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	19.3	19.9	20.6	18.6	19.6	10.50228311	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 13, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable durante 15 minutos y a 5 amperios resultó en un promedio de DQO de 24.3 mg/L y una DBO₅ de 12.14 mg/L, lo que refleja una reducción del 85.36% y 85.38%, respectivamente, manteniéndose ambas concentraciones muy por debajo de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅, aunque la eficiencia es menor en comparación con tratamientos anteriores. El pH promedio fue de 7.85, ligeramente por encima del rango aceptable de 6.5 a 8.5, con un valor máximo observado de 8.85 en la tercera semana, lo que indica una tendencia hacia la alcalinidad, y una eficiencia del 8.72%. La temperatura promedio de 19.6 °C estuvo dentro de límites seguros, por debajo del límite máximo de 35 °C, sugiriendo que el proceso no afectó negativamente este parámetro. En general, aunque el tratamiento mostró eficacia en la reducción de contaminantes, se deben considerar ajustes en el tiempo y la corriente para mejorar aún más los resultados.

Tabla 14

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 30 min/5 amp en el mes de abril.

Post tratamiento con electrodo de acero inoxidable 30 min/5 amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003-2010-MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	22.4	22	21.2	23.2	22.2	86.62771436	200
DBO ₅	mg/L	11.6 ₉	9.98	9.835	11.835	10.835	86.94735574	100
PH	pH	7.60	7.8	8.7	6.7	7.7	10.46511628	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	19.5	20.95	21.225	19.225	20.225	7.648401826	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 14, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable durante 30 minutos y a 5 amperios, resultando un promedio de DQO de 22.2 mg/L y una DBO₅ de 10.835 mg/L, reflejando eficiencias de reducción del 86.63% y 86.95%, respectivamente, lo que indica un buen desempeño en la remoción de biomasa, con ambas concentraciones por debajo de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. El pH promedio fue de 7.7, ligeramente dentro del rango aceptable de 6.5 a 8.5, aunque se observó un valor de 8.7 en la tercera semana, lo que sugiere una tendencia hacia la alcalinidad, y una eficiencia del 10.47%. La temperatura promedio de 20.23 °C se mantuvo por debajo del límite máximo de 35 °C, indicando que el proceso no tuvo un impacto negativo en este parámetro. En general, el tratamiento mostró una eficacia significativa en la mejora de la calidad del agua, aunque se podrían considerar ajustes en el tiempo y la corriente para optimizar aún más los resultados.

Tabla 15

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 15min/3amp en el mes de abril.

Post tratamiento con electrodo de aluminio 15 min/3 amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003- 2010- MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	12.77	12	13.39	13.39	12.39	92.53983074	200
DBO ₅	mg/L	7.51	7.64	8.58	8.58	7.58	90.87459342	100
PH	pH	8.05	8.27	7.16	9.16	8.16	5.11627907	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	19.9	18.36	18.13	20.13	19.13	12.64840183	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 15, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio durante 15 minutos y a 3 amperios, resultando un promedio de DQO de 12.39 mg/L y una DBO₅ de 7.58 mg/L, reflejando eficiencias de reducción del 92.54% y 90.87%, respectivamente, ambas concentraciones significativamente por debajo de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. El pH promedio fue de 8.16, ligeramente por encima del rango aceptable de 6.5 a 8.5, con un valor máximo de 9.16 en la cuarta semana, lo que indica una tendencia hacia la alcalinidad, y una eficiencia del 5.12%. La temperatura promedio de 19.13 °C se mantuvo muy por debajo del límite máximo de 35 °C, sugiriendo que el proceso no afectó negativamente este parámetro. En general, el tratamiento mostró una efectividad notable en la mejora de la calidad del agua tratada, aunque se recomienda un monitoreo continuo del pH para evitar fluctuaciones indeseadas.

Tabla 16

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 30 min/3 amp en el mes de abril.

Post tratamiento con electrodo de aluminio 30 min/3 amp								
Parámetros	Unidad de medida	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003-2010-MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	10.05	10	9.03	11.03	10.03	93.96138903	200
DBO ₅	mg/L	2.52	4.85	2.69	4.69	3.69	95.56077581	100
PH	pH	8.39	8.4	9.40	7.40	8.40	2.38372093	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	19.7	19.01	20.36	18.36	19.36	11.62100457	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 16, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio durante 30 minutos y a 3 amperios, resultando un promedio de DQO de 10.03 mg/L y una DBO₅ de 3.69 mg/L, mostrando eficiencias de reducción del 93.96% y 95.56%, respectivamente, con ambas concentraciones por debajo de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. El pH promedio fue de 8.40, ligeramente por encima del rango aceptable de 6.5 a 8.5, con un valor máximo de 9.40 en la tercera semana, lo que indica una tendencia hacia la alcalinidad, y una eficiencia del 2.38%. La temperatura promedio de 19.36 °C se mantuvo adecuadamente por debajo del límite máximo de 35 °C, sugiriendo que el proceso no impactó negativamente este parámetro. En general, el tratamiento demostró ser altamente efectivo en la mejora de la calidad del agua tratada, aunque se debe prestar atención al control del pH para asegurar que permanezca dentro de los límites óptimos.

Tabla 17

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 15 min/5 amp en el mes de abril.

Post tratamiento con electrodo de aluminio 15 Min/5 Amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003-2010- MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	19.16	18	19.58	17.58	18.58	88.808	200
DBO ₅	mg/L	9.73	8.67	10.20	8.20	9.20	88.916	100
PH	pH	9.2	9.16	8.18	7.00	8.39	2.5	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	19.8	18.01	17.91	19.91	18.91	13.675	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 17, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio durante 15 minutos y a 5 amperios, resultando un promedio de DQO de 18.58 mg/L y una DBO₅ de 9.20 mg/L, con eficiencias de reducción del 88.81% y 88.92%, respectivamente, manteniendo ambas concentraciones por debajo de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. Sin embargo, el pH promedio fue de 8.39, ligeramente elevado, con valores que alcanzaron hasta 9.2 en la primera semana, lo que indica una tendencia hacia la alcalinidad y una eficiencia de control del 2.5%. La temperatura promedio de 18.91 °C se mantuvo adecuadamente por debajo del límite máximo de 35 °C, indicando que el proceso no tuvo un impacto negativo en este parámetro. En general, el tratamiento demostró ser efectivo en la mejora de la calidad del agua tratada, aunque se debe prestar especial atención al control del pH para asegurar que se mantenga dentro de los límites óptimos.

Tabla 18

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 30 min/5 amp en el mes de abril.

Post tratamiento con electrodo de aluminio 30min/5amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedi o	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003-2010- MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	10.05	10	11.03	9.03	10.03	93.961	200
DBO ₅	mg/L	3.13	5.46	5.30	3.30	4.30	94.825	100
PH	pH	9.5	9.68	8.00	7.00	8.55	0.639	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	19.6	21.8	19.70	21.70	20.70	5.479	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 18, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio durante 30 minutos y a 5 amperios, resultando un promedio de DQO de 10.03 mg/L y una DBO₅ de 4.30 mg/L, mostrando eficiencias de reducción del 93.96% y 94.83%, respectivamente, con ambas concentraciones por debajo de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. Sin embargo, el pH promedio fue de 8.55, ligeramente por encima del rango aceptable de 6.5 a 8.5, con valores que alcanzaron hasta 9.68 en la segunda semana, indicando una tendencia hacia la alcalinidad y una eficiencia de control del 0.64%. La temperatura promedio de 20.70 °C se mantuvo por debajo del límite máximo de 35 °C, sugiriendo que el proceso no afectó negativamente este parámetro. En general, el tratamiento demostró ser altamente efectivo en la mejora de la calidad del agua tratada, aunque es esencial prestar atención al control del pH para asegurar que se mantenga dentro de los límites óptimos.

Tabla 19

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 15 min/3 amp en el mes de septiembre.

Post tratamiento con electrodo de acero inoxidable – 15 min/3 amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003-2010- MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	165	121	144	142	143	56.732	200
DBO ₅	mg/L	12.34	9.9	12.12	10.12	11.12	89.662	100
PH	pH	8.26	8.26	7.26	9.26	8.26	15.671	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	19.3	19.3	18.3	20.3	19.3	14.031	<35

Fuente: Elaboración propia

Análisis e interpretación

En la tabla 19, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable durante 15 minutos y a 3 amperios en el mes de septiembre resultando un promedio de DQO de 143 mg/L y una DBO₅ de 11.12 mg/L, mostrando una eficiencia de reducción del 56.73% para DQO y 89.66% para DBO₅, con ambas concentraciones por debajo de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. El pH promedio fue de 8.26, dentro del rango aceptable de 6.5 a 8.5, aunque con valores que alcanzaron hasta 9.26 en la cuarta semana, indicando una ligera tendencia hacia la alcalinidad y una eficiencia del 15.67%. La temperatura promedio de 19.3 °C se mantuvo bien por debajo del límite máximo de 35 °C, lo que sugiere que el proceso no afectó negativamente este parámetro. En general, aunque el tratamiento resultó efectivo para la reducción de la DBO₅, la eficiencia en la reducción de la DQO fue menor, lo que indica la necesidad de ajustes en el tiempo o intensidad del proceso para optimizar los resultados.

Tabla 20

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 30 min/3 amp en el mes de septiembre.

Post tratamiento con electrodo de acero inoxidable 30 min/3 amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003- 2010- MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	137	121	130	128	129	60.968	200
DBO ₅	mg/L	8.1	8.9	9.5	7.5	8.5	92.098	100
PH	pH	9.51	9.83	8.67	10.67	9.67	1.276	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	20.8	20.01	19.405	21.405	20.405	9.109	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 20, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable durante 30 minutos y a 3 amperios en el mes de septiembre resultando un promedio de DQO de 129 mg/L y una DBO₅ de 8.5 mg/L, con eficiencias de reducción del 60.97% para DQO y 92.10% para DBO₅, ambas concentraciones por debajo de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. Sin embargo, el pH promedio fue de 9.67, excediendo el rango aceptable de 6.5 a 8.5, con valores que alcanzaron hasta 10.67 en la cuarta semana, lo que indica una tendencia hacia la alcalinidad y una baja eficiencia de control del 1.28%. La temperatura promedio fue de 20.4 °C, adecuada y por debajo del límite máximo de 35 °C, indicando que el proceso no tuvo efectos adversos en este parámetro. En resumen, el tratamiento demostró alta efectividad en la reducción de DBO₅, aunque se recomienda ajustar las condiciones para mejorar la eficiencia de la DQO y mantener el pH dentro de los límites óptimos.

Tabla 21

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 15 min/5 amp en el mes de septiembre.

Post tratamiento con electrodo de acero inoxidable 15 min/5 amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003- 2010- MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	160	144	151	153	152	54.009	200
DBO ₅	mg/L	8.7	9.8	8.25	10.25	9.25	91.400	100
PH	pH	8.43	9.8	6.45	7.13	7.9525	18.810	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	22.01	21.01	20.34	21.7	21.265	5.278	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 21, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable durante 15 minutos y a 5 amperios en el mes de septiembre resultando un promedio de DQO de 152 mg/L y una DBO₅ de 9.25 mg/L, con eficiencias de reducción del 54.01% para DQO y 91.40% para DBO₅, manteniendo ambas concentraciones por debajo de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. El pH promedio fue de 7.95, dentro del rango aceptable de 6.5 a 8.5, aunque alcanzó un valor máximo de 9.8 en la segunda semana, reflejando una tendencia hacia la alcalinidad y una eficiencia del 18.81%. La temperatura promedio de 21.27 °C estuvo por debajo del límite máximo de 35 °C, indicando que el proceso no impactó negativamente este parámetro. En general, el tratamiento fue eficaz para reducir la DBO₅, pero la eficiencia en la reducción de la DQO fue moderada, sugiriendo que podrían considerarse ajustes en el tiempo o intensidad del tratamiento para optimizar los resultados.

Tabla 22

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable 30 min/5 amp en el mes de septiembre.

Post tratamiento con electrodo de acero inoxidable 30 min/5 amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003- 2010-MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	55	79	68	66	67	79.727	200
DBO ₅	mg/L	9.3	8.2	9.75	7.75	8.75	91.865	100
PH	pH	10.27	10.6	7.5	6.67	8.76	10.566	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	21.6	21.8	19.6	18.2	20.3	9.576	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 22, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable durante 30 minutos y a 5 amperios en septiembre resultando un promedio de DQO de 67 mg/L y una DBO₅ de 8.75 mg/L, alcanzando eficiencias de reducción del 79.73% para DQO y 91.87% para DBO₅, ambas dentro de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. Sin embargo, el pH promedio fue de 8.76, apenas fuera del rango aceptable de 6.5 a 8.5, y en la primera y segunda semana alcanzó valores de hasta 10.6, indicando una tendencia alcalina con una eficiencia de control del 10.57%. La temperatura promedio fue de 20.3 °C, adecuada y por debajo del límite máximo de 35 °C, lo que muestra que el proceso no afectó negativamente este parámetro. En general, el tratamiento demostró alta efectividad en la reducción de DQO y DBO₅, aunque es recomendable ajustar el tiempo de exposición o la intensidad para mantener el pH en el rango ideal.

Tabla 23

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 15 min/3 amp en el mes de septiembre.

Post tratamiento con electrodo de aluminio 15 min/3 amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% eficiencia	de LMP D.S. N° 003-2010-MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	175	111.2	144.1	142.1	143.10	56.701	200
DBO ₅	mg/L	3.5	7.1	6.3	4.3	5.30	95.072	100
PH	pH	8.54	8.54	7.54	9.54	8.54	12.812	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	18.07	18.07	17.07	19.07	18.07	19.510	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 23, se observa los resultados después de la aplicación del método de electrocoagulación con electrodos de aluminio durante 15 minutos y a 3 amperios en septiembre resultando en una DQO promedio de 143.10 mg/L y una DBO₅ de 5.30 mg/L, logrando eficiencias de reducción de 56.70% para DQO y 95.07% para DBO₅, manteniéndose ambas dentro de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. El pH promedio fue de 8.54, levemente fuera del rango aceptable de 6.5 a 8.5, con valores que alcanzaron hasta 9.54 en la cuarta semana, indicando una ligera tendencia alcalina y una eficiencia de control de 12.81%. La temperatura promedio se mantuvo en 18.07 °C, claramente por debajo del límite máximo de 35 °C, lo que sugiere que el proceso no generó un aumento significativo en la temperatura. En general, el tratamiento fue altamente efectivo en la reducción de DBO₅ y moderadamente efectivo en la reducción de DQO, aunque sería conveniente ajustar el método para mejorar la estabilidad del pH en el rango ideal.

Tabla 24

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 30 min/3 amp en el mes de septiembre.

Post tratamiento con electrodo de aluminio 30 min/3 amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003- 2010- MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	159	90	125.5	123.5	124.50	62.329	200
DBO ₅	mg/L	3.2	6	5.6	3.6	4.60	95.723	100
PH	pH	9.58	9.38	8.18	7.48	8.66	11.638	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	20.05	21.8	19.925	21.925	20.93	6.792	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 24, se observa los resultados después de la aplicación de electrocoagulación con electrodos de aluminio durante 30 minutos y a 3 amperios en septiembre resultando en una DQO promedio de 124.50 mg/L y una DBO₅ de 4.60 mg/L, alcanzando eficiencias de reducción de 62.33% para DQO y 95.72% para DBO₅, manteniéndose ambas en los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. El pH promedio fue de 8.66, con un rango que llegó hasta 9.58 en la primera semana, lo cual indica una ligera tendencia hacia la alcalinidad, superando el rango ideal de 6.5 a 8.5 y presentando una eficiencia de control del 11.64%. La temperatura promedio fue de 20.93 °C, manteniéndose por debajo del límite de 35 °C, indicando que el proceso no generó un incremento significativo en este parámetro. En conclusión, el método fue particularmente eficaz en la reducción de DBO₅ y moderadamente efectivo en la reducción de DQO, aunque sería beneficioso ajustar el proceso para mejorar la estabilidad del pH dentro del rango óptimo.

Tabla 25

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 15 min/5 amp en el mes de septiembre.

Post tratamiento con electrodo de aluminio 15 min/5 amp								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP D.S. N° 003- 2010- MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	180	100	141	139	140.00	57.639	200
DBO ₅	mg/L	4.9	6.5	6.7	4.7	5.70	94.701	100
PH	pH	9.41	9.03	8	7	8.36	14.650	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	21.01	21.9	20.455	22.455	21.46	4.432	<35

Fuente: Elaboración propia

Análisis e interpretación

En la tabla 25, se observa los resultados después de la aplicación de electrocoagulación con electrodos de aluminio durante 15 minutos y a 5 amperios en septiembre mostró un promedio de DQO de 140 mg/L y de DBO₅ de 5.70 mg/L, logrando eficiencias de reducción de 57.64% en DQO y 94.70% en DBO₅, ambas dentro de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L y 100 mg/L, respectivamente. El pH promedio fue de 8.36, con valores que alcanzaron hasta 9.41 en la primera semana, reflejando un desvío hacia la alcalinidad y una eficiencia de control del 14.65%, ligeramente fuera del rango óptimo de 6.5 a 8.5. La temperatura promedio se mantuvo en 21.46 °C, cumpliendo el límite permitido de 35 °C, lo cual indica que el proceso no impactó de manera significativa en este parámetro. En resumen, este método fue muy eficiente en la reducción de la DBO₅ y moderadamente efectivo en la DQO, aunque requeriría ajustes para optimizar el pH dentro del rango ideal.

Tabla 26

Concentraciones después de aplicar el método de electrocoagulación utilizando electrodos de aluminio 30 min/5 amp en el mes de septiembre.

Post tratamiento con electrodo de aluminio 30min/5am								
Parámetros	Und	Semanas				Promedio	% de eficiencia	LMP de D.S. N° 003-2010-MINAM
		1	2	3	4			
DQO	mg/L	40	40.5	41.25	39.25	40.25	87.821	200
DBO ₅	mg/L	5.4	3.2	5.3	3.3	4.30	96.002	100
PH	pH	9.46	9.37	7.5	7	8.33	14.931	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	22.4	25.4	20	18	21.45	4.454	<35

Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

En la tabla 26, se observa los resultados después de la aplicación de electrocoagulación con electrodos de aluminio durante 30 minutos a 5 amperios en septiembre arrojó un promedio de DQO de 40.25 mg/L y de DBO₅ de 4.3 mg/L, alcanzando eficiencias de reducción de 87.82% y 96.00% respectivamente, ambas dentro de los límites máximos permitidos (LMP) de 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅. El pH promedio fue de 8.33, cercano al rango ideal de 6.5 a 8.5, aunque con valores que en algunos casos superaron el límite superior, logrando una eficiencia de control de 14.93%. La temperatura promedio se mantuvo en 21.45 °C, respetando el límite de 35 °C, lo cual sugiere que el proceso mantuvo una estabilidad térmica favorable. En general, el método mostró una alta eficiencia en la reducción de la DBO₅ y la DQO, con un ligero desvío en el pH hacia valores alcalinos.

5.1.3. Resultados respecto al objetivo general

En la presente investigación se tuvo como objetivo general, determinar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda mediante el método de electrocoagulación, Distrito de Yanatile- Cusco 2024, para poder alcanzar este objetivo se plantearon las siguientes hipótesis:

Ho: No existe diferencia significativa en la eficiencia entre método de electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable y electrodo de aluminio para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda, Distrito de Yanatile- Cusco 2024.

Ha: Existe diferencia significativa en la eficiencia entre método de electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable y electrodo de aluminio para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda, Distrito de Yanatile- Cusco 2024.

Para la Prueba de Normalidad

Ho: los datos siguen una distribución normal.

Ha: los datos no siguen una distribución normal

Si el valor p (p-valor) obtenido en la prueba es menor que un nivel de significancia previamente establecido (como 0.05), se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que hay suficiente evidencia para concluir que los datos no son normales.

Tabla 27*Pruebas de normalidad*

Shapiro-Wilk	
DQO	
P-valué	A
0.1064	0.05
DBO5	
P-valué	A
0.1569	0.05
PH	
P-valué	A
0.1027	0.05
Temperatura	
P-valué	A
0.326	0.05

Fuente: *Elaboración propia*

Interpretación

Existen suficientes evidencias estadísticas para rechazar la H_0 , lo que indica que los datos sobre los parámetros DQO, DBO₅, PH y Temperatura sigue con una distribución normal. Por lo tanto, se podrá realizar un análisis ANOVA.

Tabla 28*ANOVA para el parámetro DQO*

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	P-Valor
Tratamientos	1	38.8	38.8	0.449	0.514
Meses	1	2776.1	2776.1	32.163	0.000
Residuos	13	1122.1	86.3		
Total	15	3937	262.466667		

Fuente: *Elaboración propia***Análisis e interpretación**

En la Tabla 28, se presenta un análisis ANOVA que compara los tratamientos de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable y de aluminio en relación a la eficiencia de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). El p-valor obtenido es 0.514, que es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Este resultado indica que hay suficiente evidencia estadística para no rechazar la hipótesis nula (H_0), lo que significa que no existe una diferencia significativa entre los dos tipos de tratamientos. En otras palabras, tanto el electrodo de acero inoxidable como el de aluminio son igualmente eficaces para reducir la DQO.

Por otro lado, se analizaron los datos correspondientes a los meses de abril y septiembre. El p-valor en este caso es 0.000, que es menor que el nivel de significancia de 0.05, lo que proporciona suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. Esto sugiere que existe una diferencia significativa entre los dos meses en términos de la eficiencia de los tratamientos de electrocoagulación respecto a la reducción de la DQO. Esta variabilidad entre meses podría estar influenciada por factores estacionales o condiciones diferentes en la calidad del agua, lo cual afecta la efectividad del tratamiento.

Tabla 29*ANOVA para el parámetro DBO₅*

	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	P-Valor
Tratamientos	1	58.51	58.51	7.552	0.0166
Meses	1	25.75	25.75	3.323	0.0914
Residuos	13	100.73	7.75		
Total	15	184.99	12.3326667		

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 30***Prueba de comparación de medias de Tukey*

Tratamientos	Promedios de las eficiencias	
Con Aluminio	93.96	a
Con Acero inoxidable	90.14	b

*Fuente: Elaboración propia***Análisis e interpretación**

En la tabla 29 se presenta un análisis ANOVA que evalúa la eficacia de los tratamientos de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable y aluminio en relación con la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅). El análisis muestra un p-valor de 0.0166, que es menor al nivel de significancia de 0.05, lo cual indica que hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula (H₀). Esto implica que existe una diferencia significativa entre la eficiencia de los dos tipos de electrodos en la reducción de la DBO₅, es decir, los electrodos de acero inoxidable y aluminio no son igualmente efectivos en este proceso.

Al realizar una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey, tal como se muestra en la tabla 30, se observa que el método de electrocoagulación con electrodos de aluminio es significativamente más eficaz, alcanzando una eficiencia promedio de 93.96%, mientras que el método con electrodos de acero inoxidable presenta una eficiencia promedio de 90.14%. Esto sugiere que el aluminio ofrece una mayor capacidad de tratamiento en términos de la reducción de la DBO₅.

Por otro lado, se analizan los datos correspondientes a los meses de abril y septiembre. El p-valor en este caso es 0.0914, que es mayor que el nivel de significancia de 0.05, lo que proporciona suficiente evidencia para no rechazar la hipótesis nula. Esto sugiere que no existe una diferencia significativa entre los dos meses en términos de la eficiencia de los tratamientos de electrocoagulación respecto a la reducción de la DBO₅.

Tabla 31

ANOVA para el parámetro PH

	Grados de libertad	Sumas de cuadrados	Cuadrados calculados	F calculado	P-Valor
Tratamientos	1	27.44	27.44	1.279	0.2785
Meses	1	158.86	158.86	7.403	0.0175
Residuos	13	278.97	21.46		
Total	15	465.27	31.018		

Fuente: Elaboración propia

Análisis e interpretación

En la tabla 31 se observa el análisis ANOVA del pH, el p-valor asociado a los tratamientos fue de 0.2785 la cual es mayor al nivel de significancia igual a 0.05, lo que indica que no existen diferencias significativas entre los métodos de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable y de aluminio. Esto sugiere que ambos métodos son igualmente eficientes en términos de su impacto en el pH, lo que lleva a no rechazar la hipótesis nula (H₀).

Por otro lado, el p-valor asociado a los meses fue de 0.0175, lo que indica una diferencia significativa en el pH entre los meses analizados. Este resultado sugiere que el tiempo influye en la variación del pH durante los tratamientos, lo que podría estar relacionado con factores estacionales, cambios en la calidad del agua o la acumulación de contaminantes. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar el efecto del tiempo en la evaluación de la eficiencia de los tratamientos.

Tabla 32*ANOVA para el parámetro temperatura*

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	P-Valor
Tratamientos	1	3.01	3.013	0.153	0.702
Meses	1	0.96	0.958	0.049	0.829
Residuos	13	256.62	19.74		
Total	15	260.59	17.3726667		

Fuente: *Elaboración propia***Análisis e interpretación**

En la Tabla 32, se presenta un análisis ANOVA que compara los tratamientos de electrocoagulación utilizando electrodos de acero inoxidable y de aluminio en relación a la eficiencia de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). El p-valor obtenido es 0.702, que es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Este resultado indica que hay suficiente evidencia estadística para no rechazar la hipótesis nula (H_0), lo que significa que no existe una diferencia significativa entre los dos tipos de tratamientos. En otras palabras, tanto el electrodo de acero inoxidable como el de aluminio son igualmente eficaces en relación a la temperatura.

Por otro lado, se analizaron los datos correspondientes a los meses de abril y septiembre. El p-valor en este caso es 0.829, que es mayor que el nivel de significancia de 0.05, lo que proporciona suficiente evidencia para no rechazar la hipótesis nula. Esto sugiere que no existe una diferencia significativa entre los dos meses en términos de la eficiencia de los tratamientos de electrocoagulación respecto a la temperatura.

5.1.4. Resultados respecto a los objetivos específicos

Resultado respecto al objetivo específico 1.

En la presente investigación se tiene como primer objetivo específico el de determinar la eficiencia del método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable para el tratamiento de parámetros fisicoquímicos de aguas residuales.

Tabla 33

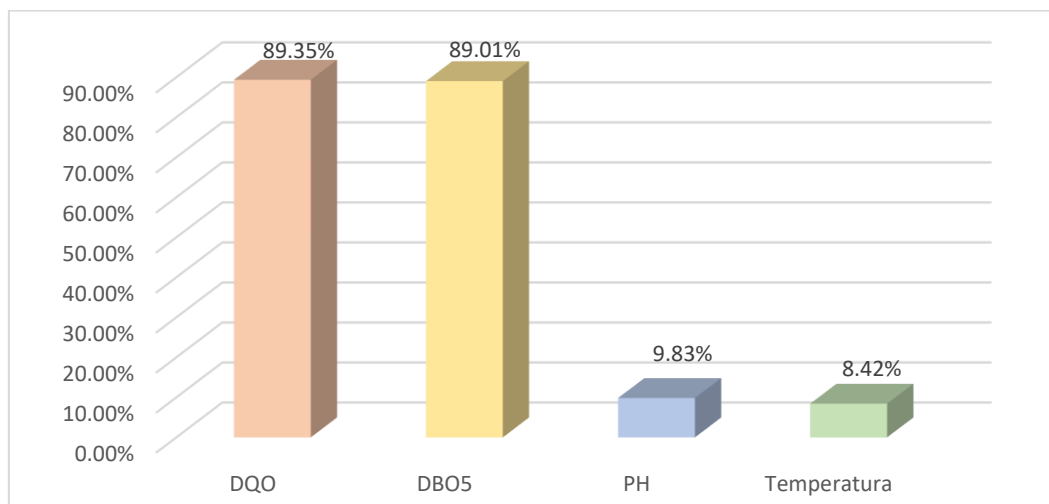
Tabla cruzada de las eficiencias utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable del mes de abril

Electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable	DQO	DBO₅	PH	Temperatura
15min/3am	90.66%	87.89%	10.70%	9.36%
30min/3am	94.76%	95.84%	9.42%	6.16%
15min/5am	85.36%	85.38%	8.72%	10.50%
30min/5am	86.63%	86.95%	10.47%	7.65%
Promedio	89.35%	89.01%	9.83%	8.42%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 6

Gráfica de las eficiencias promedio utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable del mes de abril



Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

La tabla 33 muestra que el promedio de eficiencia del método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable en abril es de 89.35% para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y 89.01% para la Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días (DBO₅), lo que indica una alta efectividad en la eliminación de materia orgánica y una mejora significativa en la calidad del agua tratada. En cuanto al pH, el promedio de eficacia es del 9.83%, lo que sugiere un impacto moderado en el ajuste del pH del agua tratada, aunque se debe tener en cuenta que este valor indica que el método no es tan efectivo para este parámetro en comparación con la reducción de contaminantes. Finalmente, la eficacia respecto a la temperatura es del 8.42%, lo que señala que el método tiene un efecto relativamente menor en este aspecto. En conjunto, estos resultados destacan la efectividad del método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable para la reducción de DQO y DBO₅, mientras que el ajuste del pH y la temperatura requieren un mayor enfoque para asegurar la calidad del agua tratada. Estos hallazgos indican la importancia del proceso de electrocoagulación para tratar las aguas residuales.

Tabla 34

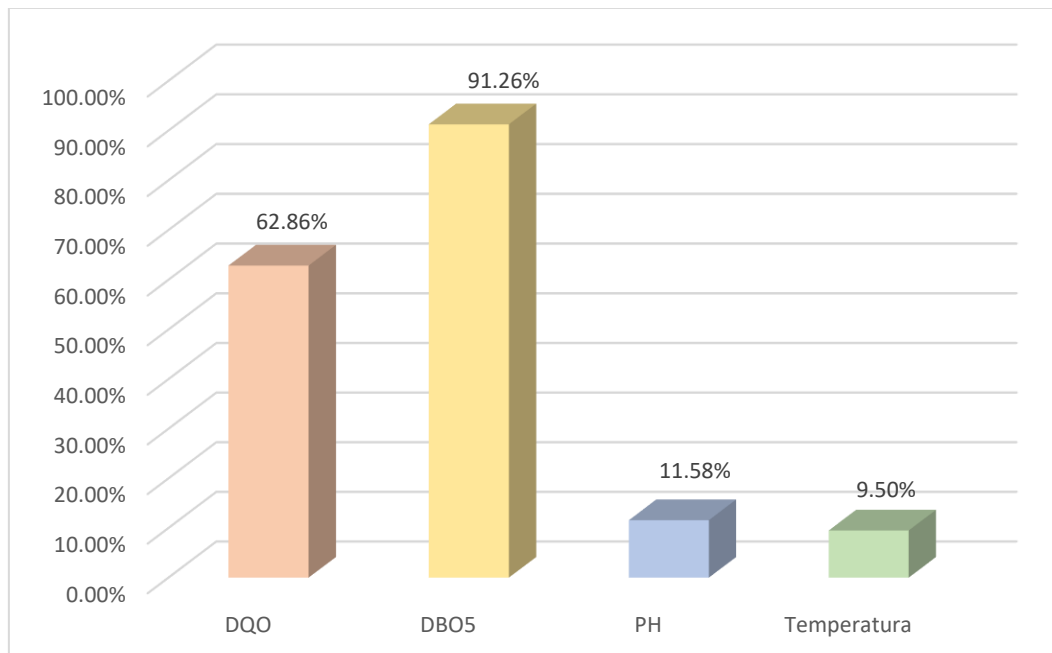
Tabla cruzada de las eficiencias utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable del mes de septiembre

Electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable	DQO	DBO₅	PH	Temperatura
15min/3am	56.73%	89.66%	15.67%	14.03%
30min/3am	60.97%	92.10%	1.28%	9.11%
15min/5am	54.01%	91.40%	18.81%	5.28%
30min/5am	79.73%	91.87%	10.57%	9.58%
Promedio	62.86%	91.26%	11.58%	9.50%

Fuente: Elaboración propia

Figura 7

Gráfica de las eficiencias promedio utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable del mes de septiembre



Fuente: Elaboración propia

Análisis e interpretación

La tabla 34 muestra que el promedio de eficiencia del método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable en septiembre es de 62.86% para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y 91.26% para la Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días (DBO₅), lo que indica que el método mantiene una eficacia considerable en la reducción de la carga orgánica, aunque la DQO es inferior a la de abril, reflejando una disminución en la capacidad para eliminar materia orgánica. En cuanto al pH, el promedio de eficacia es del 11.58%, mostrando un efecto moderado en el ajuste del pH del agua tratada, lo que podría requerir atención para evitar efectos adversos en la calidad del agua. Por último, la eficacia en relación con la temperatura es del 9.50%, lo que indica un impacto relativamente menor en este aspecto. En general, estos resultados sugieren que, a pesar de la disminución en la eficacia en la DQO en comparación con meses anteriores, el método sigue siendo efectivo en la reducción de DBO₅ y resalta la importancia de optimizar el proceso para mejorar la calidad del agua tratada. Estos hallazgos indican la importancia del proceso de electrocoagulación para lograr un tratamiento de aguas residuales más eficaz y sostenible.

Resultado respecto al objetivo específico 2.

La presente investigación tiene como segundo objetivo específico el de determinar la eficiencia del método de electrocoagulación con electrodos de aluminio para el tratamiento de parámetros fisicoquímicos de aguas residuales.

Tabla 35

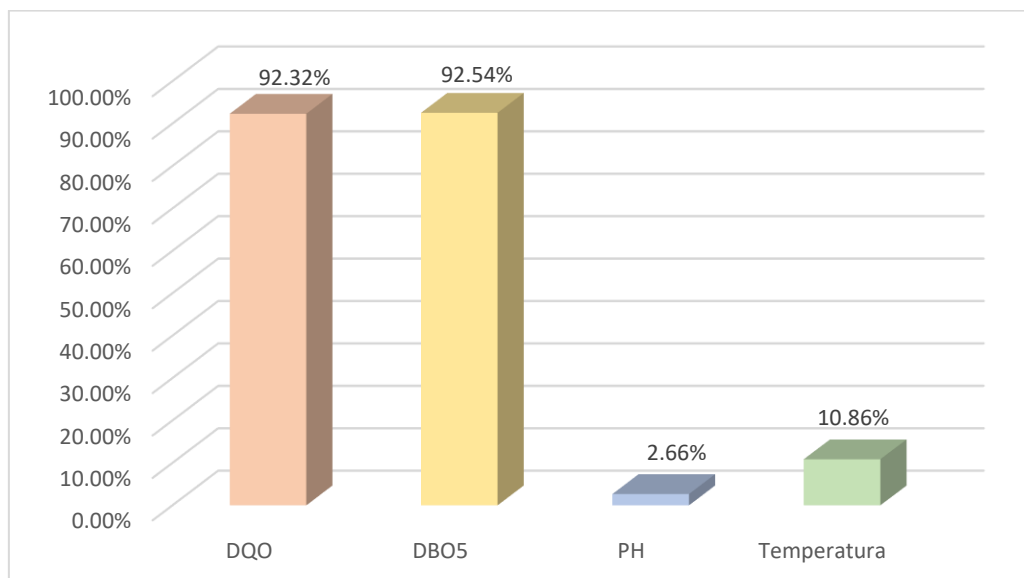
Tabla cruzada de las eficiencias utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de aluminio del mes de abril.

Electrocoagulación con electrodo de aluminio	DQO	DBO₅	PH	Temperatura
15min/3am	92.54%	90.87%	5.12%	12.65%
30minu/3am	93.96%	95.56%	2.38%	11.62%
15minu/5am	88.81%	88.92%	2.50%	13.68%
30minu/5am	93.96%	94.83%	0.64%	5.48%
Promedio	92.32%	92.54%	2.66%	10.86%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 8

Gráfica de barras de las eficiencias promedio utilizando el método de electrocoagulación con electrodo del aluminio del mes de abril



Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

La tabla 35 muestra que el promedio de eficiencia del método de electrocoagulación con electrodos de aluminio en abril es de 92.32% para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y 92.54% para la Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días (DBO₅), lo que indica una alta capacidad del método para eliminar materia orgánica y mejorar la calidad del agua tratada. Sin embargo, el promedio de eficacia respecto al pH es de solo 2.66%, lo que sugiere que el método tiene un impacto limitado en el ajuste del pH del agua, y el promedio en relación con la temperatura es de 10.86%, indicando también un efecto relativamente menor. Estos resultados resaltan la efectividad del método en la reducción de contaminantes, aunque subrayan la necesidad de prestar atención a los parámetros de pH y temperatura para garantizar una calidad óptima del agua tratada.

Tabla 36

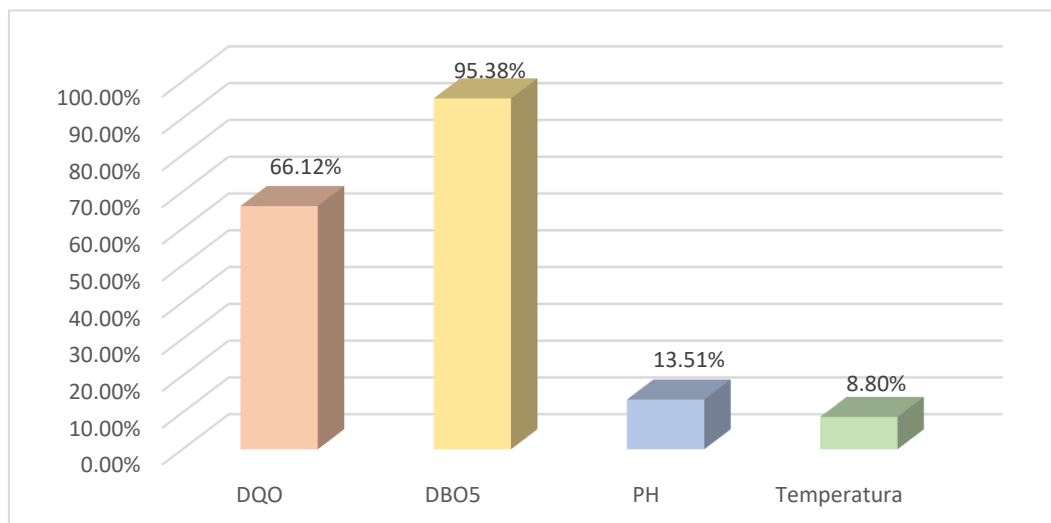
Tabla cruzada de las eficiencias utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de aluminio del mes de septiembre

Electrocoagulación con electrodo de aluminio	DQO	DBO₅	PH	Temperatura
15min/3a	56.70%	95.07%	12.81%	19.51%
30minu/3am	62.33%	95.72%	11.64%	6.79%
15minu/5am	57.64%	94.70%	14.65%	4.43%
30minu/5am	87.82%	96.00%	14.93%	4.45%
Promedio	66.12%	95.38%	13.51%	8.80%

Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Gráfica de barras de las eficiencias promedio utilizando el método de electrocoagulación con electrodo de aluminio del mes de septiembre.



Fuente: Elaboración propia

Análisis e interpretación

La tabla 36, muestra que el promedio de eficiencia del método de electrocoagulación con electrodos de aluminio en septiembre es de 66.12% para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y 95.38% para la Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días (DBO₅), lo que indica una disminución en la capacidad del método para eliminar materia orgánica en comparación con abril, aunque la eficacia en la DBO₅ sigue siendo alta, lo que sugiere que el tratamiento sigue siendo efectivo para reducir la carga orgánica biodegradable. En cuanto al pH, el promedio de eficacia es del 13.51%, mostrando un impacto moderado en el ajuste del pH del agua tratada. Finalmente, la eficacia respecto a la temperatura es de 8.80%, indicando que, al igual que en abril, el método tiene un efecto relativamente menor en este aspecto. En general, estos resultados reflejan una disminución en la eficacia del método en la reducción de la DQO, lo que destaca la necesidad de monitorear y optimizar el proceso de electrocoagulación para mejorar la calidad del agua tratada.

Resultado respecto al objetivo específico 3.

La presente investigación tuvo como tercer objetivo específico el de determinar la eficiencia de método de electrocoagulación según la remoción y la intensidad de corriente en los parámetros fisicoquímicos DQO, DBO₅, PH y Temperatura para el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 37

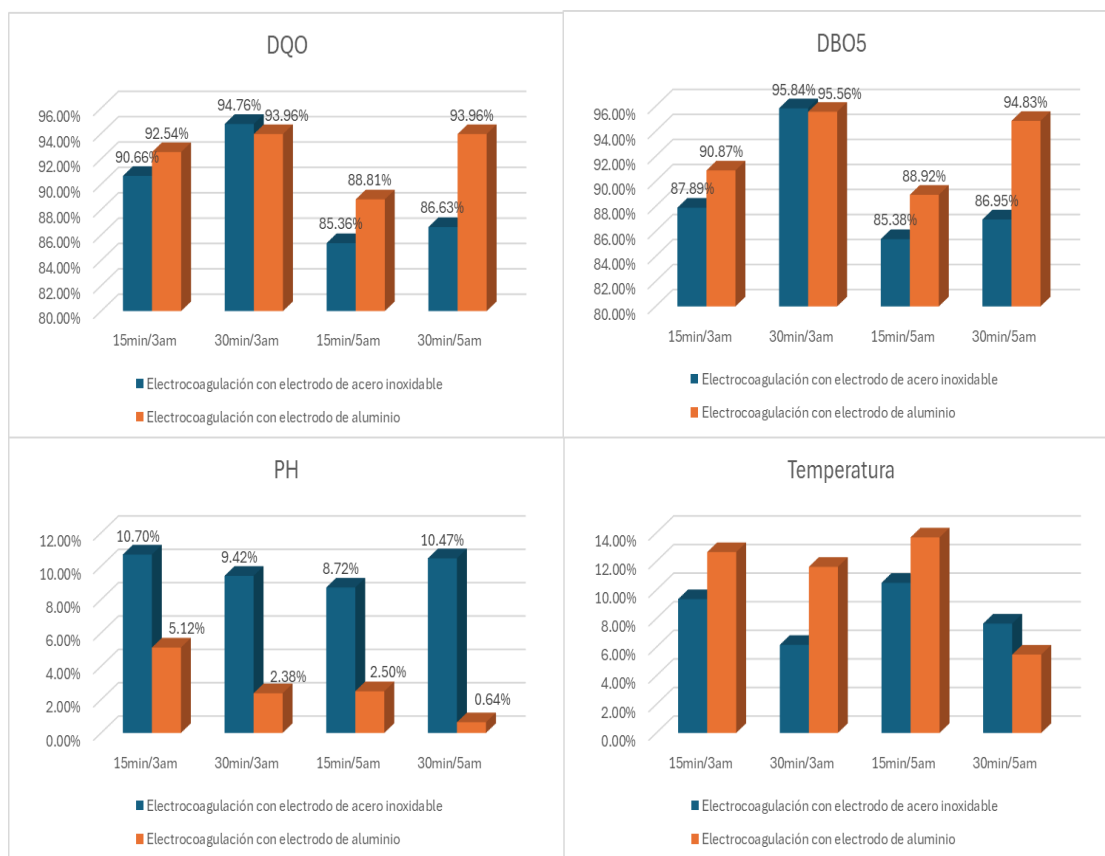
Tabla cruzada de las eficiencias por remoción y la intensidad de corriente del mes de abril

Remoción y la intensidad de corriente					
Tratamientos	Parámetros	15min/3am	30min/3am	15min/5am	30min/5am
Electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable	DQO	90.66%	94.76%	85.36%	86.63%
	DBO ₅	87.89%	95.84%	85.38%	86.95%
	PH	10.70%	9.42%	8.72%	10.47%
	Temperatura	9.36%	6.16%	10.50%	7.65%
Electrocoagulación con electrodo de aluminio	DQO	92.54%	93.96%	88.81%	93.96%
	DBO ₅	90.87%	95.56%	88.92%	94.83%
	PH	5.12%	2.38%	2.50%	0.64%
	Temperatura	12.65%	11.62%	13.68%	5.48%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 10

Gráfica de barras de las eficiencias por remoción y la intensidad de corriente del mes de abril.



Fuente: Elaboración propia

Análisis e interpretación

La tabla 37, presenta las eficiencias de remoción de diferentes parámetros en tratamientos de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable y de aluminio durante el mes de abril. Con el electrodo de acero inoxidable, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) presenta eficiencias entre 85.36% y 94.76%, destacando la remoción y la intensidad de corriente de 30 minutos y 3 amperios con la mayor eficacia 94.76%. La Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días (DBO_5) varía de 85.38% a 95.84%, siendo también la remoción y la intensidad de corriente de 30 minutos y 3 amperios el más efectivo 95.84%. En cuanto al PH, las eficiencias oscilan entre 8.72% y 10.70%, y para la temperatura, entre 6.16% y 10.50%, con un impacto menor en comparación con los otros parámetros.

Para el electrodo de aluminio, las eficiencias de DQO van de 88.81% a 93.96%, con la remoción y la intensidad de corriente de 30 minutos y 3 amperios nuevamente mostrando la mayor eficacia 93.96%. La DBO₅ varía entre 88.92% y 95.56%, destacando el mismo tratamiento como el más efectivo 95.56%. Sin embargo, la eficacia en el PH es más baja, con valores de 0.64% a 5.12%, lo que podría tener implicaciones negativas para la calidad del agua. La remoción de temperatura, aunque más alta con un máximo de 13.68%, sigue siendo relativamente baja en comparación con DQO y DBO₅.

Tabla 38

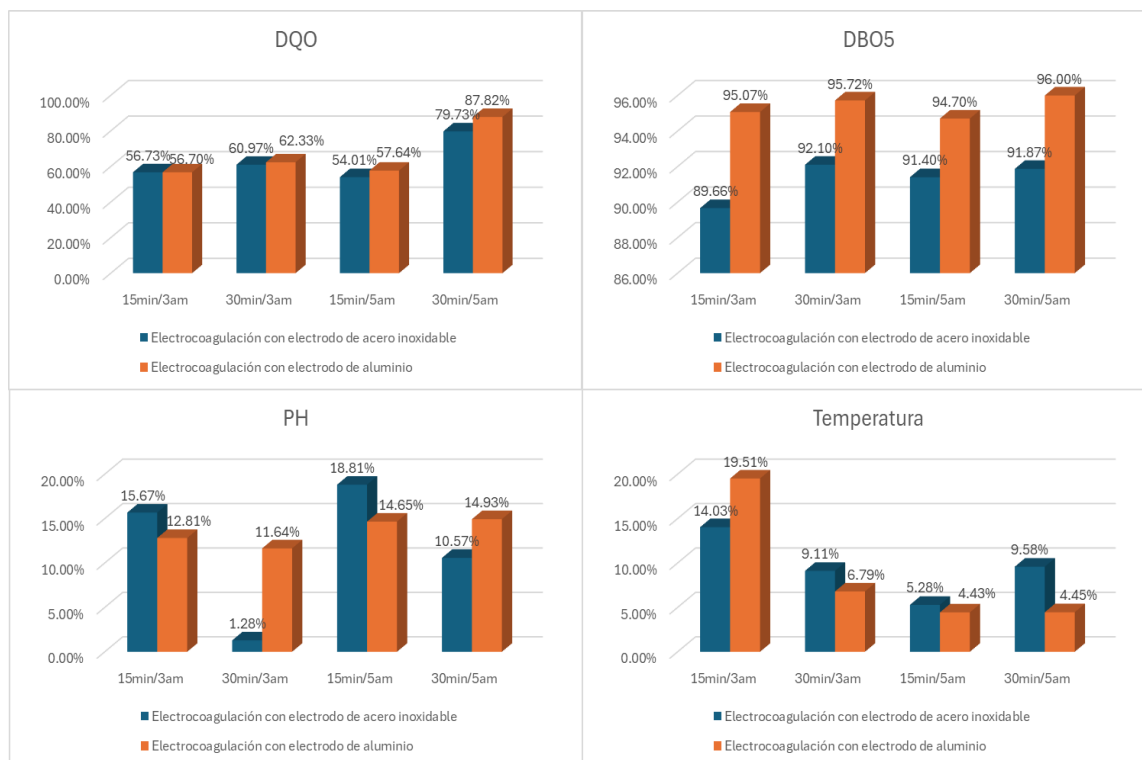
Tabla cruzada de las eficiencias por remoción y la intensidad de corriente del mes de septiembre.

Remoción y la intensidad de corriente					
Tratamientos	Parámetros	15min/3am	30min/3am	15min/5am	30min/5am
Electrocoagulación con electrodo de acero inoxidable	DQO	56.73%	60.97%	54.01%	79.73%
	DBO ₅	89.66%	92.10%	91.40%	91.87%
	PH	15.67%	1.28%	18.81%	10.57%
	Temperatura	14.03%	9.11%	5.28%	9.58%
Electrocoagulación con electrodo de aluminio	DQO	56.70%	62.33%	57.64%	87.82%
	DBO ₅	95.07%	95.72%	94.70%	96.00%
	PH	12.81%	11.64%	14.65%	14.93%
	Temperatura	19.51%	6.79%	4.43%	4.45%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 11

Gráfica de barras de las eficiencias por remoción y la intensidad de corriente del mes de septiembre



Fuente: *Elaboración propia*

Análisis e interpretación

La tabla 38, presenta las eficiencias de remoción de diferentes parámetros en tratamientos de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable y de aluminio durante el mes de septiembre. En el caso del electrodo de acero inoxidable, las eficiencias para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) oscilan entre 54.01% y 79.73%, destacando la remoción y la intensidad de corriente de 30 minutos y 5 amperios con la mayor eficiencia 79.73%. Para la Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días (DBO₅), las eficiencias son más altas, variando de 89.66% a 92.10%, siendo la remoción y la intensidad de corriente de 30 minutos y 3 amperios el más efectivo 92.10%. Sin embargo, el PH muestra un rango de eficiencias entre 1.28% y 18.81%, siendo la remoción y la intensidad de corriente de 15 minutos y 5 amperios el que presenta la mayor eficacia 18.81%, lo que sugiere que este método tiene un impacto variable sobre el pH del agua tratada. En cuanto a la temperatura,

las eficiencias oscilan entre 5.28% y 14.03%, con la remoción y la intensidad de corriente de 15 minutos y 3 amperios mostrando el mayor porcentaje 14.03%.

Por otro lado, la electrocoagulación con electrodo de aluminio presenta eficiencias de DQO que varían entre 56.70% y 87.82%, con la remoción y la intensidad de corriente de 30 minutos y 5 amperios alcanzando la mayor eficacia 87.82%. La DBO_5 muestra altos niveles de eficiencia, fluctuando entre 94.70% y 96.00%, con la remoción y la intensidad de corriente de 30 minutos y 5 amperios también destacándose como el más efectivo 96.00%. En relación al PH, las eficiencias se sitúan entre 11.64% y 14.93%, siendo la remoción y la intensidad de corriente de 30 minutos y 5 amperios el que presenta la mayor eficacia 14.93%.

5.2. Discusión de resultados

En relación al objetivo general “Determinar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda mediante el método de electrocoagulación, Distrito de Yanatile- Cusco 2024”.

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que, al analizar cada tratamiento en función de cada parámetro, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de aguas residuales, con excepción del parámetro (DBO_5), cuyos p-valores son menores al nivel de significancia establecido (<0.05). Esto indica que la eficiencia de los tratamientos es estadísticamente similar en la mayoría de los casos, lo que lleva a aceptar la hipótesis nula y rechazar la hipótesis alterna, Obteniendo como resultado de la presente investigación, donde se evidencia que los electrodos de aluminio tienen mejor desempeño que los de acero inoxidable en la reducción del (DBO_5). Por su parte, Guillén y Sánchez (2024) lograron que la electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable es más eficiente que con electrodos de aluminio en la eliminación del DQO.

De la misma forma en relación al objetivo general, Cuba (2020), quien mediante un análisis ANOVA demostró la eficiencia significativa del método de electrocoagulación en parámetros fisicoquímicos como la turbidez, logrando que el agua tratada cumpla estándares normativos. Ambos estudios destacan la efectividad del método, aunque Cuba se enfoca más en la conformidad normativa que en la comparación de distintos tratamientos. Por otro lado, Chacón y Huampotupa (2021) refuerzan la utilidad del método al concluir que la electrocoagulación mejora la remoción de materia orgánica en aguas residuales, lo cual es consistente con el hallazgo de esta investigación respecto a la eficacia significativa en DBO_5 . Sin embargo, a diferencia de estos antecedentes, este estudio aporta una evaluación comparativa entre electrodos de aluminio y acero inoxidable, lo que introduce una perspectiva diferenciadora al análisis. Estas similitudes y diferencias enfatizan la versatilidad del método y la importancia de explorar sus aplicaciones específicas bajo diferentes condiciones experimentales.

Por otro lado, desde un enfoque diferente, García (2022), demostró que la electrocoagulación alcanzó una alta eficiencia del 98% en la remoción de hierro en agua con una concentración inicial de 6.54 mg/L, utilizando un sistema con una densidad de corriente de 1.5 mA/cm² y un tiempo de tratamiento de 35 minutos. Además, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia entre distintas fuentes de agua ni al compararla con la coagulación tradicional mediante policloruro de aluminio, lo que resalta a la electrocoagulación como un método igualmente efectivo y versátil para la eliminación de contaminantes metálicos, comparando con los resultados obtenidos en la presente investigación se observan similitudes y diferencias clave en la aplicación y evaluación del método de electrocoagulación. En ambos estudios, se destaca la eficiencia significativa del método, aunque con enfoques en diferentes parámetros, la presente investigación se centra en la remoción de parámetros fisicoquímico y biológicos, mientras que García (2022) aborda la eliminación de hierro, logrando una alta eficiencia, Además, ambos trabajos coinciden en la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos o fuentes evaluadas, reforzando la idea de que la electrocoagulación mantiene una eficiencia constante bajo diversas condiciones. De manera similar, comparando los resultados de la presente investigación con el estudio de Fonseca y Panimbosa (2021), se evidencian coincidencias y aportes complementarios en el uso de la electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales. Ambos estudios destacan la alta eficiencia del método, los resultados de la presente investigación demuestran una eficiencia significativa en la remoción de materia orgánica (DBO₅), mientras que Fonseca y Panimbosa (2021) reportan una reducción del 91.21% de contaminantes como aceites y grasas, los cuales representan el 75.85% de la carga contaminante en los efluentes evaluados.

Al comparar los resultados obtenidos en relación con el objetivo general de la presente investigación con los obtenidos de Limón (2019), se observan varias similitudes y diferencias en la aplicación de la electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales. Ambos estudios confirman la eficacia del método de electrocoagulación, aunque con un enfoque en diferentes tipos de contaminantes, mientras que Limón (2019)

se centró en la remoción de sólidos disueltos, fosfatos y nitratos en aguas de descarga de un río, la presente investigación se enfocó en la eliminación de materia fisicoquímica y biológicas, específicamente DBO_5 . Los resultados de Limón (2019) muestran una alta eficiencia en la remoción de contaminantes, alcanzando reducciones del 86% en sólidos disueltos, 84% en fosfatos y 66.89% en nitratos, lo cual es comparable con los resultados obtenidos en la presente investigación, que también demuestran una eficiencia significativa en la remoción de contaminantes orgánicos, como el DBO_5 .

Por lo tanto, estos resultados respaldan el uso de la electrocoagulación como una tecnología eficaz, que supera las desventajas observadas en el proceso, y se presenta como una opción prometedora para la mejora de la calidad del agua tratada. Este método no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también facilita el cumplimiento de las normativas de calidad, ofreciendo una solución viable para el tratamiento de aguas residuales.

En relación al primer objetivo específico “Determinar la eficiencia del método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado de Quebrada Honda del distrito de Yanatile- Cusco 2024”.

Los hallazgos de este estudio indican una elevada eficacia en la disminución de contaminantes en los parámetros de la DBO_5 y DQO utilizando electrodos de acero inoxidable, alcanzando un promedio del 89.35% en la DQO, lo cual cumple con la normativa vigente de estándares de calidad ambiental para la categoría 3 para consumo animal y riego de vegetales. En su investigación, Guillén y Sánchez (2024) obtuvieron una reducción del 88.74% en el DQO con electrodo de acero inoxidable, en su mayoría sin diferencias significativas, se alinean con los hallazgos de Rivas y Rojas (2020), quienes también evidencian una mejora significativa en la calidad de las aguas tratadas mediante electrocoagulación, especialmente en parámetros como DQO. Ambos estudios coinciden en que el proceso tiene un impacto positivo en la eliminación de la materia orgánica de los efluentes. Sin embargo, en el estudio de Rivas y Rojas (2020), se observa una mejora en

otros parámetros como la turbidez y los coliformes tolerantes al calor, mientras que en la investigación realizada se destacan principalmente la DBO₅ y DQO, con un limitado impacto en el ajuste del pH y temperatura. Por otro lado, el estudio de Ayuque (2022) presenta resultados similares en cuanto a la reducción significativa de DQO, donde los efluentes de lavanderías en Huancavelica mostraron una disminución considerable en la DQO, alineándose con tus resultados, especialmente en la capacidad del método de electrocoagulación para reducir la carga orgánica. Ambos estudios también evidencian la influencia de factores como la intensidad de corriente y el tiempo de retención en la eficiencia del tratamiento, lo que refuerza la efectividad de la electrocoagulación en la mejora de la calidad del agua tratada.

En relación al segundo objetivo específico “Determinar la eficiencia del método de electrocoagulación con electrodos de aluminio para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado de Quebrada Honda del distrito de Yanatile- Cusco 2024”.

La investigación de Olmos y Moncaleano (2021) sobre la electrocoagulación en aguas residuales textiles y los resultados del estudio sobre aguas residuales en general, muestran similitudes en la efectividad del proceso para la reducción de contaminantes, especialmente en la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (88.67%), en el estudio evidencia una alta eficiencia en la eliminación de materia orgánica. Sin embargo, en la investigación se observa una disminución en la eficiencia del mes de abril a septiembre disminuyendo hasta (66.70%) en DQO, lo que podría indicar una mayor variabilidad en los resultados debido a factores operativos, mientras que Olmos y Moncaleano obtienen resultados más consistentes. En cuanto al ajuste del pH, ambos estudios destacan un impacto limitado en la capacidad de la electrocoagulación para modificar este parámetro. Aunque Olmos y Moncaleano reportan también del parámetro de turbiedad (97.94%), sus resultados sugieren una reducción significativa en la misma, lo que es consistente con la eficiencia en la eliminación de contaminantes que también se observa en la investigación,

indicando que la electrocoagulación con electrodos de aluminio es un tratamiento efectivo en la mejora de la calidad del agua tratada, con algunas limitaciones en el ajuste del pH.

En relación al tercer objetivo específico “Determinar la eficiencia de método de electrocoagulación según la remoción y la intensidad de corriente en los parámetros fisicoquímicos DQO, DBO₅, PH y Temperatura para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado de Quebrada Honda del distrito de Yanatile- Cusco 2024”.

El presente estudio demuestra que el método de electrocoagulación, utilizando electrodos de acero inoxidable y aluminio, es una alternativa eficiente y viable para el tratamiento de aguas residuales. En el mes de abril, el electrodo de acero inoxidable, con 30 minutos de tratamiento y 3 amperios, alcanzó la mayor eficacia para la remoción de DQO (94.76%) y DBO₅ (95.84%). De manera similar, el electrodo de aluminio con la misma configuración mostró eficiencias de 93.96% para DQO y 95.56% para DBO₅. En septiembre, el electrodo de acero inoxidable con 30 minutos y 5 amperios logró la mayor remoción de DQO (79.73%), mientras que con 30 minutos y 3 amperios alcanzó 92.10% en DBO₅. El electrodo de aluminio, con 30 minutos y 5 amperios, obtuvo la mayor remoción en ambos parámetros con 87.82% para DQO y 96.00% para DBO₅. Estos resultados destacan que la intensidad de corriente y el tiempo de tratamiento influyen significativamente en la eficiencia de la remoción. Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con los de Ríos (2022), quien reportó una reducción del 70% en los contaminantes al variar el tiempo y la energía del tratamiento. Además, la variabilidad de la eficacia en los tratamientos en función de los parámetros fue constante, como lo muestra el estudio de Ramón (2021), donde al aplicar 3 amperios durante 20 minutos se logró una remoción del 69.43% de sólidos indeseados, mientras que al usar 2 amperios y 10 minutos la eliminación de sólidos disminuyó a 61.48%. Estos resultados sugieren que la variabilidad no es significativa, lo que refuerza la idea de que el tiempo de tratamiento y la intensidad de corriente son determinantes en la eficacia. Cuba (2020) también obtuvo una reducción de 80.83% en DQO, lo que es similar a los resultados obtenidos en el presente estudio.

Por otro lado, Guillen y Sánchez (2024) reportaron una reducción de 88.74% en el parámetro de DQO utilizando electrodos de acero inoxidable en un tiempo de 60 minutos y en una intensidad de corriente 10 amperios y 81.57% utilizando electrodos de aluminio en un tiempo de 60 minutos y en una intensidad de corriente 10 amperios, resultados que están dentro de los límites máximos permisibles de vertimientos establecidos para actividades productivas de ganadería (RESOLUCIÓN N°0631- MINAMBIENTE COLOMBIA). En general, los resultados de este estudio muestran que la electrocoagulación es un proceso eficiente y prometedor para la remoción de contaminantes de aguas residuales, con una notable influencia de la intensidad de corriente y el tiempo de tratamiento. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre los electrodos de acero inoxidable y aluminio, ambos tipos de electrodos demostraron ser efectivos para el tratamiento de aguas residuales, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y al cumplimiento de las normativas de calidad

En el presente estudio, se determinó las eficiencias de electrodos de acero inoxidable y electrodo de aluminio, empleando en diferentes tiempos y amperios intensidad de corriente, de acuerdo a estudios similares de Guillen y Sánchez (2024) mencionan que la electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable es más eficiente que con electrodos de aluminio en la eliminación del DQO, en la presente investigación se muestra que con electrodos de aluminio tienen mayor eficiencia que los de acero inoxidable en la reducción del DBO_5 , sin embargo se muestra de acuerdo la comparación realizado con Tukey, se obtuvo que el método electrocoagulación con un electrodo de aluminio es mejor que con un electrodo de acero inoxidable para el tratamiento de aguas residuales.

El objetivo de la investigación, es determinar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda mediante el método de electrocoagulación, Distrito de Yanatile- Cusco 2024, demostró una eficiencia alta en la remoción de los contaminantes especialmente en los parámetros fisicoquímicos de DQO en un 87.82% y DBO_5 en un 96.00% de aguas residuales domésticas, de acuerdo a estos resultados obtenidos que el proceso de electrocoagulación debe ser aplicado para

disminuir y mitigar la contaminación en las fuentes hídricas por la presencia de aguas residuales, así como en el estudio de Limón (2019), emplearon la "Electrocoagulación como tratamiento de aguas de descarga al río Tecolutla en la zona de Gutiérrez Zamora, Veracruz, obteniendo resultados que la electrocoagulación remueve también otros parámetros fisicoquímicos como son; los sólidos disueltos en un 86%, los fosfatos en un 84% y los nitratos en un 66.89%, concluyó que luego de realizar la electrocoagulación, el agua resultante también puede ser reutilizada en actividades agrícolas e industriales.

El presente estudio demuestra que el método de electrocoagulación, utilizando electrodos de acero inoxidable y aluminio, es una alternativa eficiente y viable para el tratamiento de aguas residuales. Si bien no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los parámetros evaluados entre ambos tipos de electrodos, el tratamiento mostró ser altamente efectivo en la remoción de contaminantes, resaltando la influencia de la intensidad de corriente y el tiempo de exposición en la eficiencia del proceso.

VI. Conclusiones

- La determinación del método de electrocoagulación tiene eficiencia significativa para el tratamiento de aguas residuales procedentes del centro poblado Quebrada Honda, distrito de Yanatile. según el análisis existe una diferencia significativa entre los tratamientos con p-valores menores al nivel de significancia es menor que 0.05, se obtuvo una diferencia significativa en el parámetro (DBO₅) con p-valor=0.0166 menor al nivel de significancia igual a 0.05, realizando la comparación de Tukey se obtuvo que el método electrocoagulación con un electrodo de aluminio es mejor que con un electrodo de acero inoxidable.
- Así mismo se determinó que el método de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable ha mostrado una alta eficiencia en la eliminación de materia orgánica, con un promedio de 89.35% en la DQO y 89.01% en la (DBO₅) en mes de abril, Sin embargo, la eficiencia en el ajuste del pH y temperatura fue moderada. En el mes de septiembre, la eficiencia en DQO disminuyó a un 62.86%, mientras que la (DBO₅) se mantuvo alta en (91.26%).
- Se determinó que el método de electrocoagulación con electrodos de aluminio ha demostrado una alta eficiencia en la eliminación de materia orgánica, con un promedio de eficiencia del 92.32% para la DQO y del 92.54% para la (DBO₅) en el mes de abril, Sin embargo, el impacto sobre el ajuste del pH y temperatura es moderado. En el mes de septiembre, la eficiencia en DQO disminuyó a un 66.12%, mientras que la (DBO₅) se mantuvo alta (95.38%).
- En la investigación de acuerdo a la determinación, se evidencia en la comparación de las eficiencias de remoción en tratamientos de electrocoagulación con electrodos de acero inoxidable y aluminio indica que ambos son efectivos, especialmente con una intensidad de corriente de 3 amperios y un tiempo de remoción de 30 minutos, logrando eficiencias de hasta 95.84% en DQO y 96.00% en (DBO₅). Sin embargo, la remoción del pH y la temperatura es significativamente menor, lo que resalta la necesidad de monitorear estos parámetros para asegurar la calidad del agua tratada.

VII. Recomendaciones

- Se recomienda a la municipalidad Distrital de Yanatile establecer acuerdos de colaboración con los gobiernos regionales con el fin de llevar a cabo la implementación de esta tecnología a gran escala para el tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales.
- Se recomienda promover el uso de electrodos de manera mixta entre aluminio y acero inoxidable para el tratamiento de aguas residuales, debido a su eficacia comparable en la eliminación de DQO y (DBO₅), también evaluar la remoción de contaminantes en otros parámetros como metales pesados, Nitrógeno y Fosforo.
- Se recomienda utilizar fuentes de energía renovable, como los paneles solares para llevar a cabo el proceso de electrocoagulación, lo cual puede generar un impacto positivo y significativo en la preservación del medio ambiente.
- Se recomienda a los bachilleres realizar estudios exhaustivos sobre el lodo generado como subproducto del proceso de electrocoagulación.

VIII. Referencias

- Alcázar, M., García, L., Lara, N., & Márquez, J. (2012). Los coloides. Sistemas coloidales no cargados. ¿Cómo se agregan y cómo se estabilizan? *Moleqta Revista de Química de la Universidad Pablo de Olavide*, 7, 94-96.
- Alfaro, I., & Nina, D. (2022). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en la comunidad campesina de Llaspay, distrito de Huanoquite, provincia de Paruro, región Cusco—2021* [Universidad Continental].
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12305>
- Almukdad, A., Hafiz, M., Yasir, A. T., Alfahel, R., & Hawari, A. H. (2021). Unlocking the application potential of electrocoagulation process through hybrid processes. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101956.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.101956>
- Ayuque, J. (2022). *Tratamiento de aguas residuales procedentes de lavadoras por el método de electrocoagulación en la ciudad de Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Blundi, C. E. (1988). *Aplicación de métodos alternativos para la determinación de materia orgánica en aguas residuales*. Universidade Federal de São Carlos.
- Calsin, M. (2020). *Evaluación de la concentración de cromo, cadmio y plomo en sedimentos superficiales en el río Apurímac de la provincia de Caylloma—Arequipa*. Universidad del Altiplano Puno.
- Chacon Bacilio, F. M., & Huampotupa Champi, C. K. (2021). *Electrocoagulación de aguas residuales en la industria láctea Ramírez—Anta—Compone*.
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5962>
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11-41. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.10.006>
- Chuco Vasquez, P. W., & Maldonado Dueñas, J. D. (2023). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación de una fosa séptica y un

- humedal artificial en Tocache, Perú. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/145977>
- Cuba, M. (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.
- Electropreguntas. (2023). *¿Qué Es El Amperaje Y Cómo Se Mide?* ELECTROPREGUNTAS.COM. <https://electropreguntas.com/que-es-el-amperaje-y-como-se-mide-aprende-mas-en-nuestro-sitio/>
- Fonseca, L., & Panimbosa, M. (2021). *Evaluación de un electrocoagulador para la disminución de contaminantes en aguas residuales de la industria láctea, en el periodo abril-agosto 2021*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Gallegos Saravia, C. R. (2024). Análisis de los parámetros físico-químicos del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Capachica—Puno 2023. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/750>
- García, S. (2022). *Evaluación de la electrocoagulación como tratamiento para remoción de hierro en las fuentes de abastecimiento de Zamorano*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Guillen Ttito, G., & Sánchez Viguria, J. B. (2024). *Eficiencia del proceso de electrocoagulación entre electrodos de acero inoxidable y electrodos de aluminio para la reducción de DQO de las aguas residuales del Camal Municipal de K'ayra, Cusco – 2022*. <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/6582>
- Henn, S., & Salas, F. (2017). *Sistema de filtrado por electrocoagulación, control y monitoreo de variables*. Universidad Nacional De Córdoba.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill Education.
<https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Higiene ambiental. (2024). *Conductividad agua de consumo | Higiene Ambiental*.
<https://higieneambiental.com/conductividad-y-calidad-del-agua-potable>

- Huertas, L. C. C., Zavala, A. S. G., & Huapaya, C. A. A. (2022). Condiciones técnicas del proceso de electrocoagulación para una remoción eficiente de cromo y DQO en aguas residuales industriales de curtiembre. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 917-942.
- Ingeniería, E. equipo de C. (2021). *Proceso de remoción de contaminantes*. <https://blog.cbr-ingenieria.com.mx/proceso-de-remocion-de-contaminantes>
- Izquierdo, M. A. S. (2018, septiembre 4). La importancia del agua en el planeta y como cuidarla. *iAgua*. <https://www.iagua.es/noticias/imta/importancia-agua-planeta-y-como-cuidarla>
- Laboratorio Agroambiental. (2023). *Exposición de equipos antiguos: pHmetro*. Portal de Aragon. <https://www.aragon.es/-/laboratorio-agroambiental-equipos-antiguos-phmetro>
- Lifeder. (2020). *¿Qué son el ánodo y el cátodo?* Lifeder. <https://www.lifeder.com/anodo-y-catodo/>
- Limaymanta Marcos, M. M. (2023). Depuración de aguas residuales urbanas por el método de Electrocoagulación del colector San Juan – Cerro de Pasco. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3781>
- Limón, R. (2019). *Electrocoagulación como tratamiento de aguas de descarga al río Tecolutla en la zona de Gutiérrez Zamora, Veracruz*. Universidad Veracruzana.
- Mendes, L. (2019). *Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación acoplada a un MBR para minimizar el ensuciamiento de la membrana y obtener efluentes de alta calidad*. Universidad de Alicante.
- Metcalf, & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización* (3ra ed., Vol. 1). McGraw-Hill.
- Metcalf, & Eddy, J. (1985). *Ingeniería sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales* (2da ed.). LABOR. <https://books.google.com.pe/books?id=tYP9PQAACAAJ>

- Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, diseño* (1ra ed.). Alfaomega Grupo Editor. https://www.academia.edu/40183655/Ingenier%C3%ADa_ambiental_fundamentos_sustentabilidad_dise%C3%B1o_Autores_y_Editores_Autores_Colaboradores
- Murillo, D. C. (2018). *Eficiencia del uso de microorganismos eficientes en el tratamiento de agua residuales de las queserías artesanales de Quimiag* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10156/1/236T0363.pdf>
- Olmos, D., & Moncaleano, J. (2021). *Evaluación de la eficiencia de la electrocoagulación en aguas residuales textiles utilizando como electrodo el aluminio*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- ONU. (2018). Agua | Naciones Unidas. *United Nations*. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Paltán, H., Basani, M., Minaya, V., & Rezzano, N. (2020). Servicios de agua potable y saneamiento resilientes en América Latina y el Caribe. *Banco Interamericano de Desarrollo*, 57.
- Paucar, F., & Iturregui, P. (2020). Los desafíos de la reutilización de las aguas residuales en el Perú. *South Sustainability*, 1(1), e004-e004.
- QUIMICOMPANY SAS. (2021). Equipos multiparámetro. *Quimicompany Equipos e insumos para laboratorio*. <https://quimicompany.com.co/productos-2/equipos-para-laboratorio-2/equipos-multiparametros/>
- Ramón, Y. (2021). *Aplicación de la electrocoagulación como alternativa de remoción de sólidos suspendidos totales presentes en las aguas residuales generadas en el distrito de San Pedro de Saño, 2020*. Universidad Continental.
- Restrepo, A., Arango, Á., & Garces, L. (2012). La Electrocoagulación: Retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Research Gate*, 58-77.

- Ríos, P. (2022). *Remoción de contaminantes de las aguas residuales generadas por lavado de autos empleando el método electrocoagulación*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Rivas, J., & Rojas, M. (2020). *Tratamiento de aguas residuales por el método de electrocoagulación del sistema PTAR de la laguna de estabilización San José Lambayeque*. Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo.
- Sánchez, M. (2017). Las aguas residuales en Perú, realidad al 2017. *iAgua*.
<https://www.iagua.es/blogs/maria-sanchez-montes/aguas-residuales-peru-costo-improvisacion>
- Tebbutt, T. H. Y. (1998). *Principles of water quality control* (5th ed). ButterWorth-Heinemann.
- Trapote, A. (2020). *Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas* (3ra. ed.). Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- WordReference. (2023). *ion—Definición*. WordReference.com.
<https://www.wordreference.com/definicion/ion>
- World Bank. (2018). 12 World Leaders Issue Clarion Call for Accelerated Action on Water. *World Bank*. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2018/03/14/12-world-leaders-issue-clarion-call-for-accelerated-action-on-water>
- WWAP. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Des*
- Albarrán Zavala, E. (2008). *El potencial de redox y la espontaneidad de las reacciones electroquímicas*. Portal Dialnet. Obtenido de
<file:///C:/Users/USER/Downloads/Dialnet-EIPotencialRedoxYLaEspontaneidadDeLasReaccionesEle-2735574.pdf>
- Arango A, R., & Garces G, L. F. (2007). Diseño de una selda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Revista Universidad EAFIT*, 61.
- Chacon Baciio, F. M. , & Huampotupa Champi, C. K. (2021). Electrocoagulación de aguas residuales en la industria

- lactea, <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5962>. Ramirez - Anta -Compone.
- Cueva, E. F., & Peralta, M. Y. (2020). “Efecto del amperaje y tiempo del proceso de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales del camal de José Leonardo Ortíz”. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8688>.
- Espigares y Pérez. (2015). Aguas residuales composición. Obtenido de https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf. En M. Espigares Garcia, Pérez Lopez , J. A.
- Hernández Flórez, J. S.-M. (2019). *Evaluación del sistema de electrocoagulación para disminuir la carga contaminante a escala de laboratorio*[Tesis de pregrado, Universidad de América]. Repositorio institucional Universidad de América. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7384>
- INEI. (2017). *Instituto Nacional de Estadística e Informática. Estadísticas Ambientales. INEI. Lima: s.n.,.*
- Loose, D. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. Lima Supernentendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). y Cooperación Alemana. .*
- LÓPEZ, M. E. (2015). *AGUAS RESIDUALES COMPOSICIÓN*. Obtenido de https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Miguel, A. M., Cevero, R. R., Wilder, B. H., Raquel, M. L., Christian, p. M., & Roxana, Y. C. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C. doi:<https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- MINAM, M. d. (marzo de 2010). *Portal Minam Ministerio del Ambiente*. Obtenido de Portal Minam Ministerio del Ambiente: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/limites-maximos-permisibles/agua/>

- MINAM, M. d. (11 de Septiembre de 2019). *portal institucional del Ministerio del proyecto de Decreto Supremo que aprueba las disposiciones para la elaboración, revisión y aprobación (ECA) y (LMP)*. Obtenido de portal institucional del Ministerio del proyecto de Decreto Supremo que aprueba las disposiciones para la elaboración, revisión y aprobación (ECA) y (LMP): <https://sinia.minam.gob.pe/normas/disponen-prepublicacion-portal-institucional-ministerio-proyecto-decreto>
- Moya Medina, D. G. (2018). *Análisis de la cáscara de cacao como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de las industrias de lácteos Salinerito de la ciudad de Guaranda [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]*. Repositorio digital. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27239>
- OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Lima-Perú*. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827#:~:text=Son%20aquellas%20aguas%20cuyas%20caracter%C3%ADsticas,descargadas%20al%20sistema%20de%20alcantarillado.
- OEFA, O. d. (2014). *Portal (OEFA) Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental*. Obtenido de Portal (OEFA) Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental: https://www.oefa.gob.pe/el-oefa-advierte-problematika-ambiental-por-deficit-de-tratamiento-de-las-aguas-residuales-a-nivel-nacional/https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- ONU & UNESCO. (2017). *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos – Aguas Residuales El Recurso Desaprovechado*. ONU. Paris: Phoenix Design Aid, .
- Pereira Arroyo, R. (2018). *Definiciones fundamentales de Corriente eléctrica*. Tecnológico de costa rica. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13033>

- Roman, R. D. (Marzo de 2024). Tratamiento de Efluentes Industriales Empleando la Electrocuagulación. CENTRO DE INVESTIGACION PARA EL TRATAMIENTO Y REUSO DEL AGUA. CURSO TECNICO ESPECIALIZADO. Lima.
- Segura Delgado, P. (2023). *Reporte RUPAP - Registro Único de Proceso de Adecuación Progresiva*. Informe Tecnico, Municipalidad Distrital de Yatile, Cusco.
- Soncco Quispe, M. D. (2017). *Proceso de electrocoagulación para la disminución de contaminantes de los efluentes de la empresa textil, Chorrillos [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio Digital Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/16634>
- Velasquez F, D. J. (2017). *APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN AL EFLUENTE DE LA PLANTA PILOTO DE LECHE "LA MOLINA" [Tesis de pregrado; Universidad la Molina]*. Repositorio . Obtenido de <file:///C:/Users/USER/Desktop/TESIS%202024/ELECTROCOAGULACION/velasquez-flores-david-jefferson%20MOLINA.pdf>
- Velásquez Flores, D. J. (2017). *Aplicación del método de electrocoagulación al efluente de la Planta Piloto de Leche "La Molina"*. Repositorio institucional - UNALM. Obtenido de <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>
- arrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado.* UNESCO.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes