

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Determinacion de la remoción de DQO Y DBO5 en el
tratamiento de las aguas residuales domésticas
mediante la electrocoagulación en el distrito
de Ahuac**

Samir Leiva Gonzales

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : FELIPE GUTARRA MEZA
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : José Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 24 de Diciembre de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: ““DETERMINACIÓN DE LA REMOCIÓN DE DQO Y DBO5 EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE LA ELECTROCOAGULACIÓN EN EL DISTRITO DE AHUAC”, perteneciente al/la/los/las estudiante(s) SAMIR LEIVA GONZALES, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental; se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 10 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI ☒ NO ☐
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: SI ☐ NO ☒
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI ☐ NO ☒

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, SAMIR LEIVA GONZALES, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 48338153, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "DETERMINACION DE LA REMOCION DE DQO Y DBO5 EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS MEDIANTE LA ELECTROCOAGULACION EN EL DISTRITO DE AHUAC", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

02 de enero del 2024.

La firma del autor y del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	10%	2%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1%
6	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
repositorio.uap.edu.pe		

8	Fuente de Internet	<1 %
9	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
11	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
13	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
15	Q'MIR S.R.L.. "Actualización del Plan de Manejo Ambiental del PAMA del Centro de Operaciones N°3 de la Empresa Servicios Industriales de la Marina-IGA0014953", R.D. N° 0444-2020-PRODUCE/DGAAMI, 2021 Publicación	<1 %
16	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

18	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	www.senamhi.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Johnson and Wales University Trabajo del estudiante	<1 %
21	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
22	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	eris.ingenieria.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.udes.edu.co Fuente de Internet	<1 %
25	www.igme.es Fuente de Internet	<1 %
26	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	slidehtml5.com Fuente de Internet	<1 %
28	www.mordorintelligence.com Fuente de Internet	<1 %
29	dspace.uclv.edu.cu	

	Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
33	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	de.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
35	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
36	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	www.agrojunin.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
40	www.datashed.org Fuente de Internet	<1 %

41	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
42	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
43	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	Apagado
Excluir bibliografía	Activo		

ASESOR

Ing. José Vladimir Cornejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por posibilitarme llegar hasta este momento tan fundamental de mi vida y cumplir este anhelo, también por los sosegados y agradables momentos transcurridos en la universidad.

A la Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, a los laboratorios de ciencia básica, laboratorio de química por haberme permitido desarrollar mis habilidades lo cual hizo posible el desarrollo de la tesis.

Al asesor Ing. José Vladimir Cornejo Tueros por su apoyo y colaboración.

A mis padres y hermanos, por su absoluto apoyo en cada etapa transcurrido de este proceso.

Finalmente, a todas aquellas personas que han hecho posible y contribuido de alguna manera al desarrollo de esta investigación.

DEDICATORIA

A Dios, por regalarme la vida, salud y esperanza a mis padres y hermanos por su abnegación, trabajo y sacrificio, por su ejemplo de fortaleza ante las dificultades.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	x
DEDICATORIA.....	xi
ÍNDICE GENERAL	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN	xx
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	21
1.1. Planteamiento y formulación del problema	21
1.2. Objetivos	22
1.2.1. General	22
1.2.2. Específicos	22
1.3. Justificación e importancia	22
1.3.1. Ambiental.....	23
1.3.2. Social.....	23
1.4. Hipótesis y descripción variables	24
1.4.1. Hipótesis.....	24
1.4.2. Descripción de variables.....	24
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	26
2.1. Antecedentes del problema.....	26
2.1.1. Antecedentes internacionales	26
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	28
2.1.3. Antecedentes locales	30
2.2. Bases teóricas	30
2.2.1. Electrocoagulación	30
2.2.2. Aguas residuales.....	35
2.2.3. Normativa peruana	36
2.3. Definición de términos básicos.....	37
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	39
3.1. Método, y alcance de la investigación	39
3.1.1. Método de la investigación.....	39
3.1.2. Alcance de la investigación	40
3.1.3. Nivel de la investigación	40
3.2. Diseño de la investigación	41

3.2.1. Tipo de la investigación.....	41
3.3. Población y muestra	42
3.3.1. Población.....	42
3.3.2. Toma de muestra	42
3.3.3. Tamaño de muestra.....	42
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
3.4.1. Técnicas	43
3.4.2. Instrumentos	43
3.5. Metodología de experimentación	43
3.5.1. Materiales y equipos utilizados	43
3.5.2. Procedimiento	44
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1. Presentación de resultados y análisis de la información	48
4.1.1. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac. 48	
4.1.2. Influencia del tiempo de residencia en el % de remoción de la DQO y DBO ₅ en el tratamiento de las aguas residuales	49
4.1.3. Influencia de la electrocoagulación en el % de remoción de DQO y DBO ₅ en el tratamiento de las aguas residuales	67
4.2. Prueba de hipótesis.....	71
4.2.1. Contrastación de las hipótesis específicas	71
4.2.2. Contrastación de hipótesis general	76
4.3. Discusión de resultados	78
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES.....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS	85
Anexo 1. Monitoreo en campo.....	85
Anexo 1A. Toma de muestras	85
Anexo 1B. Toma de datos	85
Anexo 2. Etapa de experimentación.....	86
Anexo 2A. Colocación de los electrodos de hierro y aluminio.....	86
Anexo 2B. Instalación de la celda de electrocoagulación.....	86
Anexo 2C. Distribución de la muestra para las corridas experimentales	88
Anexo 2D. Celda de electrocoagulación con agua residual a tratar	88
Anexo 2E. Instalación de fuente de poder	89
Anexo 2F. Intensidad de corriente a 30 A.....	89

Anexo 2G. Intensidad de corriente a 35 A.....	90
Anexo 2H. Intensidad de corriente a 40 A.....	91
Anexo 2I. Toma de muestra de agua tratada.....	92
Anexo 2J. Muestra obtenida en 30 min con 35 A.....	92
Anexo 3. Reportes.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variable dependiente	24
Tabla 2. Variable independiente	24
Tabla 3. Procesos unitarios según la etapa de tratamiento	35
Tabla 4. ECA agua - Categoría 1: poblacional y recreacional	36
Tabla 5. ECA agua - Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales	36
Tabla 6. ECA agua - Categoría 4: conservación del ambiente acuático	36
Tabla 7. Límites Máximos permisibles (LMP)	37
Tabla 8. Datos del diseño	41
Tabla 9. Arreglo factorial 3^2	41
Tabla 10. Materiales y equipos	43
Tabla 11. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac	48
Tabla 12. Influencia del tiempo en la concentración final de DQO a 3A	49
Tabla 13. Influencia del tiempo en el % de remoción de DQO a 3A	49
Tabla 14. Influencia del tiempo en la concentración final de DBO ₅ a 3A	50
Tabla 15. Influencia del tiempo en el % de remoción de DBO ₅ a 3A	50
Tabla 16. Influencia del tiempo en la concentración final de DQO a 3,5A	51
Tabla 17. Influencia del tiempo en el % de remoción de DQO a 3,5A	52
Tabla 18. Influencia del tiempo en la concentración final de DBO ₅ a 3,5A	53
Tabla 19. Influencia del tiempo en el % de remoción de DBO ₅ a 3,5A	54
Tabla 20. Influencia del tiempo en la concentración final de DQO a 4A	54
Tabla 21. Influencia del tiempo en el % de remoción de DQO a 4A	55
Tabla 22. Influencia del tiempo en la concentración final de DBO ₅ a 4A	56
Tabla 23. Influencia del tiempo en el % de remoción de DBO ₅ a 4A	56
Tabla 24. Influencia de la intensidad de corriente en la concentración final de DQO en 30 min	57
Tabla 25. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DQO en 30 min ..	58
Tabla 26. Influencia de la intensidad de corriente en la concentración final de DBO ₅ en 30 min	59
Tabla 27. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DBO ₅ en 30 min ..	59
Tabla 28. Influencia de la intensidad de corriente en la concentración final de DQO en 35 min	61
Tabla 29. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DQO en 35 min ..	61
Tabla 30. Influencia de la intensidad de corriente en la concentración final de DBO ₅ en 35 min	62

Tabla 31. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DBO ₅ en 35 min.	63
Tabla 32. Influencia de la intensidad de corriente en la concentración final de DQO en 40 min ..	64
Tabla 33. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DQO en 40 min ..	64
Tabla 34. Influencia de la intensidad de corriente en la concentración final de DBO ₅ en 40 min ..	65
Tabla 35. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DBO ₅ en 40 min.	66
Tabla 36. Porcentaje de remoción de DQO	67
Tabla 37. Porcentaje de remoción de DBO ₅	69
Tabla 38. T de una muestra de DQO	71
Tabla 39. T de una muestra de DBO ₅	72
Tabla 40. Información del factor tiempo de residencia.....	75
Tabla 41. Análisis de varianza ANOVA para DQO	75
Tabla 42. Prueba de Kruskal-Wallis para DBO ₅	75
Tabla 43. Información del factor tiempo de residencia.....	76
Tabla 44. Análisis de varianza ANOVA para DQO	76
Tabla 45. Prueba de Kruskal-Wallis para DBO ₅	76
Tabla 46. T de una muestra de DQO	77
Tabla 47. Wilcoxon de una muestra de DBO ₅	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos involucrados en un reactor de electrocoagulación.....	32
Figura 2. Metodología.....	40
Figura 3. Diseño de la celda de electrocoagulación.....	45
Figura 4. Vista frontal del diseño de la celda.....	46
Figura 5. Concentración inicial de DBO_5 y DQO vs. ECA	48
Figura 6. Porcentaje de remoción de DQO en diferentes tiempos a 3A	50
Figura 7. Porcentaje de remoción de DBO_5 en diferentes tiempos a 3A	51
Figura 8. Porcentaje de remoción de DQO en diferentes tiempos a 3,5A.....	53
Figura 9. Porcentaje de remoción de DBO_5 en diferentes tiempos a 3,5A.....	54
Figura 10. Porcentaje de remoción de DQO en diferentes tiempos a 4A.....	55
Figura 11. Porcentaje de remoción de DBO_5 en diferentes tiempos a 3,5A.....	57
Figura 12. Porcentaje de remoción de DQO a diferentes intensidades de corrientes en 30 min	58
Figura 13. Porcentaje de remoción de DBO_5 a diferentes intensidades de corrientes en 30 min	60
Figura 14. Porcentaje de remoción de DQO a diferentes intensidades de corrientes en 30 min	62
Figura 15. Porcentaje de remoción de DBO_5 a diferentes intensidades de corrientes en 35 min	63
Figura 16. Porcentaje de remoción de DQO a diferentes intensidades de corrientes en 30 min	65
Figura 17. Porcentaje de remoción de DBO_5 a diferentes intensidades de corrientes en 35 min	66
Figura 18. Porcentaje de remoción de DQO.....	67
Figura 19. Grafica de interacción para DQO.....	68
Figura 20. Grafica de contorno para DQO	68
Figura 21. Porcentaje de remoción de DBO_5	70
Figura 22. Grafica de interacción para DBO_5	70
Figura 23. Grafica de contorno para DBO_5	71
Figura 24. Prueba de normalidad para DQO	73
Figura 25. Prueba de normalidad para DBO_5	73

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar el % de remoción de DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación en el distrito de Ahuac. La metodología fue hipotética- deductiva, el tipo de investigación fue aplicada, diseño experimental puro y diseño factorial de 3². Para el desarrollo del análisis de la eficiencia del proceso de electrocoagulación en la remoción de carga orgánica se trabajó con las variables de tiempo de residencia (30 min, 35 min y 40 min) e intensidad de corriente (3 A, 3,5 A y 4 A), teniendo 3 réplicas por lo tanto 27 pruebas experimentales, para ello primeramente se muestreo las aguas residuales domesticas del distrito de Ahuac y se hizo su caracterización correspondiente, posteriormente se construyó la celda de electrocoagulación a base de material acrílico, posteriormente se instaló los electrodos de hierro y aluminio, se inició el proceso conectado a una fuente de poder, finalmente se realizó las pruebas correspondientes a las aguas residuales según establece nuestro diseño experimental para proceder a analizar el DQO y DBO₅ que se removió. Los resultados muestran una concentración inicial de DQO y DBO₅ de 317,38 mg/L y 220,20 mg/L respectivamente sobrepasando los Límites Máximos permisibles (LMP), siendo estos, 200 mg/L para DQO y 100 mg/L para DBO₅, estas concentraciones al ser tratadas mediante electrocoagulación pudieron ser removidas hasta un 69,54% para DQO con una concentración final de 96,70 mg/L y 70,80% para DBO₅ con una concentración final de 64,31 mg/L, ambas a un tiempo de 40 minutos e intensidad de corriente de 4 A cumpliendo de esta manera con el rango que establecen los LMP dando a conocer que electrocoagulación es un tratamiento eficiente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Palabras clave: Electrocoagulación, DQO, DBO₅, agua residual doméstica, LMP

ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the % removal of COD and BOD₅ in the treatment of wastewater through electrocoagulation in the district of Ahuac. The methodology was hypothetical-deductive with a type of applied research, pure experimental design, and factorial design of 3². For the development of the analysis of the efficiency of the electrocoagulation process in the removal of organic load, we worked with the variables of residence time (30 min, 35 min and 40 min) and current intensity (3 A, 3.5 A and 4 A), having 3 replicas, therefore 27 experimental tests, for which the domestic wastewater of the district of Ahuac and its corresponding characterization was carried out, later the electrocoagulation cell was built with acrylic material and the iron and aluminum electrodes were installed, the process began connected to a power source, finally the corresponding tests were carried out on the residual waters as established by our experimental design to proceed to analyze the COD and BOD₅ that was removed. The results show an initial concentration of COD and BOD₅ of 317,38 mg/L and 220,20 mg/L respectively, exceeding the Maximum Permissible Limits (LMP) which are 200 mg/L for COD and 100 mg/L for BOD₅, these concentrations, when treated by electrocoagulation, could be removed up to 69,54% for COD with a final concentration of 96,70 mg/L and 70,80% for BOD₅ with a final concentration of 64,31 mg/L, both at a time of 40 minutes and current intensity of 4 A, thus complying with the range established by the LMP, thus demonstrating that electrocoagulation is an efficient treatment in the treatment of domestic wastewater.

Keywords: Electrocoagulation, COD, BOD₅, domestic wastewater, LMP

INTRODUCCIÓN

El daño a los cuerpos hídricos es una de las más relevantes problemáticas a nivel mundial ya que como es de conocimiento el agua es un recurso necesario para la vida, por lo cual se requiere actuar inmediatamente atendiendo y priorizando una gestión con responsabilidad y compromiso hacia este recurso natural. Es ineludible refutar que en los cuerpos hídricos están presentes diversas enfermedades bacterianas como efectos de la cantidad de agentes infecciosos los cuales con ayuda del agua son transportados por varios lugares logrando así una propagación de enfermedades que afectan a la salud de las personas, animales y demás en todo el mundo.

Un estudio realizado determinó que aproximadamente un 70 % de aguas residuales no cuenta con un tratamiento adecuado siendo una dificultad para reusar el agua por la contaminación existente en ella y evitando el ciclo del agua natural. En el Perú, según el Plan Nacional de Saneamiento Urbano y Rural 2006-2015, solo un 30% de los gastos nacionales son destinados para el tratamiento de aguas. Esta contaminación genera posibles riesgos a la salud de las personas según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (1).

En el Perú se creó varios sistemas con el fin de obtener mejoras en la calidad del agua antes de que estas fueran vertidas en las fuentes de agua naturales, los sistemas creados estas compuestos con materiales cuyo propósito es cumplir con la normativa donde se establece los parámetros de turbidez, pH, temperatura, DBO, DQO, coniformes, SST, aceites y grasas (2).

En el departamento de Junín, así como en los departamentos del territorio peruano, es de conocimiento público que en diferentes puntos se siguen vertiendo aguas residuales a ríos, lagunas sin ningún tratamiento adecuado en consecuencia contaminando el Ambiental.

De igual manera, el proceso desarrollado consta del uso de un reactor para la electrocoagulación de las muestras representativas de las aguas residual para ver la remoción DQO Y DBO₅ a diferentes tiempos e intensidad de corriente.

Para una mejor comprensión de esta investigación: En el primer capítulo se encuentra el planteamiento del estudio , en el segundo capítulo se encuentran los antecedentes relacionados y relevantes que nos sirvieron como base para elaborar la investigación presente respecto al tema que estamos tratando, en el tercer capítulo tenemos una descripción de nuestros métodos y procedimientos experimentales que tomaron lugar con el fin de obtener los datos los cuales fueron de apoyo para contrastar le eficiencia y veracidad de este proceso, en el cuarto capítulo se analiza y determina los resultados los cuales son plasmados mediante una serie de gráficas y prueba de hipótesis los cuales ayudaron en su comprensión de cómo se comportan los parámetros DQO Y DBO₅ a diferentes tiempos e intensidad de corriente ,determinando finalmente las conclusiones de la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

En todo el mundo uno de los problemas de mayor relevancia son las aguas residuales generadas a causa de la contaminación en el medio ambiente causada por el hombre en su mayoría (2).

Los efluentes descargados de las industrias son generadores potenciales contaminación de recursos hídricos además de que al aumento de la población y la expansión acelerada de las ciudades generados un incremento en los efectos negativos sobre la contaminación del agua (3).

Las poblaciones dependen de los servicios de agua los cuales son abastecidos por diversas fuentes hídricas, de esta manera las personas aprovechan este recurso de manera sostenible y eficiente (4).

Debido al crecimiento acelerado de las ciudades y desarrollo de la economía, las consecuencias de los procesos industriales sobre los recursos hídricos van en aumento además que esta problemática empeora al haber presencia de fuentes no puntuales de contaminantes (5).

Más del ochenta por ciento de las aguas residuales en países que se encuentran en proceso de desarrollo, son descargadas sin ningún tipo de tratamiento, generando contaminación de esta manera a ríos, lagos y zonas costeras (6).

En el Perú, de igual manera, sus aguas residuales contienen gran cantidad de contaminantes teniendo de ejemplo los metales pesados, sólidos suspendidos, grasas y aceites, materia orgánica, entre otras (7).

Según una revisión de estudios la SUNASS determinó que aproximadamente un 70% de agua residual en territorio peruano no cuenta con tratamientos, de igual manera, de las 143 plantas de tratamiento de aguas residuales, solamente el 14% cumple la normativa vigente del funcionamiento de las plantas. Además, se observó que la infraestructura de estas plantas de tratamiento no abastecen las aguas residuales al tratar sobrepasando así los ECA los cuales son de aplicación general, es decir, para la sociedad en su conjunto, mientras tanto los LMP, han sido desarrollados para regular actividades particulares, y los cuales son exigibles y su cumplimiento es obligatorio para cada uno de las personas o empresas de cada sector de este modo generando problemas al medio ambiente mediante las aguas contaminadas y el desprendimiento de malos olores causando disconformidades con la OEFA (8).

El distrito de Ahuac arrastra hace muchos años la problemática de la contaminación de sus recursos hídricos, esto a partir del mal tratamiento y un vertimiento inadecuado de las aguas residuales de dicho distrito, trayendo consigo problemas ambientales, como malos olores,

degradación de áreas productivas, pérdidas de algunas especies acuáticas, pérdida de aprovechamiento de aguas para el riego Junta de Usuarios del Distrito de Riego Mantaro. Para lograr la depuración de estas aguas utilizaremos el método de electrocoagulación el cual ayudara a desestabilizar los contaminantes presentes, debidos a la intensidad de corriente de una fuente de poder y el comportamiento de los electrodos de hierro y cobre, que esta acción producirá hidróxidos complejos, los cuales cuentan con la propiedad de absorción generando flóculos, asimismo este proceso generara turbulencia que esto empujara hacia la superficie los flóculos producidos.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.1.1. Problema general

¿Cuánto se reducirá la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación en el distrito de Ahuac?

1.1.1.2. Problema específico

- ¿Cuál es la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac?
- ¿Cuál es la influencia del tiempo de residencia en el % de remoción de la DQO Y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación?
- ¿Cuál es la influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de la DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación?

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Determinar el % de remoción de DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación en el distrito de Ahuac.

1.2.2. Específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac.
- Determinar cómo influye el tiempo de residencia en el % de remoción de la DQO Y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación.
- Determinar cómo influye la intensidad de corriente en el % de remoción de la DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación.

1.3. Justificación e importancia

En los últimos tiempos y la actualidad, la problemática que están pasando las personas está vinculado con el agua. En el momento que los recursos hídricos reciben los efluentes residuales domésticos i o industriales, la contaminación empieza a disminuir la calidad del agua que recibe, es decir decrecen las cualidades del agua del curso, haciéndola de menor utilidad y peligrosa para salud. Generalmente, se puede afirmar que la contaminación causada por residuos de las aguas contaminadas va en aumento debido a la inexistencia de tratamiento, el aumento de la población y el aumento de las zonas urbanas. Por otro lado, la variación constante y desarrollo tecnológico de la población produce aguas residuales con contaminantes más complejos y mayor grado de contaminación.

Es necesario realizar el trabajo de investigación en el distrito de Ahuac ya que esto hará posible la minimización de la contaminación ambiental que generalmente es producto de las aguas residuales, esto se debe a la gran cantidad de materia orgánica presente lo que provoca que no se pueda descargar de manera directa a ningún cuerpo de agua receptor ya que esto está produciendo en la actualidad daños irreparables en el ecosistema y población cercana.

El tratamiento de aguas residuales domésticas en el distrito de Ahuac por el método de la electrocoagulación, nos ayudara en un periodo largo a la recuperación de la salud pública, mejoramiento del equilibrio ambiental, también nos beneficiara al recuperar una alta cantidad de cuerpos de agua de manera eficiente y segura siendo así un gran desafío dirigido a la mejora ecológica, social y económica de estos recursos para la ciudadanía ya que esto nos llevara a un mejor aprovechamiento de estas aguas y a la restauración ambiental. Es importante porque se reducirá los parámetros DBO₅ y DQO de las aguas residuales del distrito de Ahuac mediante la electrocoagulación que este método está diseñado para el tratamiento de aguas residuales.

1.3.1. Ambiental

La presente investigación tiene como finalidad la contribución al mitigar efectos adversos causados por las descargas de las aguas residuales domésticas hacia las fuentes de agua naturales, minimizando así el grado de alteración de las propiedades del agua al cual esta propenso.

En los tiempos actuales, se observa que de los 2,2 millones m³ de aguas residuales que transportan los alcantarillados del Perú, únicamente un 32% pasa por un adecuado proceso de tratamiento momentos antes de verterlos en las fuentes de aguas receptoras. En Lima, siendo capital del Perú, este departamento produce 1,2 millones de m³ de aguas residuales sin embargo únicamente un 20% es tratada (2).

1.3.2. Social

Se mencionó los grandes impactos ambientales que causan las aguas residuales, aun así, cabe recalcar que, así como hay presencia de efectos ambientales, del mismo modo hay efectos sociales. Esto se debe a que los efluentes hídricos contaminados a la larga sufren una

conversión ocasionada por los agentes infecciosos presentes ya sean hongos, bacterias, entre otros; los cuales producen efectos no favorables a la salud de las personas.

1.4. Hipótesis y descripción variables

1.4.1. Hipótesis

1.4.1.1. Hipótesis general

La reducción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) mediante la electrocoagulación en las aguas residuales domésticas será significativa permitiendo que los valores se encuentren por debajo de los LMP que pide la normativa peruana.

1.4.1.2. Hipótesis específicas

- La caracterización fisicoquímica de las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac sobrepasan los LMP que establecen la normativa peruana.
- El tiempo de residencia influirá significativamente en el % de remoción de la DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación.
- La intensidad de corriente influirá significativamente en el % de remoción de la DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación.

1.4.2. Descripción de variables

1.4.2.1. Variable dependiente

Tabla 1. Variable dependiente

Variable	Indicador	Unidad	Definición operacional
Remoción de la carga orgánica	DQO y DBO ₅	mg/L	Medida cuantitativa DQO y DBO ₅

1.4.2.2. Variable independiente

Tabla 2. Variable independiente

Variable	Indicador	Unidad	Definición operacional

Electrocoagulación	Tiempo de residencia	Minutos	Tiempo de contacto del agua residual con los electrodos que permitirá la liberación de iones.
	Intensidad de corriente	Amperios	Suministro de corriente externa a la celda para la generación de calor.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

En un tratado sobre la **“Evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable”**, se manifiesta la evaluación de variables imprescindibles para el desarrollo de la electrocoagulación en un régimen de tratamiento de aguas crudas, por medio la instalación de la celda electrolítica con ánodos - cátodos haciendo una evaluación a los tantos por ciento de depuración con el fin de así establecer cuan eficiente es el tratamiento. Se hicieron investigaciones con niveles a escala laboratorio con el uso de una celda electrolítica cuyo volumen es de 1000 mililitros, se utilizaron electrodos de hierro, aluminio y acero no oxidable y como material coagulante se trabajó con hidróxido de hierro e hidróxido de aluminio. Se diagnosticaron los % de supresión de color, turbidez y sólidos totales, con una figura aluminio - acero no oxidable y con una figura hierro - acero no oxidable. Los esperados datos obtenidos nos muestran que las eficacias al remover turbidez y color al usar el ánodo de aluminio llegaron de un 40% hasta un 80% a condiciones óptimas de voltaje con el cual se trabajó, división entre electrodos y tiempo. No obstante, los % de remoción con ánodo de hierro se encuentra en el intervalo de 10% hasta un 50% en la mejor situación del sistema estudiado. El análisis de varianza concluyo la presencia de una desigualdad expresiva al modificar el metal anódico. Los datos obtenidos dieron a conocer la presencia de una excelente correlación para los hidróxidos de metales generados en la coagulación electroquímica y la disminución de los contaminantes de mayor índole los cuales fueron sometidos a evaluación en el agua cruda, estos son la turbidez y color (9).

En el tratado titulado **“Diseño y construcción del prototipo de un sistema de electrocoagulación de tratamiento de aguas residuales”** se propuso como finalidad trabajar un prototipo electrónico a escala laboratorio de un electrocoagulador, este se usó para hacer las pruebas que corroboren la utilización de este método en los diversos tipos de aguas residuales generadas por las industrias. Los resultados que se obtuvieron mostraron que:

- Se estudió de manera exhaustiva el proceso de coagulación y electrocoagulación comprobando que la electrocoagulación es un proceso ascendente alternativo que promete para tratar agua residual.
- Esta técnica otorga una gran eficiencia al remover la contaminación adherida al agua
- El deterioro de electrodos dentro del equipo va vinculado de manera directa con respecto a la corriente proporcionada al equipo.
- Al emplear la electrocoagulación se quita la utilización de los químicos y requisitos al almacenarlos.

- El equipo con el cual se trabajó a la hora de ejecutar el tratamiento de aguas residuales pertenece a la celda electroquímica tipo Batch en una escala laboratorio con una configuración bifásica, este equipo nos otorgó poder realizar la evaluación de la eficacia del tratamiento de electrocoagulación utilizando electrodos de hierro y aluminio, el espacio entre electrodos fue de 2 cm., la cabida del reactor es de 15 litros y el área específica de cada placa es de 400 cm².
- Se decidió realizar el tratamiento con un reactor tipo Batch ya que este consta de una capacidad mayor al requerido del flujo de agua constante.
- La electrocoagulación viene a ser un procedimiento eficiente al disminuir los SST y turbidez del agua residual por medio del empleo de electrodos de aluminio y hierro.
- El intercambio de la polaridad en las placas impide deteriorar los electrodos en una sola cara, lo cual le permite ser competente debido a la oxidación homogénea que esta produce.
- Este trabajo tuvo una perspectiva industrial, requerido a tal razón, los componentes con los cuales se trabajaron fueron parte de la intensidad de hasta 40 amperios, sin embargo este trabajo requirió solo 25 amperios ya que fue lo necesario para este prototipo, el incremento de la potencia únicamente necesito cambios diminutos en la programación del microcontrolador. (10).

En la investigación titulada **“Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea”** determinan como principal objetivo considerar algunos puntos de vista del diseño de la celda, los electrodos, los materiales de este, la geometría y la disposición de los electrodos, estimando que estas variables son primordiales para que la aplicación de la electrocoagulación y por consiguiente tenga resultados óptimos. Asimismo, se determinó los parámetros eléctricos generados por la fuente de voltaje estudiando cómo se comportan los parámetros en la remoción de ellos. La metodología utilizada consiste en un diseño y elaboración de una celda de electrocoagulación con el fin de brindar tratamiento a las aguas residuales de una industria láctea por lo que fue necesario el uso de tres muestras de estas aguas residuales las cuales fueron caracterizadas midiendo el pH, la conductividad, DQO y el contenido de los aceites y grasas. Con respecto a los resultados se buscó determinar como la distancia entre electrodos menores a 10 mm generan tratamientos de mayor periodo de tiempo, esto se debe a los lodos que se forman logrando impedir que circule el medio acuoso y las turbulencias que generan coagulación obteniendo poca remoción de DQO. Asimismo, para distancias entre electrodos a 10 mm no se encuentran cambios en el tratamiento. Se sabe que, a mayor distancia de electrodos, mayor es la eficiencia de la remoción de DQO. Finalmente se observa que los 15 minutos y los 20 minutos son el tiempo máximo de remoción ya que posteriormente esta tendencia empieza a disminuir (11).

En el estudio titulado **“Diseño un Prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas”**, el cual tiene como base a la electrocoagulación buscar elaborar un diseño de

prototipo de tratamiento de agua residual domestica con esta metodología por lo cual lo primero que se realizo fue una caracterización de los parámetros fisicoquímicos del agua antes de ser sometida a tratamiento, todo en base a la normativa colombiana, basado en electrocoagulación, posteriormente se realizó otro análisis fisicoquímico para comparar los resultados obtenidos obteniendo así que el tipo de corriente que logra un proceso de electrocoagulación es la corriente directa, la intensidad de corriente requiere una cantidad de tensión respectiva controlando así la intensidad de corriente. La separación de electrodos estuvo bajo control de la tensión eléctrica, dado que si se desea alcanzar las corrientes necesarias con separación de electrodos mayor a 2.5 cm se necesita mayor tensión a los 90V. Esta condición los llevo a ajustar la distancia entre las celdas definiéndose así la densidad de corriente aplicada en el sistema. La combinación acero inoxidable-acero inoxidable tuvo mejor resultados ya que los flocs que se formaron presentaron un tamaño y consistencia significativa. Por el otro lado, el electrodo de combinación cobre-hierro llego a producir un efecto de galvanizado no requerido en el tratamiento de aguas residuales. Finalmente se obtuvo como resultados que es DQO remoción de un 75-83%, el DBO₅ de 89% - 100%, sólidos totales disueltos 51% - 54%, turbidez 93%-97%, color 82%-95%, conductividad 51%-52%, Coliformes 99.9%, del mismo modo que el aumento del porcentaje de oxígeno disuelto 349 % – 578% en lo que respecta al agua residual cruda. Se destaca que la mayor eficiencia de tratamiento se dio en aguas residuales urbanas. Como resultado se obtuvo que las aguas con tratamiento están dentro del rango de la resolución 631 - 2015 para las descargas en cuerpos de agua como en redes de alcantarillado. Del mismo modo, los parámetros de pH, Coliformes, color y grasas fueron encontradas en el rango que estipulan para el uso en fines recreativos de contacto secundario y para tratar y potabilizar (12).

En la presente investigación **“Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua”** se tuvo como finalidad determinar la conductividad y su influencia en la electrocoagulación generando un incremento de densidad de corriente. De igual manera de busco determinar las variables con mayor incidencia las cuales son la intensidad de corriente, tiempo de retención, pH y espaciamiento entre las placas. Como metodología primero se describió las dimensiones d la celda a condición Batch con un volumen de 4,5 L rectangular de 15 cm x 20 cm con una altura de b20 cm, se empleó electrodos de aluminio y hierro cuadrados conectados a una fuente de corriente continua con un potencial que trabaja constantemente mientras que el potencial e intensidad de corriente varían. Se trabajó con distancias de separación de 5 mm, 10 mm y 20 mm logrando obtener un mejor resultado a la distancia de 30 mm. Se utilizó 10 placas metálicas como electrodos entre ellas 5 de aluminio (ánodo) y 5 placas de hierro (cátodo). Se obtuvo como resultados que a pH de 7.1 e intensidad de corriente de 8 A se logró una eficiencia de 89% además que el DQO diminuto de 3290mg/L a 420 mg/L (13).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la tesis “tratamiento de aguas residuales por el método de electrocoagulación del sistema PTAR de la laguna de estabilización san José Lambayeque “, se investigó la determinación de la influencia del tratamiento de electrocoagulación en la calidad de agua en la laguna de estabilización del sistema PTAR San José-Lambayeque. Analizando y determinando las características físicas y químicas como son: temperatura y pH, Aceites y grasas, Demanda

Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de oxígeno. Después de desarrollarse las pruebas de laboratorio se llegó a los siguientes resultados:

Temperatura. _ se tomaron 5 muestras, estas fueron medidas a un tiempo de 0 min y a un tiempo de 60 min a 15 voltios obteniendo de esta manera 1ª temperaturas registradas. La primera temperatura registrada estuvo dentro de los LMP el cual es <35°C.

pH. _ Se obtuvo pH de valor entre 7.20 a 7.56 el cual está dentro de los LMP sin embargo el valor del pH final estuvo en el rango de 9.09 - 9.16 el cual está fuera del rango establecido el cual es un rango de 6.5- 8.5.

Aceites y Grasas. _ Los datos obtenidos en la primera caracterización estaban en el rango de 24.3 mg/L - 21.4 mg/L, superando los LMP. Luego de pasar por tratamiento se obtuvo 9.3 mg/L - 8.3 mg/L de aceites y grasas con un promedio de 8.76 mg/L; estando dentro del rango de los LMP.

Demanda Química de Oxígeno. _ Los datos obtenidos de la caracterización de DQO estaban dentro del rango de 541.7 mg/L-518.1 mg/L, con un promedio de 529.2 mg/L; estando fuera de los LMP. Los valores obtenidos de DQO después del tratamiento estuvieron en un rango de 146.85-121.35 mg/L, teniendo un promedio de 135.09 mg/L; estando dentro de los LMP. A pesar de que se sacaron 5 muestras diferentes, al hacer los análisis se obtuvieron datos similares tanto como para las pruebas antes de tratamiento y después del tratamiento.

Demanda Bioquímica de Oxígeno. _ Los valores obtenidos de DBO antes del tratamiento estuvieron en un rango de 202.7-190.1 mg/L, teniendo un promedio de 198.58 mg/L; estando por encima de los LMP. Los valores de DBO obtenidos después del tratamiento estuvieron en un rango de 97.9-80.9 mg/L, teniendo un promedio de 90.06 mg/L; estando dentro de los LMP (14).

En la tesis “tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales - ate vitarte” para optar el grado de Magíster en Gestión Integrada en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente Universidad Nacional Mayor de San Marcos 2020, se investigó y evaluó el tratamiento de electrocoagulación para tratar aguas residuales generadas de lavadoras con el fin de reutilizarlas en el riego de plantas dentro del condominio Jardines de Santa Clara de Ate Vitarte, esta investigación se desarrolló en una celda tipo Bach mediante electrodos de aluminio y acero inoxidable, con 20 litros de agua residual a condiciones de temperatura ambiente. Los experimentos que determinaron la remoción de los contaminantes en una intensidad de corriente de 5 amperios y 15 minutos concluyeron que un pH 7,7 genera resultados más eficientes dentro del rango de los LMP, en consecuencia los sólidos totales suspendidos, turbiedad y DQO fueron reducidos a 615 ml/L, 85.8 NTU y 286 ml/L a 25 ml/L, 0.84 NTU y 10 ml/L respectivamente. La celda de electrocoagulación elaborada a escala laboratorio tipo Bach, posee una gran capacidad de tratar efluentes generados por el uso de lavadoras. Se trabajó a un pH de 7.5 y 5 amperio de intensidad de corriente por un periodo de 15 min, los electrodos tuvieron una distancia de 2 cm entre ellos, finalmente se obtuvo una gran reducción de contaminantes entre ellos la turbiedad, DQO y sólidos totales obteniendo un 87.72%, 83.49% y 92.52% respectivamente (15).

En la tesis “Condiciones óptimas de operación en una celda de electrocoagulación para la reducción de la demanda química de oxígeno en aguas residuales domésticas” se buscó conocer las condiciones necesarias para la ejecución de una celda de electrocoagulación cuya finalidad es reducir la cantidad de DQO presente en las aguas residuales domésticas. Primeramente, se construyó la celda cuyas dimensiones fueron 14 cm x 15 cm x 15 cm con separación de electrodos de 1 cm. Finalmente se logró reducir el DQO de 394 mg/L a 138,7 mg/L siendo un 64.8% de reducción, este valor se logró a un pH ácido e intensidad de corriente de 6,5 A y 42 min (16).

2.1.3. Antecedentes locales

En el estudio sobre “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 Saños, 2020” se planteó como objetivo resolver si la electrocoagulación es un método efectivo para remover sólidos suspendidos totales en las aguas residuales del distrito de San Pedro de Saños, Huancayo - 2020. Primero determinaron la caracterización del agua muestreada de tres puntos analizando los sólidos suspendidos totales y pH, la concentración inicial de sólidos suspendidos totales se mantuvo por debajo de los ECA en dos de los puntos de muestreo mientras que en el tercer punto supero los 100 mg/L que establecen los ECA - agua para la categoría 4 - con el valor de 296,5 mg/L. El valor del pH se encontró dentro de los rangos de 6 y 8 el cual fue medido mediante un multiparámetro logrando encontrar su valor dentro del rango de los ECA. Luego del tratamiento de agua respectivo se observó que estos parámetros continuaban manteniéndose debajo del rango de los ECA de agua, dando a conocer entonces que la electrocoagulación es un método de tratamiento eficaz de sólidos suspendidos totales y pH. Teniéndose que las concentraciones iniciales de sólidos suspendidos totales fueron de 296.5 mg/L, 34.3 mg/L y 18 mg/L para el punto 1, 2 y 3 respectivamente, luego del tratamiento de electrocoagulación la concentración final estaba dentro de los rangos de 3.444 mg/L a 31.345 mg/L de sólidos totales suspendidos. Este proceso se dio a una intensidad de 3A y en 20 min logrando remover hasta un 89,43 % de estos sólidos suspendidos totales de las aguas residuales del distrito de San Pedro de Saños. Dando así a conocer que la electrocoagulación es una alternativa prometedora para remover sólidos suspendidos totales ya que se puede lograr una eficiencia de remoción de hasta 89.43 % (17).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Electrocoagulación

2.2.1.1. Tratamiento de agua residuales mediante electrocoagulación

La técnica del método de electrocoagulación inicio el 1988 utilizando ánodos de hierro soluble con una potencia de 1.8 V para los electrodos los cuales estaban separados por 1 pulgada conteniendo una corriente anódica de 0.6 A/pie². Siéndose que en 1996 este método evoluciono coagulando agua cenagosa de rio mediante el uso de ánodos de hierro y aluminio. En los últimos veinte años se logró remover hasta aceites, grasas y petróleos generados por las industrias de textilería, potabilización y más. Antes que las aguas residuales fueran filtradas e los cuerpos de agua naturales es necesario que estas sean tratadas con el fin de eliminar algún

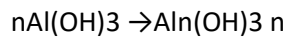
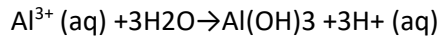
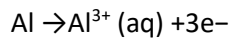
contaminante de una manera sencilla y económica. Los tratamientos físicos más comunes son los biológicos, tales como la bio-oxidación y la fermentación anaerobia; y la sedimentación y la filtración; químicos, como la precipitación y la oxidación. La electrocoagulación vendría a ser un sistema de tratamiento de aguas donde se producen partículas sólidas menos coloidales y solubles o emulsionadas. En este momento, los contaminantes suelen formar componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, logrando facilitar la remoción mediante un tratamiento secundario. Asimismo, los iones metálicos son liberados y dispersados en el agua tendiendo a generar óxidos metálicos los cuales atraen eléctricamente a los contaminantes desestabilizados (18).

2.2.1.2. Proceso de electrocoagulación

Cuando se realiza la electrolisis se da una sucesión de reacciones químicas y físicas los cuales generan que los contaminantes sean removidos, estas reacciones son causa de que los electrodos proporcionan iones positivos y negativos, el ánodo se encarga de proveer los iones metálicos siendo así el electrodo del sacrificio puesto que su placa metálica se disuelve mientras que la del cátodo no. Los iones generados desestabilizan las cargas que contienen los contaminantes del agua debido a la eliminación de sistemas que mantienen los sólidos suspendidos logrando que se dé la coagulación de ellos. Los iones que brindan electrodos buscan desencadenar un proceso de remoción de contaminantes por dos vías: una de precipitación y reacciones químicas y otra de procesos físicos de agregación de coloides, que pueden precipitar o flotar. Las reacciones de mayor importancia que sufren los contaminantes son: formación de radicales libres, reacciones de ionización, hidrólisis y electrólisis. Ellas alteran la característica del agua contaminada lo que acarrea a su reducción de ella. Según la ley de Faraday, en la electrocoagulación, el número de sustancias generadas en un electrodo llega a ser distributivo al número de carga que recorre el sistema, además el número total de moles de sustancia generada por un electrodo se relaciona de manera estequiométrica con la electricidad del sistema. El coagulante en la electrocoagulación es formado in situ por medio de las reacciones generadas por la disolución de iones del metal los cuales conforman el electrodo de sacrificio siendo así generadas en el ánodo, estos iones metálicos dan origen al coagulante del proceso. Según Mohllah, la electrocoagulación consta de tres etapas: la primera consiste en la formación del coagulante cuando se oxida electrolíticamente el ánodo, segundo se desestabilizan los contaminantes y tercero se forman los flóculos debido a la adsorción generada por el coagulante (13)

La electrólisis viene a ser el electrolito descomponiéndose según la corriente eléctrica va tomando lugar al introducirse dos electrodos dentro de una disolución electrolítica o ion fundido generando una desigualdad de potencial continua entre ellos. Lo que generan las reacciones químicas de las reacciones electroquímicas es que generan las reacciones químicas que alteran el cuerpo receptor durante la electrolisis basándose en ganar o perder electrones (reducir u oxidar) generada en presencia de electrodos. La electrocoagulación dada electroquímicamente se genera mediante agentes desestabilizantes encargados de neutralizar la carga de contaminantes en la disolución. Las reacciones que intervienen en el tratamiento son:

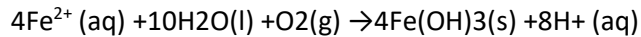
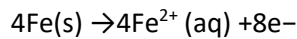
- Con el ánodo de aluminio:



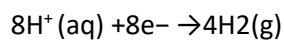
- Con el ánodo de acero. Por tal motivo en este caso se genera $\text{Fe}(\text{OH})_n$ por dos mecanismos:

Mecanismo 1:

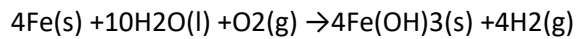
Ánodo:



Cátodo:

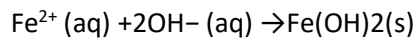
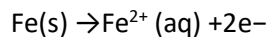


Global:

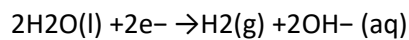


Mecanismo 2:

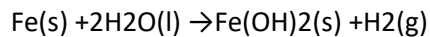
Ánodo:



Cátodo:

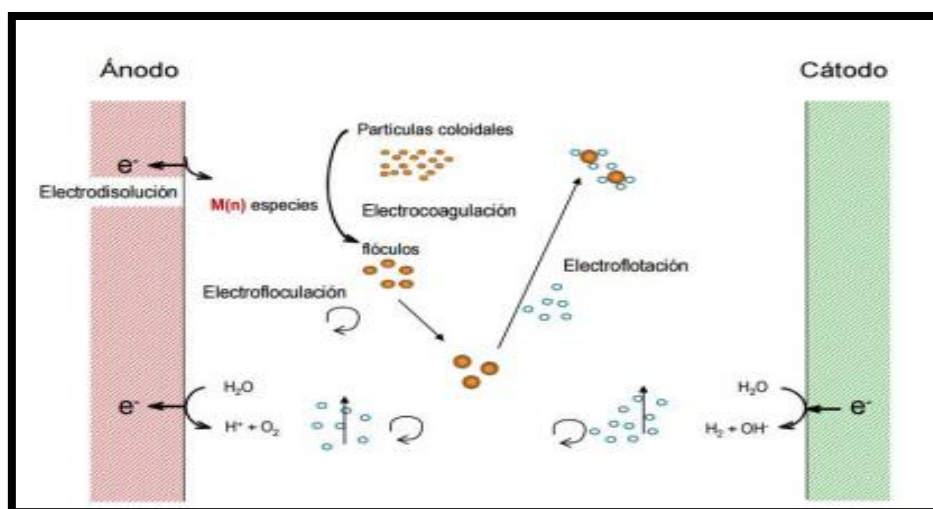


Global:



Mediante estas reacciones se llegan a producir la electro-oxidación del ánodo y la pasivación del cátodo. Los hidróxidos complejos generados en el proceso poseen la propiedad de absorber generando así flóculos de los contaminantes, estos flóculos al tener más peso y gas en la superficie electródica, sedimentan más rápido brindando la posibilidad de ser separadas por el método de decantación, filtración o flotación. Al combinarse este proceso con generadores de microburbujas de aire favorecen la separación dada por flotación (19).

Figura 1. Procesos involucrados en un reactor de electrocoagulación



Fuente: (19).

2.2.1.3. Factores que afectan la electrocoagulación

Las circunstancias que involucran y/o alteran el tratamiento por electrocoagulación afectando indirecta o directamente la efectividad de este son:

pH. Este factor influye significativamente en la corriente generada durante la transformación de solubilidad del metal que produce hidróxido. Según diversos estudios el pH sufre alteraciones las cuales dependen del equipo de los electrodos y pH inicial del agua que se pondrá a tratamiento, este puede ser incrementado en aguas residuales ácidas debido al hidrógeno generado por el cátodo, por otro lado, en aguas alcalinas el pH podría disminuir dependiendo de la naturaleza del contaminante. Según investigaciones realizadas, se logra mayor remoción de contaminantes cuando el pH es cercano a 7. Un ejemplar de este caso es cuando se remueve arsénico de aguas de consumo al trabajar con un pH entre 6 y 8, también se remueve gran cantidad de DBO, DQO y turbidez en las industrias textiles con un pH 7. Las reacciones dadas en el proceso de electrocoagulación brindan al medio acuoso la característica buffer. Asu vez en su mayoría, en las aguas residuales alcalinas, esta peculiaridad procede cambios fuertes de pH, por lo que se requiere menor dosis de químicos que regulan el pH.

Densidad de corriente. Debido a la influencia de las variables eléctricas durante la electrocoagulación, se requiere una evaluación de estas. Se sabe que el consumo de energía junto a su capacidad de remover aumenta cuando se incrementa la densidad de la corriente. En ciertas conductividades de un medio acuoso, la energía aumenta proporcionalmente aumenta la conductividad de ella, en determinados casos hay pérdida al transformarse la energía eléctrica en energía calórica, generando así un incremento de temperatura en un medio acuoso. El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina cuantos iones de aluminio Al^{+3} o hierros Fe^{+2} , deben ser liberados por electrodos. Generalmente, el incremento de densidad de corriente ocasiona que se remueva mejor un contaminante sin embargo si la densidad de corriente excede significativamente genera una disminución de eficiencia del proceso. El seleccionar la densidad de corriente es importante por tales motivos, por lo cual se debe tener en cuenta los factores que influirán en el proceso como son el pH y la temperatura. La energía eléctrica que será suministrada a la celda electroquímica podría ser de

corriente alterna o directa según la respuesta electroquímica dada entre la placa y el agua residual que fue pasada por el tratamiento. Al suministrar una corriente directa al tratamiento se llega a producir un cátodo una impermeabilización lo que genera menor porcentaje de remoción.

Conductividad: Al incrementarse la conductividad eléctrica se logra generar un aumento de densidad de corriente mientras que cuando se mantiene un voltaje constante con un incremento de conductividad y densidad constante se genera menor cantidad de voltaje aplicado. Al añadirse electrólitos como son el NaCl o CaCl_2 se logra generar un incremento de conductividad en el agua residual a tratar. Adicionalmente, se sabe que los iones de cloruro tienen la capacidad de disminuir consecuencias adversas de iones como HCO_3^- y SO_4^{2-} , ya que al presentarse iones carbonatos o sulfatos podrían conllevar a que se precipiten Ca^{+2} y Mg^{+2} permitiéndose producir una capa insoluble la cual se deposita encima de los electrodos llegando a mejorar el potencial de estos y disminuyendo la eficiencia de la corriente. En el proceso de electrocoagulación es recomendable que la cantidad de Cl se mantenga en un 20% aproximadamente.

Temperatura. La temperatura y su efecto en la electrocoagulación no es ha sido estudiada a profundidad sin embargo se sabe que la eficaz en la corriente aumenta hasta los 60° C aproximadamente, donde posteriormente empieza a disminuir. Esto se debe al aumento de labor de destrucción de la placa de óxido de aluminio (13).

2.2.1.4. Mecanismos del proceso de electrocoagulación

Durante la electrólisis se generan diversas reacciones físicas y químicas las cuales pueden remover contaminantes. Estos procesos dados durante la electrocoagulación son:

Los electrones proporcionan iones negativos y positivos.

En ánodo o electrodo de sacrificio proporciona el ion metálico mediante la disolución de su placa (17).

Los iones generados desestabilizan las cargas poseedoras de contaminantes de aguas.

Las partículas en suspensión son eliminadas lo cual genera la marcha de coagulación de las partículas de contaminantes presentes en el agua.

Los iones proporcionan electrodos que eliminan los contaminantes por dos maneras: una mediante reacciones químicas y precipitación y otra mediante procesos físicos de agregación de coloides, los cuales depende de la densidad y so afectados por la flotación y/o decantación. Las reacciones de mayor importancia que sufren las partículas de contaminantes son: hidrólisis, electrólisis, reacciones de ionización y formación de radicales libres (20).

Según la ley de Faraday, en la electrocoagulación, las sustancias generadas en un electrodo vienen a ser proporcional a la cantidad de cargas que atraviesan el sistema, y el número total de moles de sustancia generada en un electrodo se relaciona estequiométricamente con la electricidad con la que trabaja el sistema. De manera diferente a la coagulación química, donde se adiciona el coagulante como agente químico, en la electrocoagulación el coagulante

se forma in situ por medio de las reacciones que se dan debido que se disuelven los iones del metal que conforman el electrodo de sacrificio. Se sabe que el ánodo produce los iones metálicos los cuales generan la sustancia química usado como coagulante (20).

2.2.2. Aguas residuales

2.2.2.1. Tratamiento de aguas residuales

En la actualidad se conocen diversos tratamientos para aguas residuales, estos son seleccionados según la particularidad fisicoquímicas y biológicas del agua que se tratará, cabe resaltar que el agua residual domestica no es igual al agua residual proveniente de industrias, esto se debe a la composición de cada una de ellas por lo que cada una requiere un tratamiento diferente según las características que está presente. Las aguas residuales domesticas contienen usualmente alta carga orgánica lo cual los microorganismos de los tratamientos biológicos pueden degradar con facilidad siendo los tratamientos biológicos muy factibles para su tratamiento, sin embargo, se puede dar uso de otros tratamientos dependiendo de la calidad de agua y economía. La mayoría de aguas residuales industriales a diferencia de las aguas residuales domesticas no contienen mucha carga orgánica por lo que los tratamientos biológicos no son muy recomendables sin embargo hay excepciones de industrias que la contienen por lo que se pueden emplear un tratamiento biológico simple o en combinación (19).

2.2.2.2. Clasificación del tratamiento de aguas residuales

Con el fin de reducir los contaminantes de las aguas residuales se realizan diversos tratamientos químicos, físicos y biológicos los cuales tratan las aguas según las características que presente el cuerpo hídrico, estos son usados individualmente o de forma combinada, estos tratamientos son mostrados en la siguiente tabla (20):

Tabla 3. Procesos unitarios según la etapa de tratamiento

Tratamiento	Operaciones unitarias
Preliminares	Dilaceración, desbaste, filtración, flotación, remoción por gravedad, tanque Imhoff, filtración por membrana, remoción de grasas y aceites, tamizado grueso y fino y micro tamizado.
Primarios	Tamizado, sedimentación primaria
Secundarios	Lodos activados, reactores de lecho fijo, sistemas de lagunaje, sedimentación secundaria, deshidratación.
Terciarios	Coagulación química, floculación, sedimentación seguida de filtración y carbón activado. Intercambio iónico,

osmosis inversa,
electrocoagulación.

Fuente: (20).

2.2.3. Normativa peruana

2.2.3.1. Estándares de calidad

Tabla 4. ECA agua - Categoría1: poblacional y recreacional

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	3	5	10
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30

Tabla 5. ECA agua - Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: riego de vegetales	D2: bebida de animales
Agua para riego no restringido(c)	Agua para riego no restringido	Bebida de animales	
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	40	40

Fuente (24).

Tabla 6. ECA agua - Categoría 4: conservación del ambiente acuático

Parámetro	Unidad de medida	E1: laguna y lagos	E2: ríos	E3: ecosistemas Costeros y marinos
Costa y sierra	selva	estuarios	marinos	

Físicos -Químicos

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10
---	------	---	----	----

Fuente (21).

2.2.3.2. Límites máximos permisibles

Tabla 7. Límites Máximos permisibles (LMP)

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 mL	10.000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos totales en suspensión	mL/l	150
temperatura	°C	<35

Fuente (21).

2.3. Definición de términos básicos

- **Agua:** Sabiéndose que es un recurso natural renovable el cual es necesario para la supervivencia de todo ser vivo además se sabe que es un factor clave en el desarrollo sostenible mediante la preservación del medio ambiente (22).
- **Aguas residuales:** Aguas afectadas por la contaminación de ellas o que contienen una alteración de sus propiedades naturales, esto puede ser debido a la actividad humana o por su calidad de ella (23).
- **Aguas residuales domésticas:** Aguas cuyo origen son los domicilios o comercios, estas aguas contienen restos fisiológicos, entre otros, generado por las actividades humanas por lo que requieren un tratamiento adecuado (23).
- **Oxidación:** Producido cuando un contaminante es modificado químicamente mediante una reacción fisicoquímica en el cual intervienen hidroxilos (OH) con el fin de oxidar algún compuesto orgánico de manera eficiente (24).

- **DQO:** Oxígeno requerido para lograr oxidar la carga orgánica existente en las muestras de agua. Esto se da mediante procesos químicos, sus unidades son miligramos de oxígeno por litro de muestra (mg/L) (25).
- **DBO:** Oxígeno requerido para que los microorganismos sean alimentados al momento que suelen degradar la sustancia orgánica existente en las muestras de agua. Sus unidades son miligramos de oxígeno por litro de muestra (mg/L) (26).
- **Límite Máximo Permisible (LMP):** Concentración máxima permitida de parámetros físicos, químicos y biológicos, los cuales indican la calidad del cuerpo a estudio, el superar estos límite implica daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (26).
- **Estándares de Calidad Ambiental (ECA):** Concentración de metales, parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, etc. en agua, suelo y aire que no deben ser sobrepasadas ya que alterarían la inicial de estos recursos produciendo un riesgo a la población (8).
- **Coagulación:** Proceso químico que desestabiliza la fuerza repulsiva existente en las partículas coloidales (27).
- **1.1.1. Floculación:** Proceso físico donde se genera una colisión de adherencia de las partículas coloidales las cuales fueron desestabilizadas con el fin de formar grandes partículas llamadas también flóculos (27).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, y alcance de la investigación

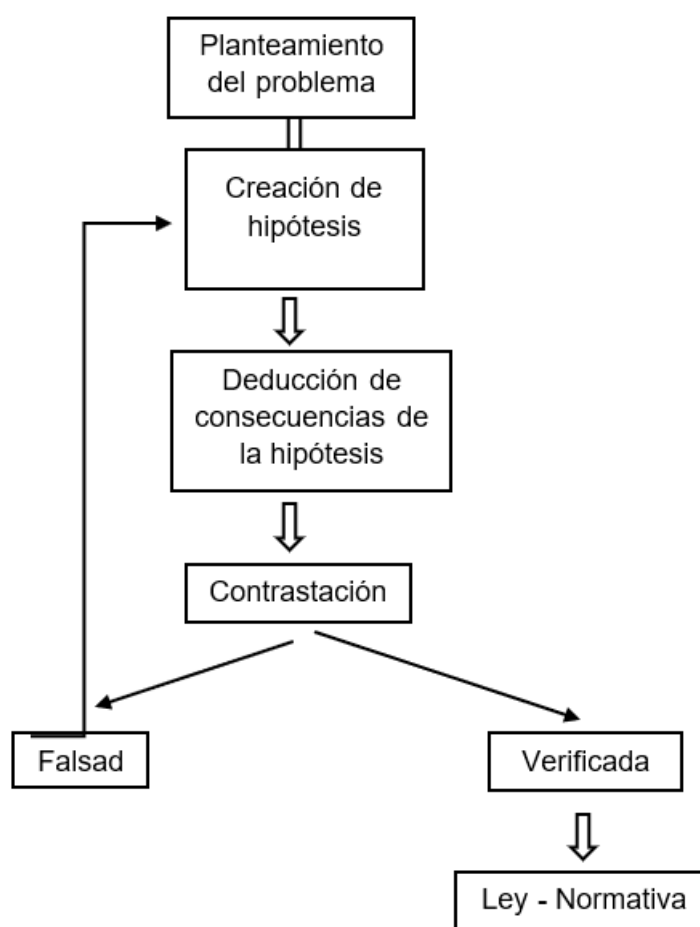
3.1.1. Método de la investigación

El procedimiento de la presente investigación fue experimental con fundamento científico, debido a que es un grupo de pasos basados en la lógica los cuales utilizan la ciencia generando nuevos conocimientos contrastables y fundamentados (28), este método permite evaluar y contrastar la eficiencia al aplicar la electrocoagulación para remover carga orgánica de las aguas residuales del distrito de Ahuac, para ello se determinará los procedimientos, materiales y equipos técnicos que ayudaran a cumplir con los objetivos y dar validez a las hipótesis.

A. Método general o teórico de la investigación:

Se desarrolló una metodología hipotética – deductivo que cuenta con lo siguiente:

Figura 2. Metodología



3.1.2. Alcance de la investigación

El tipo de investigación trabajado fue aplicada (32); debido a que en el presente trabajo se manipulo de manera intencional una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), con el fin de conocer los efectos generados en la variable dependiente (supuestos efectos-consecuentes) al manipularlas, teniendo así un control absoluto sobre el obteniendo datos a través de la experimentación y estos resultados de datos compararlos con las variables constantes, a fin de determinar las causas los efectos de los parámetros de DQO y DBO₅.

La investigación experimental genera tecnologías innovadoras mediante el conocimiento adquirido mediante una investigación estratégica con el fin de determinar si ellos podrían ser utilizados para diversos propósitos, en cualquier parte de mundo.

Este tipo de investigación es elegido debido a la aplicación de la electrocoagulación para la remoción de sólidos totales en las descargas de aguas residuales domésticas y con ello mejorar los parámetros relacionados.

3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel de investigación fue descriptivo-correlacional (32), ya que se tomó como propósito determinar el grado de relación entre la remoción de DQO y DBO₅ y las variables manipulables.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Tipo de la investigación

Diseño factorial experimental puro con pre y post prueba, donde se incluyeron una o dos variables dependientes e independientes (32), las cuales evaluarán la remoción de DQO y DBO₅ antes y después de la electrocoagulación. De igual manera, este tipo de diseño nos brinda la posibilidad de manipular las variables siendo en esta oportunidad, la intensidad de corriente y tiempo de residencia de las muestras de agua.

El diseño factorial nos ayuda a identificar todas las posibles combinaciones para realizar las corridas experimentales, el número de pruebas se calculó con la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ pruebas} = m^n$$

Dónde:

m: Indica los niveles.

n: Indica la cantidad de variables independientes.

Tabla 8. Datos del diseño

Símbolo	Indicadores variables independientes	Unidades	Min- máx.
a	Tiempo de residencia	minutos	30 - 35 - 40
B	Intensidad de corriente	amperios	3 - 3.5 - 4

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Arreglo factorial 3²

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	RI	RII	RIII
3	30			
	35			
	40			
3,5	30			
	35			

	40
	30
4	35
	40

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9 se puede observar que se trabajó con un arreglo factorial de 3^2 debido a que se trabaja con 2 factores (tiempo de residencia e intensidad de corriente) cada uno con 3 niveles. Además, se puede observar un total de 3 réplicas teniendo un total de 27 corridas experimentales.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Al ser un trabajo experimental, se recolecto el agua residual domestico producidas por las áreas urbanas del distrito de Ahuac como son: cuartel primero, cuartel segundo, cuartel tercer, cuartel cuarto, Chinchilpuquio, aúllan, los cuales ingresan a sus pozas de oxidación, siendo este flujo variado de agua la población infinita del trabajo de investigación.

3.3.2. Toma de muestra

La toma de muestra de realizo según la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA - Aprueban el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales"

3.3.3. Tamaño de muestra

El tamaño de muestra se definirá con la siguiente fórmula para poblaciones infinitas:

$$n = n_o$$

$$n_o = \frac{Z_{\alpha}^2 \sigma^2}{E^2} = \frac{Z_{\alpha}^2 PQ}{E^2}$$

Donde:

n: Tamaño de muestras

n_o : Tamaño de muestra aproximado

Z_{α} : Valores correspondientes al valor de significancia (1,96)

P: Probabilidad de ocurrencia del fenómeno (60%)

Q: 1-P (40%)

E: Error de la tolerancia de investigación (3%)

$$n_o = \frac{1.96^2 0.6 * 0.4}{0.03^2} = 1024 mL \cong 1 \text{ Litro}$$

La muestra para cada análisis experimental fue de 1 L, en la toma de muestra se realizó una toma de muestra de 1 Litro para la caracterización y 27 L para todas las pruebas experimentales,

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

- Observación

Siéndose que en esta investigación se dio uso a la observación experimental como una técnica de recolección de datos, puesto que el investigador se involucra abiertamente con el objeto en estudio, en este caso, las muestras de agua antes y después del tratamiento. Donde es de mucha importancia observar y realizar un registro de los sucesos, dado que, son las primeras impresiones las cuales deben ser consolidadas con los resultados obtenidos.

3.4.2. Instrumentos

- Ficha de recolección de datos

Se recurrió a este tipo de instrumento debido al fácil registro y manejo de información en lo que corresponde a las variables de la investigación.

3.5. Metodología de experimentación

3.5.1. Materiales y equipos utilizados

Tabla 10. Materiales y equipos

Materiales			
Nº	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Guantes de látex	2	Und
2	Guardapolvo	1	Und
3	Rollo de papel toalla	1	Und
4	Agua destilada	500	MI
5	Cooler	1	Und
6	Frascos rotulados	2	Und
7	Recipientes	2	Und

Equipos			
1	Celda de electrocoagulación	1	Und
2	Fuente de poder	1	Und
3	Electrodos de aluminio y hierro	1	Und
4	Cronometro	1	Und

3.5.2. Procedimiento

3.5.2.1. Etapa de Pre-campo (13/09/22)

- Se siguió el protocolo para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos.
- Se contó con los equipos de protección personal para el respectivo muestreo (guardapolvo, guantes de látex, cofia, mascarilla).
- Se preparó un frasco de plástico de polipropileno de 1 L para la primera muestra y recipiente de 27 L para la segunda muestra.
- Asimismo, se preparó el cooler y refrigerante (hielo) para conservar las muestras hasta la llegada al laboratorio.
- Se esterilizó los frascos respectivos siguiendo los pasos: recepción, remojo con detergente, lavado, enjuague con agua, enjuague con alcohol y secado; especificados en el manual de esterilización (29).
- El frasco para la caracterización estuvo rotulado especificando el lugar, fecha y hora de toma de muestra.
- Se tomó dos muestras de las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac, la primera muestra de 1 litro es para la caracterización fisicoquímica del agua y la segunda muestra será de 27 L para las pruebas experimentales (9).

3.5.2.2. Etapa de Campo (14/09/22)

- Se colocó los equipos de protección personal.
- Se limpio 3 veces el frasco correspondiente antes de tomar la muestra.
- Se cogió la muestra hasta el ras del frasco.
- Se colocó los frascos sellados en el cooler con los refrigerantes (hielo) mientras dure el muestreo y transporte al laboratorio.
- Se revisó si las muestras estaban correctamente cerradas.
- Se transportó las muestras al laboratorio. Las muestras fueron llevadas al laboratorio lo más antes posible después de haber sido recolectadas.

3.5.2.3. Etapa de Experimentación (14/09/22)

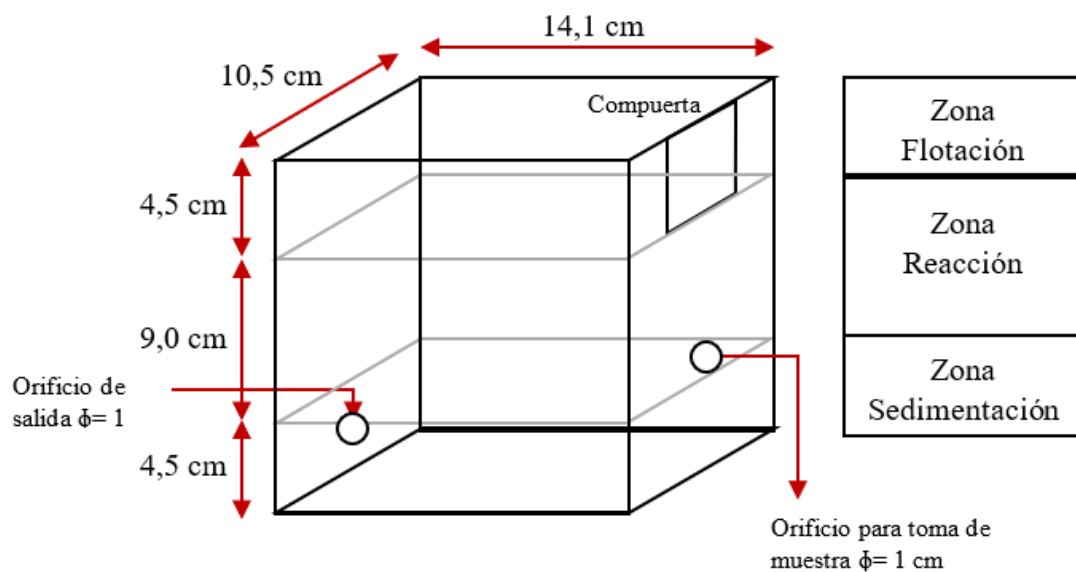
- Elaboración de la celda de electrocoagulación
- Se elaboró una celda para electrocoagulación con material acrílico, Esta celda tuvo un volumen de 2 L con una capacidad de tratamiento 1 L. Esta celda presentó 3 regiones:

Zona de flotación: Se depositaron los lodos y espumas.

Zona de reacción: Aquí se encontraban los electrodos y se dieron las reacciones electroquímicas.

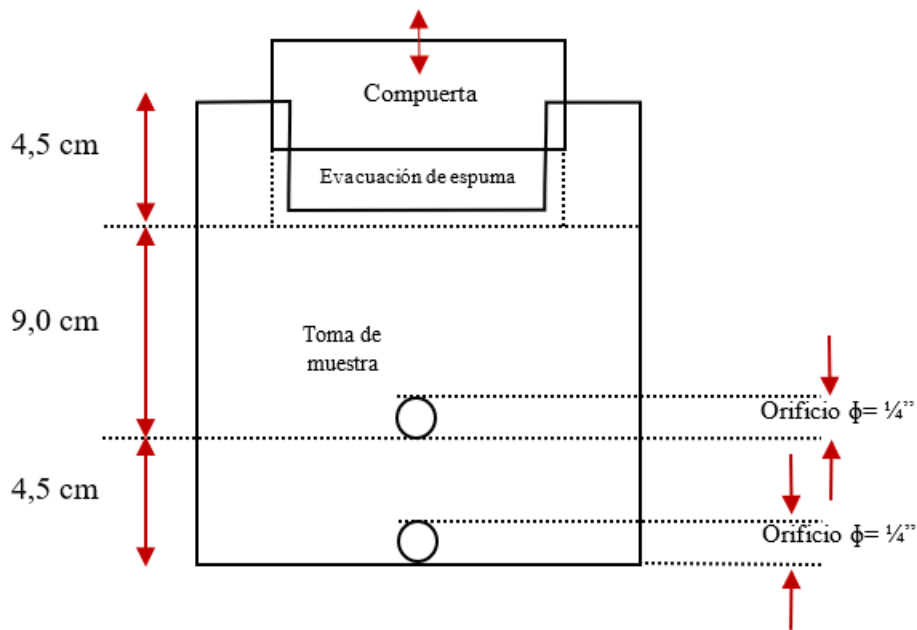
Zona de sedimentación: Se depositaron los lodos de precipitación.

Figura 3. Diseño de la celda de electrocoagulación



En el proceso la zona de flotación y sedimentación equivalía $\frac{1}{4}$ del volumen total mientras que la zona de reacción equivalía $\frac{2}{4}$ del volumen. La celda estaba compuesta por una compuerta para la evacuación de la espuma, asimismo de dos llaves para la toma de las muestras, una en la Zona Reacción y otra en la zona Sedimentación.

Figura 4. Vista frontal del diseño de la celda



- Instalación del equipo:
- Se emplearon electrodos de hierro y aluminio (3 mm de espesor):

Ánodo de aluminio de 9 cm de alto y 8 cm de ancho

Cátodo de fierro de 9 cm de alto y 8 cm de ancho

- El diseño de los electrodos fueron placas rectangulares ordenadas en serie.
- Se colocó cada una de las placas con una separación de 2 cm entre el arreglo de placas y cada una de las caras laterales de la celda, esto se dio con el fin de permitir que el flujo de agua residual sea constante en el momento de la electrólisis.
- El número de electrodos se determinó mediante una ecuación donde se considera una separación máxima entre electrodos de 15 mm más 3 mm del espesor de cada placa.

$$N^{\circ} \text{ de electrodos} = \frac{(\text{ancho de la celda}) - 2 * (\text{dist. elect. a cara lateral})}{(\text{dist. maxima entre electrodos} + \text{espesor de placa})}$$

$$N^{\circ} \text{ de electrodos} = \frac{(141 \text{ mm}) - 2 * (20 \text{ mm})}{(15 \text{ mm} + 3 \text{ mm})}$$

$$N^{\circ} \text{ de electrodos} = 6$$

Por lo tanto, el número de electrodos que se utilizaron son 6.

- Mediante cocodrilos, se instaló la celda de electrocoagulación a una fuente de poder de corriente continua. Esto nos ayudó a regular el montaje.
- Se adicionó 1 L de la muestra de agua residual en la celda.

- Proceso de electrocoagulación
 - Para dar comienzo al proceso se prendió la fuente de corriente a las condiciones establecidas en nuestro diseño.
 - Seguidamente se apagó el equipo luego de haber concluido el tiempo establecido en el diseño
 - Se retiró los electrodos.
 - Con ayuda de una paleta se retiró las espumas (contaminantes menos densos), las cuales se encontraron extendidas en toda la superficie.
 - Se dejó reposar el agua tratada por un tiempo de 20 min con el fin de que se lleguen a precipitar los sólidos suspendidos.
 - Se tomó las muestras del agua tratada para sus respectivos análisis.
 - Este proceso se realizó para cada prueba experimental.

3.5.2.4. Etapa de Laboratorio (16/09/22)

Se envió 500 mL de agua ya tratada por cada corrida experimental al laboratorio GRUPO JHACC para el análisis respectivo de DBO₅ y DQO.

3.5.2.5. Etapa de Gabinete (21/09/22)

Con los reportes de laboratorio otorgados se realizó la tabulación de todos los resultados obtenidos. Para la comprobación de la hipótesis general en el trabajo de investigación, se empleó un análisis de ANOVA, esto se trabajará con el software Minitab 18. Las gráficas y los diagramas serán elaborados con RStudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados y análisis de la información

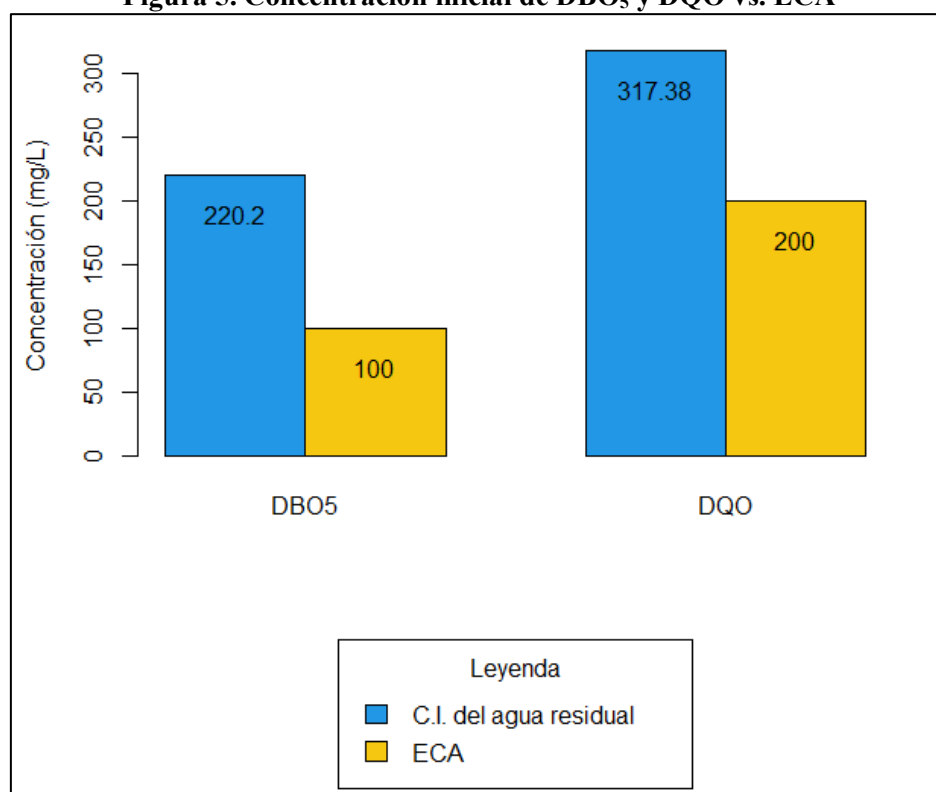
4.1.1. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac.

Tabla 11. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac

Parámetro	LMP	Concentración inicial
DBO ₅	100 mg/L	220,20 mg/L
DQO	200 mg/L	317,38 mg/L

En la tabla 11 se muestran los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac donde se observa que el valor de la concentración inicial de DBO₅ es de 220.20 mg/L sobrepasando los LMP el cual es 100 mg/L. De igual manera se observa que el valor de la concentración inicial de DQO es de 317,38 mg/L sobrepasando también los LMP el cual es 200 mg/L.

Figura 5. Concentración inicial de DBO₅ y DQO vs. ECA



En la figura 5 se puede observar las concentraciones iniciales de DBO₅ y DQO de las aguas residuales domésticas obtenidas del distrito de Ahuac donde se comparan con el ECA, estos

resultados sobrepasan los valores establecido en el ECA las cuales causan daños para la salud y el ambiente.

4.1.2. Influencia del tiempo de residencia en el % de remoción de la DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales

Se evaluó la influencia del tiempo de residencia en el % de remoción de DQO y DBO₅ a 3 tiempos los cuales fueron: 30 min, 35 min y 40 min, estos porcentajes de remoción fueron evaluados en cada intensidad de corriente trabajada.

Tabla 12. Influencia del tiempo en la concentración final de DQO a 3A

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DQO			
		Replica I (mg/L)	Replica II (mg/L)	Replica III (mg/L)	Promedio (mg/L)
3	30	178,25	180,32	179,54	179,37
	35	183,15	182,63	183,42	183,07
	40	155,55	150,43	151,09	152,37

En la tabla 12 se puede observar las concentraciones finales de DQO en distintos tiempos a 3A obteniendo que la mejor remoción de DQO lograda fue con una concentración final de 152,30 mg/L, esto se obtuvo a un tiempo de residencia de 40 min, mientras que la remoción más baja de DQO que se logró tuvo una concentración final de 183,07 mg/L en un tiempo de 35 min.

Luego de realizar las tres réplicas se calcularon los porcentajes de remoción de DQO obtenidos en los distintos tiempos, empleando la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{(C_o - C_f)}{C_o} \times 100$$

C_o = Concentración inicial mg/L.

C_f = Concentración final mg/L.

$$\% \text{ de Remoción} = \frac{317,38 - 178,25}{317,38} \times 100$$

$$\% \text{ de Remoción} = 43,84\%$$

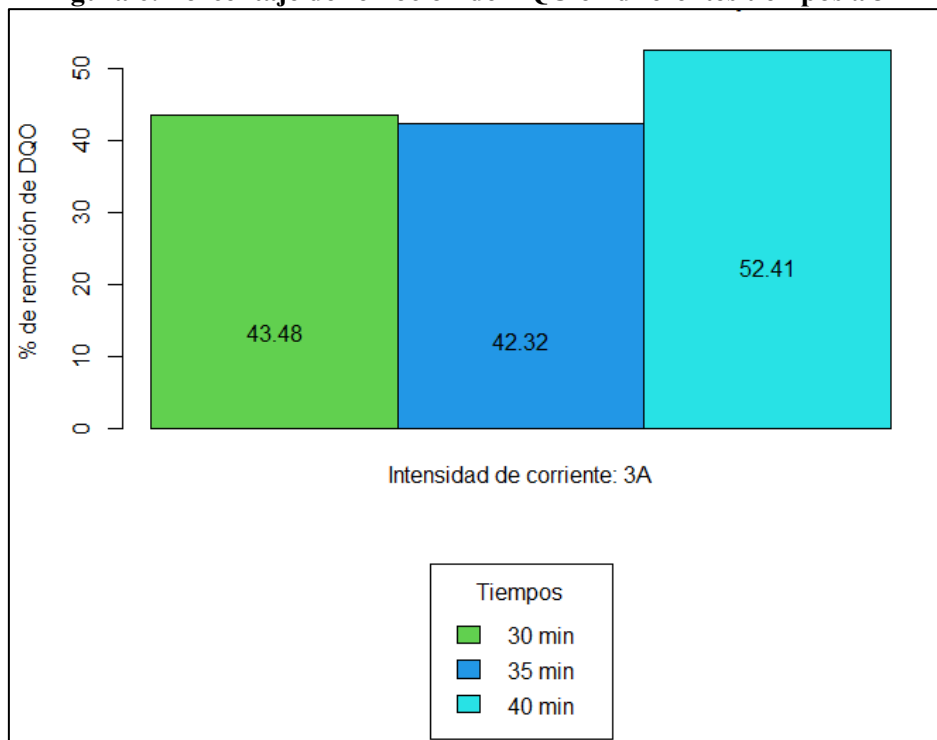
Los mismos cálculos de realizó para cada tratamiento.

Tabla 13. Influencia del tiempo en el % de remoción de DQO a 3A

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DQO			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
3	30	43,84	43,18	43,43	43,48
	35	42,29	42,46	42,21	42,32
	40	52,25	52,60	52,39	52,41

En la tabla 13 se puede observar el porcentaje de remoción de DQO que se logró a distintos tiempos con una intensidad de corriente de 3A obteniendo que la mejor remoción de DQO lograda fue de 52,41%, esto se obtuvo a un tiempo de residencia de 40 min, mientras que la remoción más baja de DQO que se logró fue de 42,32 en un tiempo de 35 min.

Figura 6. Porcentaje de remoción de DQO en diferentes tiempos a 3A



En la figura 6 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de DQO a una intensidad de corriente de 3A fue de 52,41% el cual fue dado un tiempo de 40 min.

Tabla 14. Influencia del tiempo en la concentración final de DBO₅ a 3A

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DBO ₅			
		Replica I (mg/L)	Replica II (mg/L)	Replica III (mg/L)	Promedio (mg/L)
3	30	98,80	97,06	97,25	97,7
	35	94,30	94,45	93,16	93,97
	40	88,40	89,34	88,23	88,66

En la tabla 14 se pueden observar las concentraciones finales de DBO₅ en distintos tiempos a 3A obteniendo que la mejor remoción de DBO₅ lograda fue con una concentración final de 88,66 mg/L, esto se obtuvo a un tiempo de residencia de 40 min, mientras que la remoción más baja de DBO₅ que se logró tuvo una concentración final de 97,7 mg/L en un tiempo de 30 min.

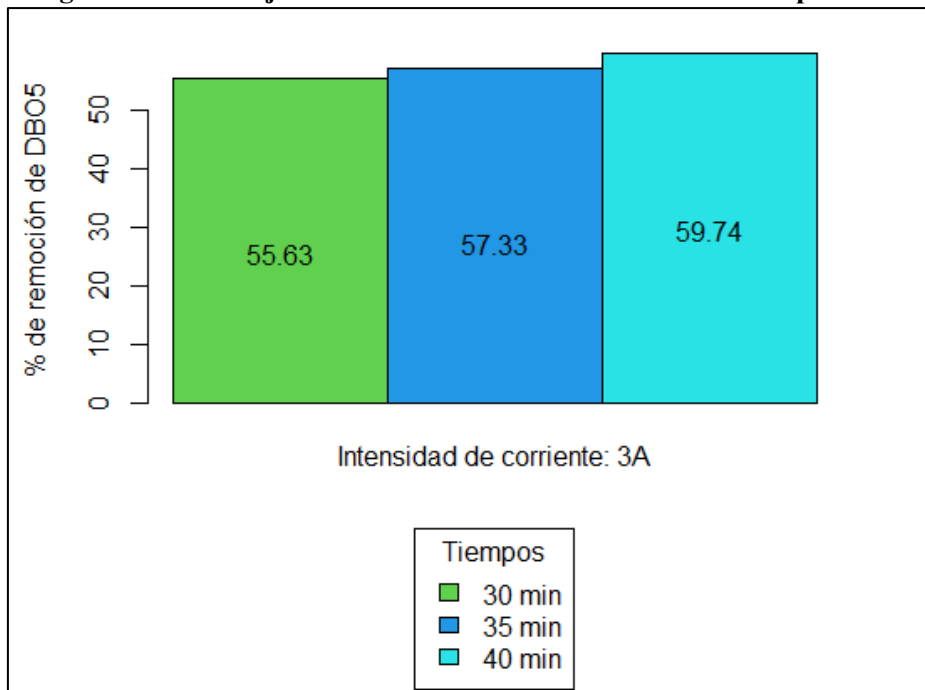
Tabla 15. Influencia del tiempo en el % de remoción de DBO₅ a 3A

Intensidad de	Tiempo de	DBO ₅			
		Replica I	Replica II	Replica III	Promedio

corriente (A)	residencia (min)	(%)	(%)	(%)	(%)
3	30	55.13	55.92	55.84	55,63
	35	57.18	57.11	57.69	57,33
	40	59.85	59.43	59.93	59,74

En la tabla 15 se puede observar el porcentaje de remoción de DBO₅ que se logró a distintos tiempos con una intensidad de corriente de 3A obteniendo que la mejor remoción de DBO₅ lograda fue de 59,74%, esto se obtuvo a un tiempo de residencia de 40 min, mientras que la remoción más baja de DBO₅ que se logró fue de 55,63% en un tiempo de 30 min.

Figura 7. Porcentaje de remoción de DBO₅ en diferentes tiempos a 3A



En la figura 7 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de DBO₅ a una intensidad de corriente de 3A fue de 59,74% el cual fue dado un tiempo de 40 min.

Tabla 16. Influencia del tiempo en la concentración final de DQO a 3,5A

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DQO			
		Replica I (mg/L)	Replica II (mg/L)	Replica III (mg/L)	Promedio (mg/L)
3,5	30	158.80	159.32	159.98	159,37
	35	149.70	150.18	151.02	150,03
	40	131.60	133.23	131.02	131,95

En la tabla 16 se puede observar las concentraciones finales de DQO en distintos tiempos a 3.5A obteniendo que la mejor remoción de DQO lograda fue con una concentración final de

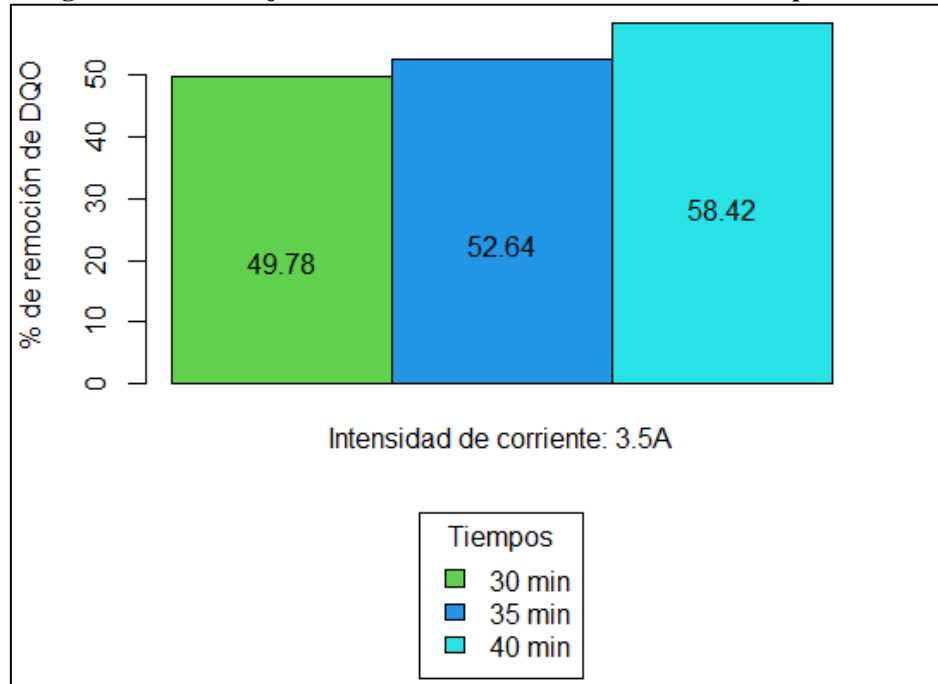
131,95 mg/L, esto se obtuvo a un tiempo de residencia de 40 min, mientras que la remoción más baja de DQO que se logró tuvo una concentración final de 159,37 mg/L en un tiempo de 30 min.

Tabla 17. Influencia del tiempo en el % de remoción de DQO a 3,5A

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DQO			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
3,5	30	49,96	49,80	49,59	49,78
	35	52,83	52,68	52,42	52,64
	40	58,53	58,02	58,72	58,42

En la tabla 17 se puede observar el porcentaje de remoción de DQO que se logró a distintos tiempos con una intensidad de corriente de 3.5A obteniendo que la mejor remoción de DQO lograda fue de 58,42%, esto se obtuvo a un tiempo de residencia de 40 min, mientras que la remoción más baja de DQO que se logró fue de 49,78% en un tiempo de 30 min.

Figura 8. Porcentaje de remoción de DQO en diferentes tiempos a 3,5A



En la figura 8 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de DQO a una intensidad de corriente de 3,5A fue de 58,42% el cual fue dado un tiempo de 40 min.

Tabla 18. Influencia del tiempo en la concentración final de DBO₅ a 3,5A

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DBO ₅			
		Replica I (mg/L)	Replica II (mg/L)	Replica III (mg/L)	Promedio (mg/L)
3,5	30	74.00	73.45	74.09	73,85
	35	71.40	72.18	72.01	71,86
	40	67.80	67.32	67.45	67,52

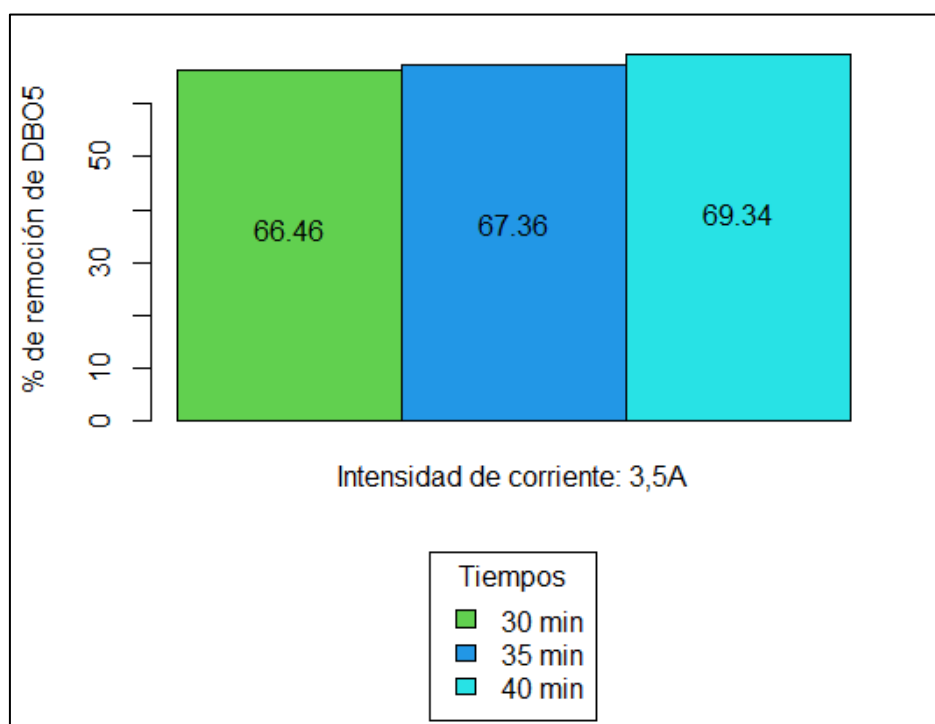
En la tabla 18 se puede observar las concentraciones finales de DBO₅ en distintos tiempos a 3,5A obteniendo que la mejor remoción de DBO₅ lograda fue con una concentración final de 67,52 mg/L, esto se obtuvo a un tiempo de residencia de 40 min, mientras que la remoción más baja de DBO₅ que se logró tuvo una concentración final de 73,85 mg/L en un tiempo de 30 min.

Tabla 19. Influencia del tiempo en el % de remoción de DBO₅ a 3,5A

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DBO ₅			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
3,5	30	66,39	66,64	66,35	66,46
	35	67,57	67,22	67,30	67,36
	40	69,21	69,43	69,37	69,34

En la tabla 19 se puede observar el porcentaje de remoción de DBO₅ que se logró a distintos tiempos con una intensidad de corriente de 3,5A obteniendo que la mejor remoción de DBO₅ lograda fue de 69,34%, esto se obtuvo a un tiempo de residencia de 40 min, mientras que la remoción más baja de DBO₅ que se logró fue de 66,46% en un tiempo de 30 min.

Figura 9. Porcentaje de remoción de DBO₅ en diferentes tiempos a 3,5A



En la figura 9 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de DBO₅ a una intensidad de corriente de 3,5A fue de 69,34% el cual fue dado un tiempo de 40 min.

Tabla 20. Influencia del tiempo en la concentración final de DQO a 4A

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DQO			
		Replica I (mg/L)	Replica II (mg/L)	Replica III (mg/L)	Promedio (mg/L)

		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
	30	121,41	121,99	120,95	121,45
4	35	101,35	100,56	100,34	100,75
	40	98,24	96,18	95,67	96,70

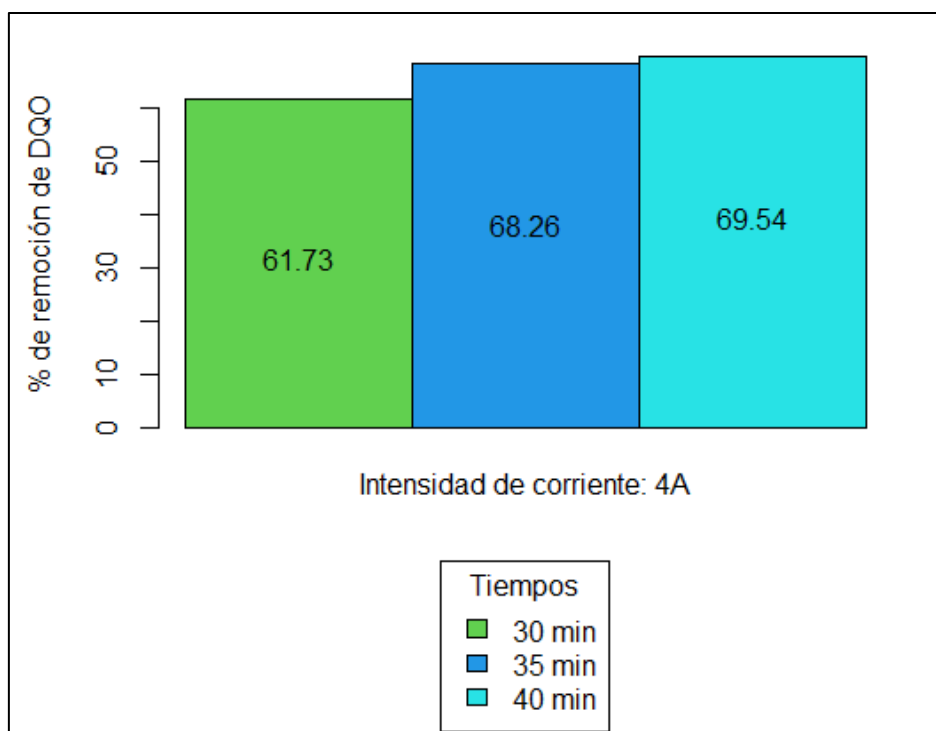
En la tabla 20 se puede observar las concentraciones finales de DQO en distintos tiempos a 4A obteniendo que la mejor remoción de DQO lograda fue con una concentración final de 96,70 mg/L, esto se obtuvo a un tiempo de residencia de 40 min, mientras que la remoción más baja de DQO que se logró tuvo una concentración final de 121,45 mg/L en un tiempo de 30 min.

Tabla 21. Influencia del tiempo en el % de remoción de DQO a 4A

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DQO			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
	30	61,75	61,56	61,89	61,73
4	35	68,07	68,32	68,38	68,26
	40	69,05	69,70	69,86	69,54

En la tabla 21 se puede observar el porcentaje de remoción de DQO que se logró a distintos tiempos con una intensidad de corriente de 4A obteniendo que la mejor remoción de DQO lograda fue de 69,54%, esto se obtuvo a un tiempo de residencia de 40 min, mientras que la remoción más baja de DQO que se logró fue de 61,73% en un tiempo de 30 min.

Figura 10. Porcentaje de remoción de DQO en diferentes tiempos a 4A



En la figura 10 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de DQO a una intensidad de corriente de 4A fue de 69,54% el cual fue dado un tiempo de 40 min.

Tabla 22. Influencia del tiempo en la concentración final de DBO₅ a 4A

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DBO ₅			
		Replica I (mg/L)	Replica II (mg/L)	Replica III (mg/L)	Promedio (mg/L)
4	30	70,20	69,54	70,04	69,93
	35	68,80	69,13	68,99	68,97
	40	65,30	64,07	63,56	64,31

En la tabla 22 se puede observar las concentraciones finales de DBO₅ en distintos tiempos a 4A obteniendo que la mejor remoción de DBO₅ lograda fue con una concentración final de 64,31 mg/L, esto se obtuvo a un tiempo de residencia de 40 min, mientras que la remoción más baja de DBO₅ que se logró tuvo una concentración final de 69,93 mg/L en un tiempo de 30 min.

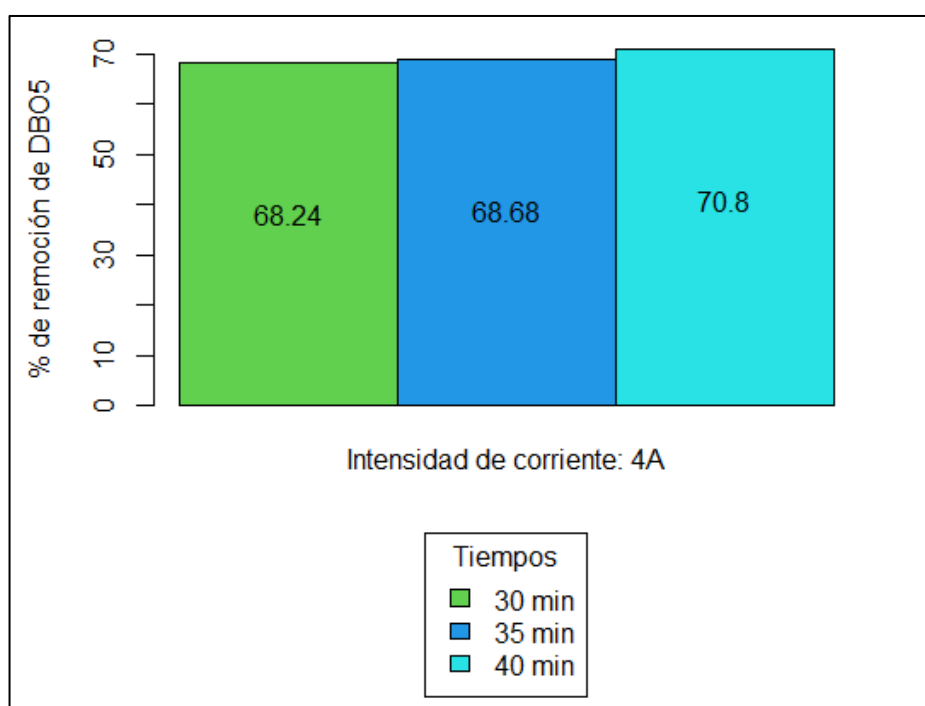
Tabla 23. Influencia del tiempo en el % de remoción de DBO₅ a 4A

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DBO ₅			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)

	30	68,12	68,42	68,19	68,24
4	35	68,76	68,61	68,67	68,68
	40	70,35	70,90	71,14	70,80

En la tabla 23 se puede observar el porcentaje de remoción de DBO_5 que se logró a distintos tiempos con una intensidad de corriente de 4A obteniendo que la mejor remoción de DBO_5 lograda fue de 70,80%, esto se obtuvo a un tiempo de residencia de 40 min, mientras que la remoción más baja de DBO_5 que se logró fue de 68,24% en un tiempo de 30 min.

Figura 11. Porcentaje de remoción de DBO_5 en diferentes tiempos a 3,5A



En la figura 11 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de DBO_5 a una intensidad de corriente de 4A fue de 70,8% el cual fue dado un tiempo de 40 min.

En síntesis, se pudo observar que la mayor remoción de DQO y DBO_5 se obtuvo en un tiempo de 40 min siendo este el tiempo más eficiente en todo el proceso.

4.1.1. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de la DQO y DBO_5 en el tratamiento de las aguas residuales

Se evaluó la influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DQO y DBO_5 a intensidades de corriente los cuales fueron: 3A, 3,5A y 4A, estos porcentajes de remoción fueron evaluados en cada tiempo de residencia trabajado.

Tabla 24. Influencia de la intensidad de corriente en la concentración final de DQO en 30 min

Tiempo de residencia (min)	Intensidad de corriente (A)	DQO			
		Replica I (mg/L)	Replica II (mg/L)	Replica III (mg/L)	Promedio (mg/L)
30	3	178,25	180,32	179,54	179,37
	3,5	158,80	159,32	159,98	159,37
	4	121,41	121,99	120,95	121,45

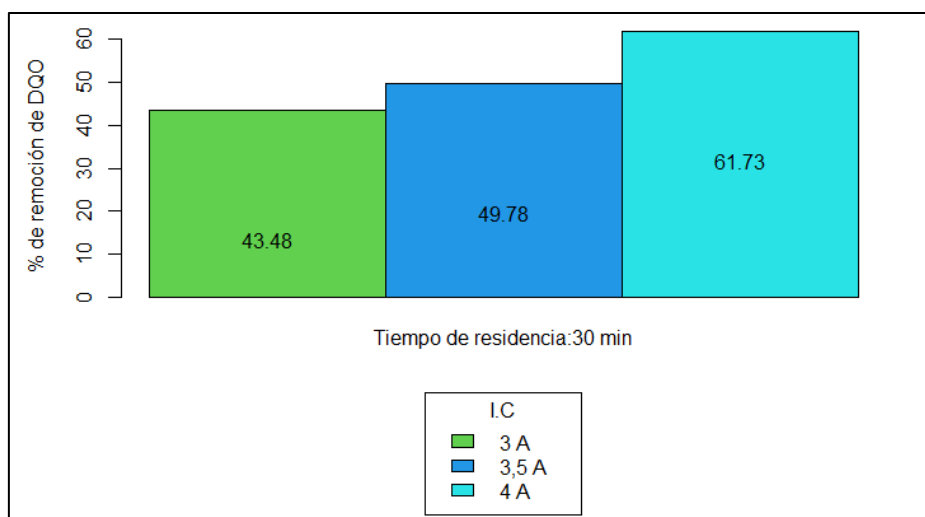
En la tabla 24 se puede observar las concentraciones finales de DQO a diferentes intensidades de corriente en un tiempo de 30 min obteniendo que la mejor remoción de DQO lograda fue con una concentración final de 121,45 mg/L, esto se obtuvo a una intensidad de corriente de 4A, mientras que la remoción más baja de DQO que se logró tuvo una concentración final de 179,37 mg/L en una intensidad de corriente de 3A.

Tabla 25. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DQO en 30 min

Tiempo de residencia (min)	Intensidad de corriente (A)	DQO			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
30	3	43,84	43,18	43,43	43,48
	3,5	49,96	49,80	49,59	49,78
	4	61,75	61,56	61,89	61,73

En la tabla 25 se puede observar el porcentaje de remoción de DQO que se logró a diferentes intensidades de corriente en un tiempo de 30 min obteniendo que la mejor remoción de DQO lograda fue 61,73%, esto se obtuvo a una intensidad de corriente de 4A, mientras que la remoción más baja de DQO fue de un 43,48% en una intensidad de corriente de 3A.

Figura 12. Porcentaje de remoción de DQO a diferentes intensidades de corrientes en 30 min



En la figura 12 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de DQO en un tiempo de 30 min fue de 61,73% el cual fue dado a una intensidad de corriente de 4A.

Tabla 26. Influencia de la intensidad de corriente en la concentración final de DBO₅ en 30 min

Tiempo de residencia (min)	Intensidad de corriente (A)	DBO ₅			
		Replica I (mg/L)	Replica II (mg/L)	Replica III (mg/L)	Promedio (mg/L)
30	3	98,80	97,06	97,25	97,70
	3,5	74,00	73,45	74,09	73,85
	4	70,20	69,54	70,04	69,93

En la tabla 26 se puede observar las concentraciones finales de DBO₅ a diferentes intensidades de corriente en un tiempo de 30 min obteniendo que la mejor remoción de DBO₅ lograda fue con una concentración final de 69,93 mg/L, esto se obtuvo a una intensidad de corriente de 4A, mientras que la remoción más baja de DBO₅ que se logró tuvo una concentración final de 97,70 mg/L en una intensidad de corriente de 3A.

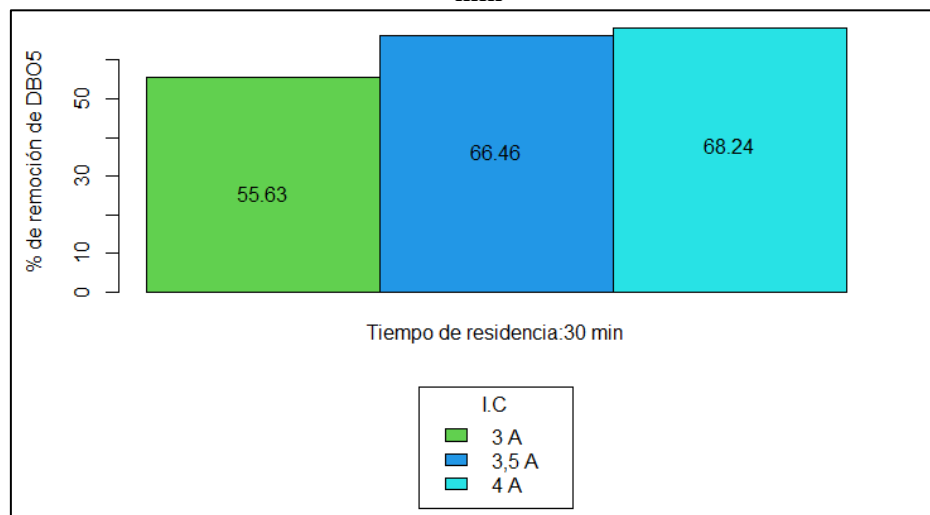
Tabla 27. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DBO₅ en 30 min

Tiempo de residencia (min)	Intensidad de corriente (A)	DBO ₅			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
30	3	55,13	55,92	55,84	55,63
	3,5	66,39	66,64	66,35	66,46

4	68,12	68,42	68,19	68,24
---	-------	-------	-------	-------

En la tabla 27 se puede observar el porcentaje de remoción de DBO_5 que se logró a diferentes intensidades de corriente en un tiempo de 30 min obteniendo que la mejor remoción de DBO_5 lograda fue 68,24%, esto se obtuvo a una intensidad de corriente de 4A, mientras que la remoción más baja de DBO_5 fue de un 55,63% en una intensidad de corriente de 3A.

Figura 13. Porcentaje de remoción de DBO_5 a diferentes intensidades de corrientes en 30 min



En la figura 13 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de DBO_5 en un tiempo de 30 min fue de 68,24% el cual fue dado a una intensidad de corriente de 4A.

Tabla 28. Influencia de la intensidad de corriente en la concentración final de DQO en 35 min

Tiempo de residencia (min)	Intensidad de corriente (A)	DQO			
		Replica I (mg/L)	Replica II (mg/L)	Replica III (mg/L)	Promedio (mg/L)
35	3	183,15	182,63	183,42	183,07
	3,5	149,70	150,18	151,02	150,30
	4	101,35	100,56	100,34	100,75

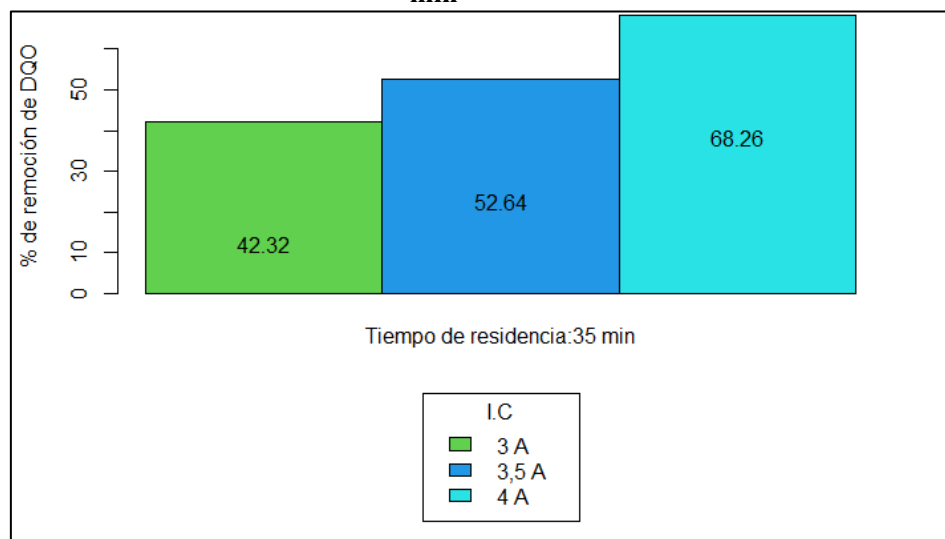
En la tabla 28 se puede observar las concentraciones finales de DQO a diferentes intensidades de corriente en un tiempo de 35 min obteniendo que la mejor remoción de DQO lograda fue con una concentración final de 100,75 mg/L, esto se obtuvo a una intensidad de corriente de 4A, mientras que la remoción más baja de DQO que se logró tuvo una concentración final de 183,07 mg/L en una intensidad de corriente de 3A.

Tabla 29. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DQO en 35 min

Tiempo de residencia (min)	Intensidad de corriente (A)	DQO			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
35	3	42,29	42,46	42,21	42,32
	3,5	52,83	52,68	52,42	52,64
	4	68,07	68,32	68,38	68,26

En la tabla 29 se puede observar el porcentaje de remoción de DQO que se logró a diferentes intensidades de corriente en un tiempo de 30 min obteniendo que la mejor remoción de DQO lograda fue 68,26%, esto se obtuvo a una intensidad de corriente de 4A, mientras que la remoción más baja de DQO fue de un 42,32% en una intensidad de corriente de 3A.

Figura 14. Porcentaje de remoción de DQO a diferentes intensidades de corrientes en 30 min



En la figura 14 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de DQO en un tiempo de 35 min fue de 68,26% el cual fue dado a una intensidad de corriente de 4A.

Tabla 30. Influencia de la intensidad de corriente en la concentración final de DBO₅ en 35 min

Tiempo de residencia (min)	Intensidad de corriente (A)	DBO ₅			
		Replica I (mg/L)	Replica II (mg/L)	Replica III (mg/L)	Promedio (mg/L)
35	3	94,30	94,45	93,16	93,97
	3,5	71,40	72,18	72,01	71,86
	4	68,80	69,13	68,99	68,97

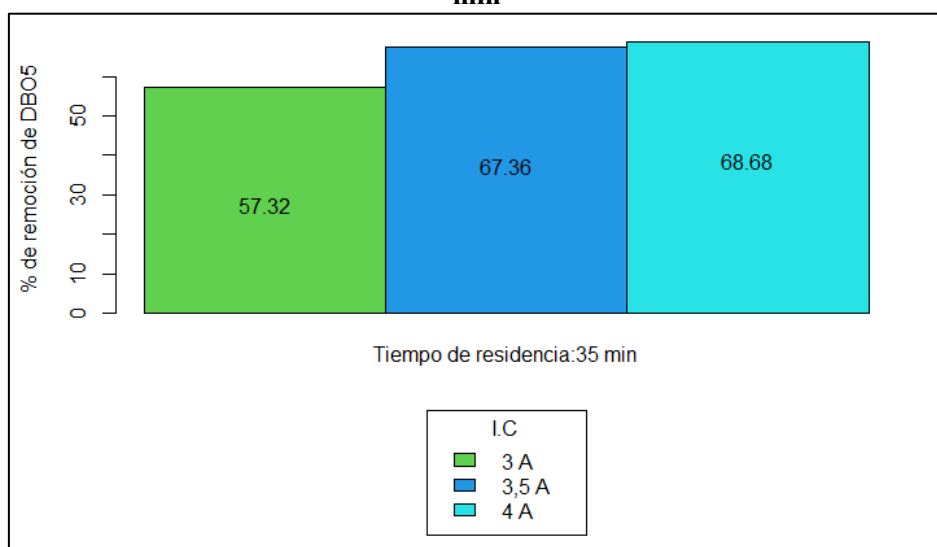
En la tabla 30 se puede observar las concentraciones finales de DBO₅ a diferentes intensidades de corriente en un tiempo de 35 min obteniendo que la mejor remoción de DBO₅ lograda fue con una concentración final de 68,97 mg/L, esto se obtuvo a una intensidad de corriente de 4A, mientras que la remoción más baja de DBO₅ que se logró tuvo una concentración final de 93,97 mg/L en una intensidad de corriente de 3A.

Tabla 31. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DBO₅ en 35 min

Tiempo de residencia (min)	Intensidad de corriente (A)	DBO ₅			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
35	3	57,18	57,11	57,69	57,32
	3,5	67,57	67,22	67,30	67,36
	4	68,76	68,61	68,67	68,68

En la tabla 31 se puede observar el porcentaje de remoción de DBO₅ que se logró a diferentes intensidades de corriente en un tiempo de 35 min obteniendo que la mejor remoción de DBO₅ lograda fue 68,68%, esto se obtuvo a una intensidad de corriente de 4A, mientras que la remoción más baja de DBO₅ fue de un 57,32% en una intensidad de corriente de 3A.

Figura 15. Porcentaje de remoción de DBO₅ a diferentes intensidades de corrientes en 35 min



En la figura 15 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de DBO₅ en un tiempo de 35 min fue de 68,68% el cual fue dado a una intensidad de corriente de 4A.

Tabla 32. Influencia de la intensidad de corriente en la concentración final de DQO en 40 min

Tiempo de residencia (min)	Intensidad de corriente (A)	DQO			
		Replica I (mg/L)	Replica II (mg/L)	Replica III (mg/L)	Promedio (mg/L)
40	3	151,55	150,43	151,09	151,02
	3,5	131,60	133,23	131,02	131,95
	4	98,24	96,18	95,67	96,70

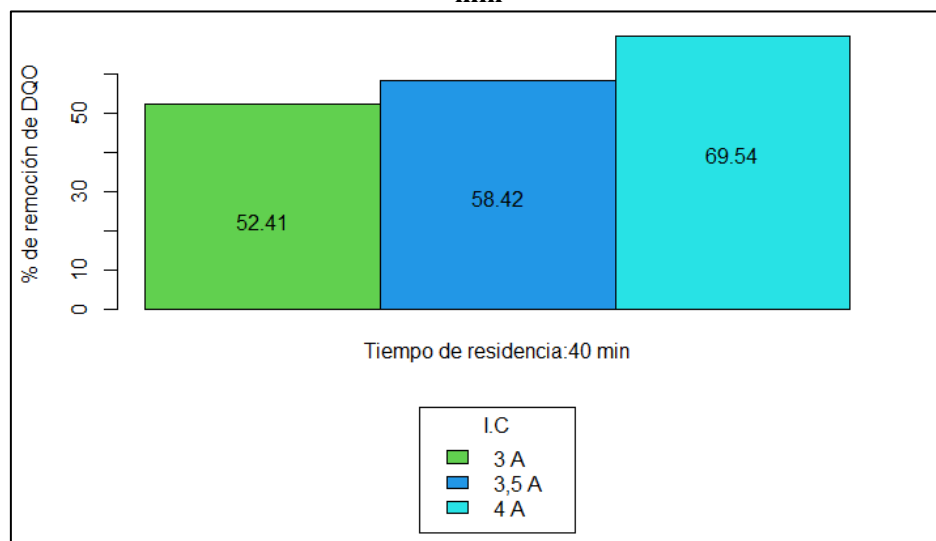
En la tabla 32 se puede observar las concentraciones finales de DQO a diferentes intensidades de corriente en un tiempo de 40 min obteniendo que la mejor remoción de DQO lograda fue con una concentración final de 96,70 mg/L, esto se obtuvo a una intensidad de corriente de 4A, mientras que la remoción más baja de DQO que se logró tuvo una concentración final de 151,02 mg/L en una intensidad de corriente de 3A.

Tabla 33. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DQO en 40 min

Tiempo de residencia (min)	Intensidad de corriente (A)	DQO			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
40	3	52,25	52,60	52,39	52,41
	3,5	58,53	58,02	58,72	58,42
	4	69,05	69,70	69,86	69,54

En la tabla 33 se puede observar el porcentaje de remoción de DQO que se logró a diferentes intensidades de corriente en un tiempo de 40 min obteniendo que la mejor remoción de DQO lograda fue 69,54%, esto se obtuvo a una intensidad de corriente de 4A, mientras que la remoción más baja de DQO fue de un 52,41% en una intensidad de corriente de 3A.

Figura 16. Porcentaje de remoción de DQO a diferentes intensidades de corrientes en 30 min



En la figura 16 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de DQO en un tiempo de 40 min fue de 69,54% el cual fue dado a una intensidad de corriente de 4A.

Tabla 34. Influencia de la intensidad de corriente en la concentración final de DBO₅ en 40 min

Tiempo de residencia (min)	Intensidad de corriente (A)	DBO ₅			
		Replica I (mg/L)	Replica II (mg/L)	Replica III (mg/L)	Promedio (mg/L)
40	3	88,40	89,34	88,23	88,66
	3,5	67,80	67,32	67,45	67,52
	4	65,30	64,07	63,56	64,31

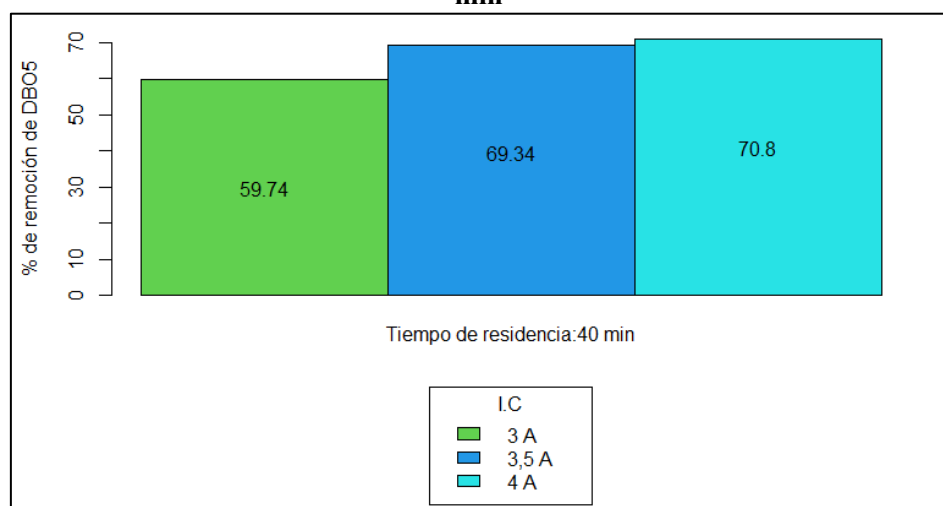
En la tabla 34 se puede observar las concentraciones finales de DBO₅ a diferentes intensidades de corriente en un tiempo de 40 min obteniendo que la mejor remoción de DBO₅ lograda fue con una concentración final de 64,31 mg/L, esto se obtuvo a una intensidad de corriente de 4A, mientras que la remoción más baja de DBO₅ que se logró tuvo una concentración final de 88,66 mg/L en una intensidad de corriente de 3A.

Tabla 35. Influencia de la intensidad de corriente en el % de remoción de DBO₅ en 40 min

Tiempo de residencia (min)	Intensidad de corriente (A)	DBO ₅			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
40	3	59,85	59,43	59,93	59,74
	3,5	69,21	69,43	69,37	69,34
	4	70,35	70,90	71,14	70,80

En la tabla 35 se puede observar el porcentaje de remoción de DBO₅ que se logró a diferentes intensidades de corriente en un tiempo de 40 min obteniendo que la mejor remoción de DBO₅ lograda fue 70,80%, esto se obtuvo a una intensidad de corriente de 4A, mientras que la remoción más baja de DBO₅ fue de un 59,74% en una intensidad de corriente de 3A.

Figura 17. Porcentaje de remoción de DBO₅ a diferentes intensidades de corrientes en 35 min



En la figura 17 se puede observar que el mayor porcentaje de remoción de DBO₅ en un tiempo de 40 min fue de 70,80% el cual fue dado a una intensidad de corriente de 4A.

En síntesis, se pudo observar que la mayor remoción de DQO y DBO₅ se obtuvo en una intensidad de corriente de 4A siendo esta la intensidad de corriente más eficiente en todo el proceso.

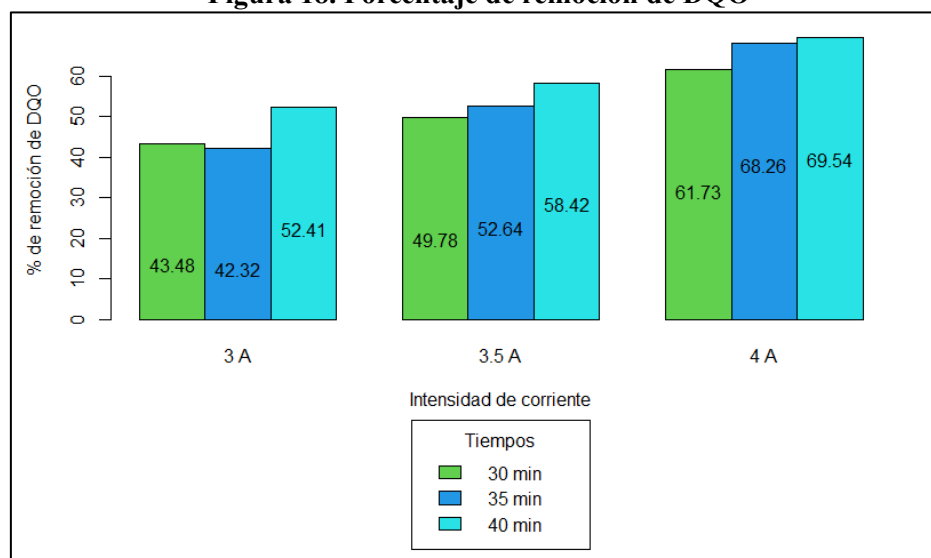
4.1.3. Influencia de la electrocoagulación en el % de remoción de DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales

Tabla 36. Porcentaje de remoción de DQO

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DQO			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
3	30	43.84	43.18	43.43	43,48
	35	42.29	42.46	42.21	42,32
	40	52.25	52.60	52.39	52,41
3,5	30	49.96	49.80	49.59	49,78
	35	52.83	52.68	52.42	52,64
	40	58.53	58.02	58.72	58,42
4	30	61.75	61.56	61.89	61,73
	35	68.07	68.32	68.38	68,26
	40	69.05	69.70	69.86	69,54

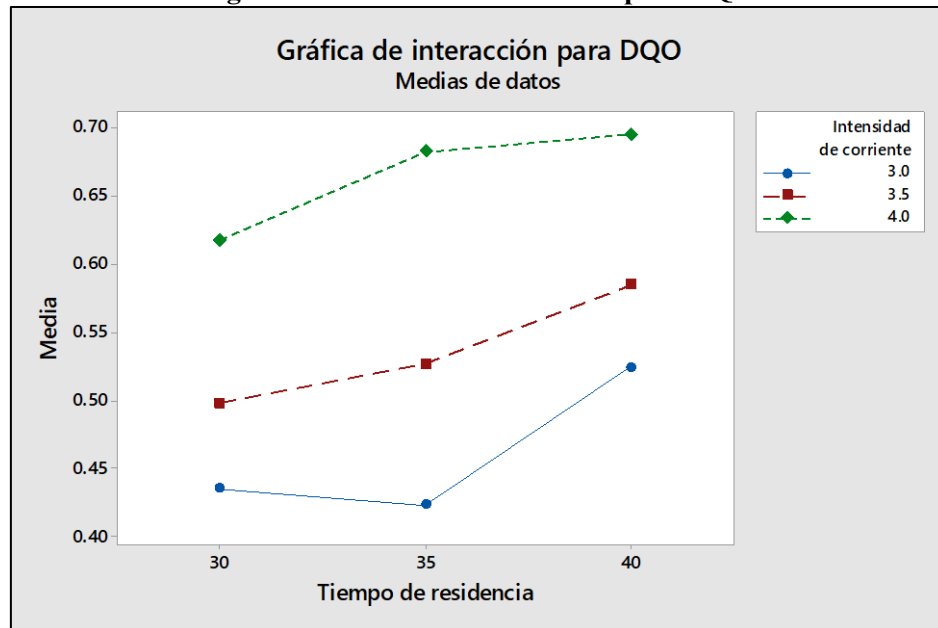
La tabla 36 nos muestra el porcentaje de remoción de DQO que se logró en el proceso experimental, obteniendo así un promedio de remoción máximo de 69,54% a una intensidad de corriente de 4 A y un tiempo de residencia de 40 min.

Figura 18. Porcentaje de remoción de DQO



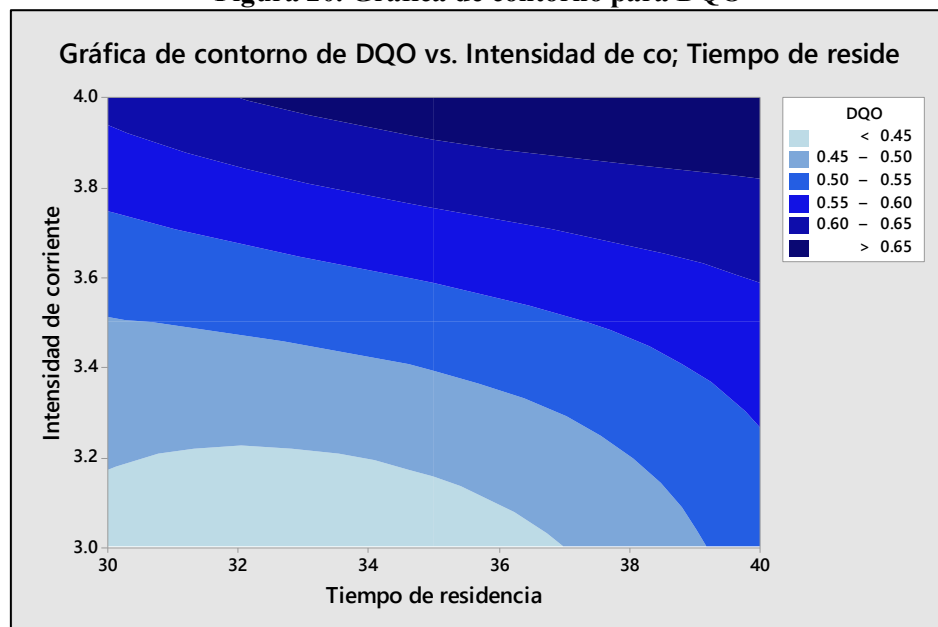
En la figura 18 se puede observar el porcentaje de remoción de DQO deduciendo así que el mayor porcentaje de remoción se dio a una intensidad de 4 A y un tiempo de 40 min. Además, se observa que, a mayor intensidad de corriente, mayor será el porcentaje de remoción.

Figura 19. Grafica de interacción para DQO



En la figura 19 se observa la interacción de la intensidad de corriente con el tiempo de residencia para la remoción de DQO, donde en una intensidad de corriente de 4A y un tiempo de referencia de 40 min se logró la mayor remoción de DQO.

Figura 20. Grafica de contorno para DQO



La figura 20 nos muestra la gráfica de contorno respecto a la remoción de DQO, donde se puede observar los límites de los contornos que nos indican el porcentaje reducido en una determinada intensidad de corriente y tiempo de residencia, por lo que, en el límite del

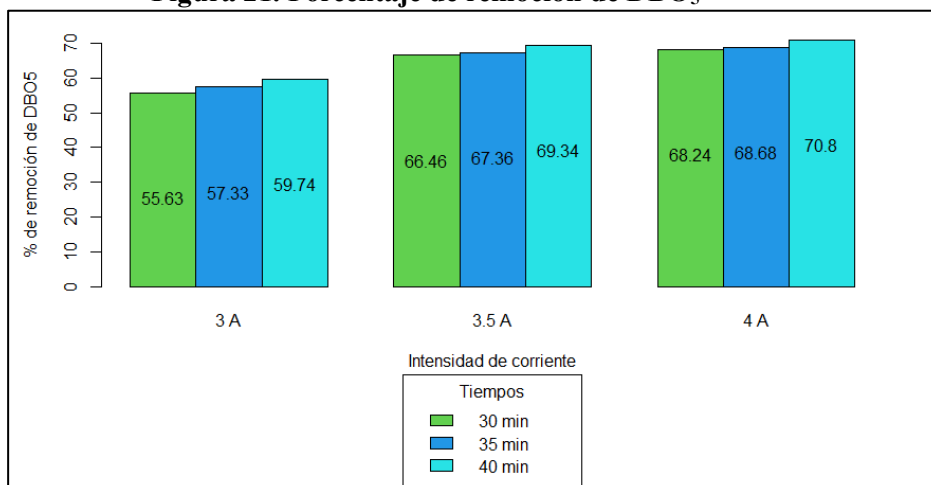
contorno color azul oscuro se tiene porcentajes superiores de remoción de DQO superiores al 65 %.

Tabla 37. Porcentaje de remoción de DBO₅

Intensidad de corriente (A)	Tiempo de residencia (min)	DBO ₅			
		Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
3	30	55,13	55,92	55,84	55,63
	35	57,18	57,11	57,69	57,33
	40	59,85	59,43	59,93	59,74
3,5	30	66,39	66,64	66,35	66,46
	35	67,57	67,22	67,30	67,36
	40	69,21	69,43	69,37	69,34
4	30	68,12	68,42	68,19	68,24
	35	68,76	68,61	68,67	68,68
	40	70,35	70,90	71,14	70,80

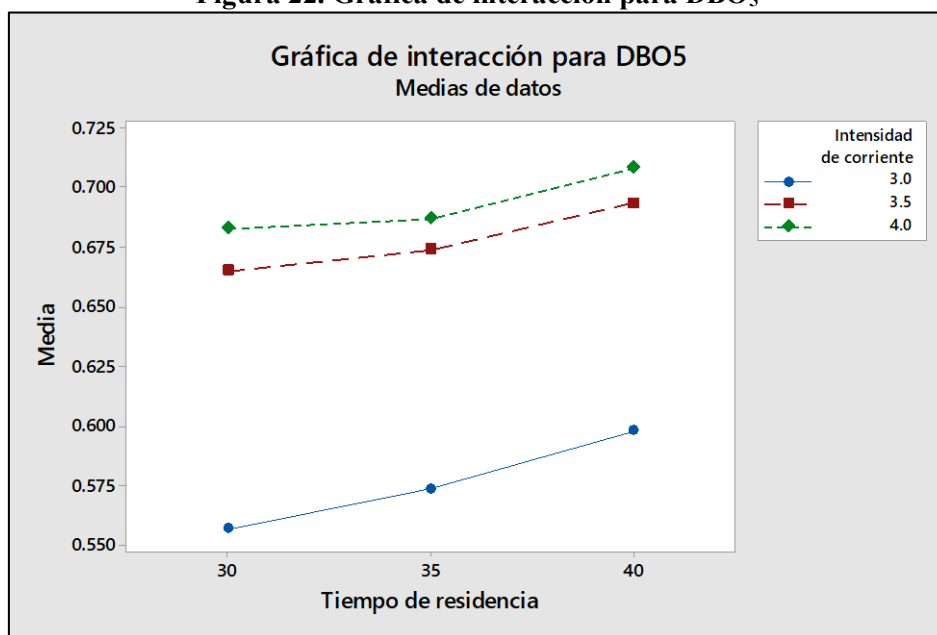
La tabla 37 nos muestra el porcentaje de remoción de DBO₅ que se logró en el proceso experimental, obteniendo así un promedio de remoción máximo de 70,80% a una intensidad de corriente de 4 A y un tiempo de residencia de 40 min.

Figura 21. Porcentaje de remoción de DBO₅



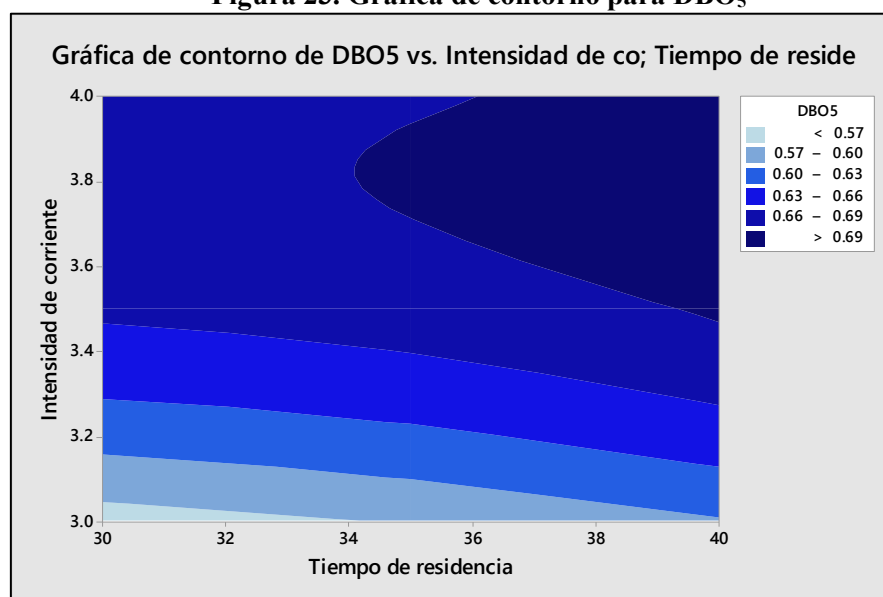
En la figura 21 se puede observar el porcentaje de remoción de DBO₅ deduciendo así que el mayor porcentaje de remoción se dio a una intensidad de 4 A y un tiempo de 40 min. Además, se observa que, a mayor intensidad de corriente, mayor será el porcentaje de remoción.

Figura 22. Gráfica de interacción para DBO₅



En la figura 22 se observa la interacción de la intensidad de corriente con el tiempo de residencia para la remoción de DBO₅, donde en una intensidad de corriente de 4A y un tiempo de referencia de 40 min se logró la mayor remoción de DBO₅.

Figura 23. Grafica de contorno para DBO₅



La figura 23 nos muestra la gráfica de contorno respecto a la remoción de DBO₅, donde se puede observar los límites de los contornos que nos indican el porcentaje reducido en una determinada intensidad de corriente y tiempo de residencia, por lo que, en el límite del contorno color azul. oscuro se tiene porcentajes superiores de remoción de DBO₅ superiores al 65 %.

4.2. Prueba de hipótesis

Para poder desarrollar la prueba de hipótesis se utilizó el programa estadístico MINITAB V 18, en este programa se elaboró el análisis del diseño factorial 3².

4.2.1. Contrastación de las hipótesis específicas

4.2.1.1. Primera hipótesis específica

Ahora para la contrastación de la primera hipótesis específica se empleó la prueba de T de una muestra. Debido a esto se planteó la primera hipótesis específica de investigación (H1) y su respectiva hipótesis nula (H0).

H1: La caracterización fisicoquímica de las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac sobrepasan los LMP que establecen la normativa peruana.

H0: La caracterización fisicoquímica de las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac no sobrepasan los LMP que establecen la normativa peruana.

T de una muestra de DQO

Tabla 38. T de una muestra de DQO

N	Media	Desv.Est.	Error estándar	Límite superior de 95% para μ

			de la media	
1	317,380	0.950	0.672	313.139

μ : media de Muestra

Hipótesis nula $H_0: \mu = 200$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 200$

Valor T	Valor p
174.74	0.002

T de una muestra de DBO_5

Tabla 39. T de una muestra de DBO_5

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ
1	220,200	0.950	0,672	215,959

μ : media de Muestra

Hipótesis nula $H_0: \mu = 100$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 100$

Valor T	Valor p
178,94	0,002

Observándose el análisis de T de una muestra para DQO y DBO_5 se tuvo un valor de p de 0,002 para DQO y DBO_5 , por ende, se acepta la hipótesis de investigación (H_1) y se rechaza la hipótesis nula (H_0), por lo tanto, la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac sobre pasan los LMP que establecen la normativa peruana.

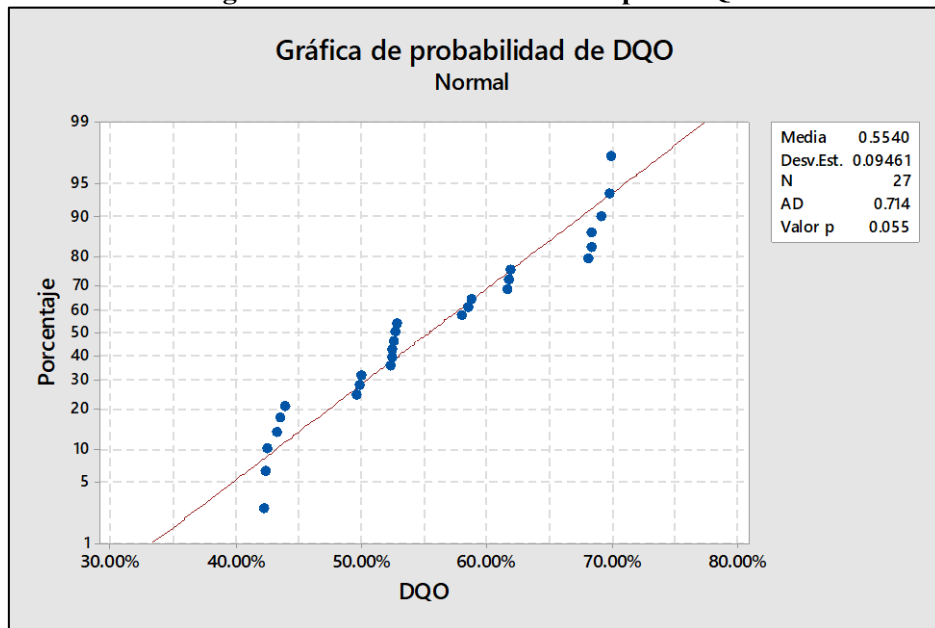
4.2.1.2. Segunda hipótesis específica

Como primer paso se realizó una prueba de normalidad, para comprobar estadísticamente si los datos se distribuyen normalmente; para lo cual nos planteamos las siguientes hipótesis.

H_0 : Los datos siguen una distribución normal

Ha: Los datos no siguen una distribución normal

Figura 24. Prueba de normalidad para DQO



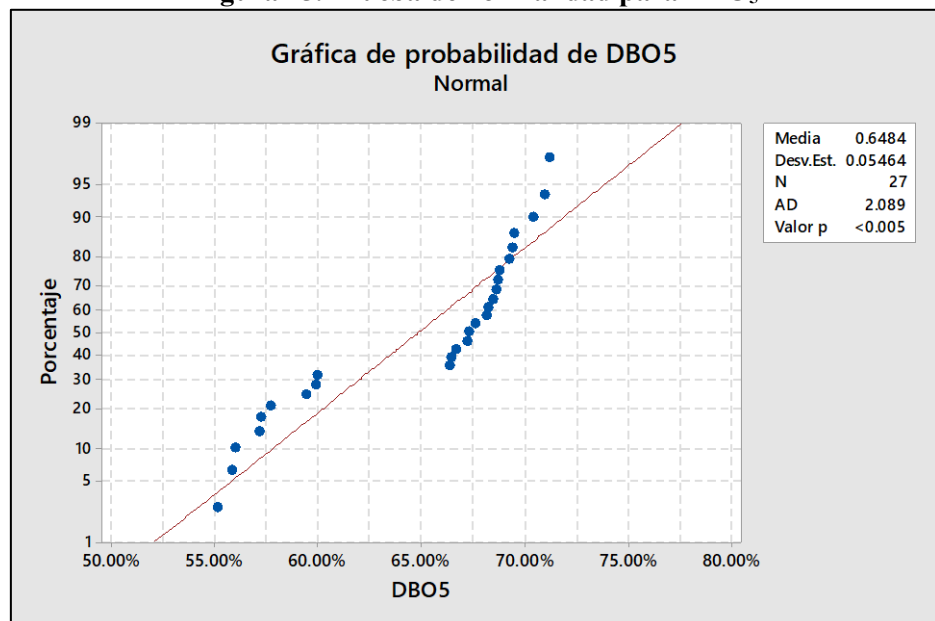
La figura 24 nos muestra la prueba de normalidad aplicado con el estadístico Anderson Darling donde se obtuvo valor de p de 0,055. El valor de significancia con la que se evaluó la prueba de normalidad fue de 0,05 con un 95% de confianza obteniendo:

$$0,055 > 0,05$$

Por lo que estadísticamente, se acepta la hipótesis nula, los datos siguen una distribución normal respecto al DQO.

Luego de haber realizado la prueba de normalidad se asume que los datos de DQO tienen una distribución normal por lo tanto se trabajó con el análisis paramétrico.

Figura 25. Prueba de normalidad para DBO₅



La figura 25 nos muestra la prueba de normalidad aplicado con el estadístico Anderson Darling donde se obtuvo valor de $p < 0,005$. El valor de significancia con la que se evaluó la prueba de normalidad fue de 0,05 con un 95% de confianza obteniendo:

$$0,005 < 0,05$$

Por lo que estadísticamente, se acepta la hipótesis alterna, los datos no siguen una distribución normal respecto al DBO_5 .

Luego de haber realizado la prueba de normalidad se asume que los datos de DBO_5 no tienen una distribución normal por lo tanto se trabajó con el análisis no paramétrico. Para la contratación de la segunda hipótesis específica se utilizó el análisis de varianza ANOVA para DQO y la prueba de Kruskal Wallis para DBO_5 , para lo cual se plantea la segunda hipótesis específica de investigación (H_2) y su respectiva hipótesis nula (H_0).

H_2 : El tiempo de residencia influirá significativamente en el % de remoción de la DQO y DBO_5 en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación

H_0 : El tiempo de residencia no influirá significativamente en el % de remoción de la DQO y DBO_5 en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación.

Tabla 40. Información del factor tiempo de residencia

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tiempo de residencia	Fijo	3	30; 35; 40

Análisis de varianza ANOVA para DQO

Tabla 41. Análisis de varianza ANOVA para DQO

Fuente	gl	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo de residencia	2	3376	1687.8	2.02	0.015
Error	24	20068	836.1		
Total	26	23443			

Prueba de Kruskal-Wallis para DBO₅

Tabla 42. Prueba de Kruskal-Wallis para DBO₅

Tiempo de residencia	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
30	9	74.00	18.0	1.85
35	9	72.01	15.0	0.46
40	9	67.45	9.0	-2.31
General	27		14.0	

GL	Valor H	Valor p
2	6.00	0.049

Observando el análisis ANOVA y la prueba de Kruskal Wallis con respecto al tiempo de residencia en la remoción de DQO y DBO₅ se tuvo un valor de p de 0,015 y 0,049 para DQO y DBO₅ respectivamente, ambos valores de p son menores en valor de significancia de 0,05; en consecuencia, se acepta la hipótesis de investigación (H2) y se rechaza la hipótesis nula (H0), por lo tanto, la remoción de DQO y DBO₅ se verán influenciados significativamente por el tiempo de residencia.

4.2.1.3. Tercera hipótesis específica

Para la contratación de la tercera hipótesis específica se utilizó el análisis de varianza ANOVA para DQO y la prueba de Kruskal Wallis para DBO₅, para lo cual se plantea la tercera hipótesis específica de la investigación (H3) y su respectiva hipótesis nula (H0).

H3: La intensidad de corriente influirá significativamente en el % de remoción de la DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación.

H0: La intensidad de corriente no influirá significativamente en el % de remoción de la DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación.

Tabla 43. Información del factor tiempo de residencia

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Intensidad de corriente	Fijo	3	3.0; 3.5; 4.0

Análisis de varianza ANOVA para DQO

Tabla 44. Análisis de varianza ANOVA para DQO

Fuente	gl	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Intensidad de corriente	2	19359	9679.4	56.88	0.000
Error	24	4084	170.2		
Total	26	23443			

Prueba de Kruskal-Wallis para DBO₅

Tabla 45. Prueba de Kruskal-Wallis para DBO₅

Intensidad de corriente	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
3.0	9	94.30	23.0	4.17
3.5	9	72.01	12.0	-0.93
4.0	9	68.99	7.0	-3.24
General	27		14.0	
GI	Valor H	Valor p		
2	19.14	0.000		

Observando el análisis ANOVA con respecto a la intensidad de corriente en la remoción de DQO y DBO₅ se tuvo un valor de p de 0,000 para DQO y DBO₅, ambos valores p son menores que el valor de significancia de 0,05; en consecuencia, se acepta la hipótesis de investigación (H3) y se rechaza la hipótesis nula (H0), por lo tanto, la intensidad de corriente influirá significativamente en el % de remoción de la DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación.

4.2.2. Contrastación de hipótesis general

Se plantea la hipótesis de investigación (Ha) y la hipótesis nula (H0).

Ha: La reducción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) mediante la electrocoagulación en las aguas residuales domésticas será significativa permitiendo que los valores se encuentren por debajo de los LMP que pide la normativa peruana

H0: La reducción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) mediante la electrocoagulación en las aguas residuales domésticas no será significativa permitiendo que los valores se encuentren por debajo de los LMP que pide la normativa peruana.

T de una muestra de DQO

Tabla 46. T de una muestra de DQO

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ
27	141.55	30.03	5.78	151.41

μ : media de DQO

Hipótesis nula $H_0: \mu = 200$

Hipótesis alterna $H_1: \mu < 200$

Valor T	Valor p
-10.11	0.000

Wilcoxon de una muestra de DBO₅

η : mediana de DBO₅

Muestra	N	Mediana
DBO ₅	27	78.455
Hipótesis nula	$H_0: \eta = 100$	
Hipótesis alterna	$H_1: \eta < 100$	

Tabla 47. Wilcoxon de una muestra de DBO₅

Muestra	Número de prueba	Estadística de Wilcoxon	Valor p
----------------	-------------------------	--------------------------------	----------------

DBO ₅	27	0.00	0.000
------------------	----	------	-------

Observando la prueba T de una muestra para DQO y la prueba Wilcoxon para DBO₅ se tuvo un valor de p de 0,000 para DQO y DBO₅, por ende, se acepta la hipótesis de investigación (H1) y se rechaza la hipótesis nula (H0), por lo tanto, la disminución porcentual de DBO₅ y DQO mediante la electrocoagulación en las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac están por debajo de los LMP que pide la normativa peruana.

4.3. Discusión de resultados

Los resultados conseguidos en la caracterización inicial de las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac de la concentración inicial de DBO₅ es de 220,20 mg/L sobrepasando los LMP el cual es 100 mg/L, de igual manera se observa que el valor de la concentración inicial de DQO es de 317,38 mg/L sobrepasando también los LMP el cual es 200 mg/L. teniendo una diferencia significativa con un valor de p de 0,002 para DQO y DBO₅. Estas concentraciones iniciales de DQO y DBO₅ se deben a que las aguas residuales domésticas están compuestas de diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos, diversos estudios demuestran que la gente excreta de 100 g a 500 g de heces al día y de 1 L a 3 L de orina al día, contribuyendo con una DQO y DBO₅ de 20 g a 45 g por día así mismo probabilísticamente se obtiene que las aguas residuales domésticas están formadas en un 99,9% por agua y en un 0,1% por residuos sólidos orgánicos más inorgánicos; esta pequeña fracción de sólidos es el principal factor que origina los problemas de contaminación de estas aguas tal como se muestra en nuestro trabajo de investigación. De acuerdo con la investigación (30) el efluente que estudiaron se caracterizó por tener una DBO de 35,52 ppm; así como una DQO de 85,83 ppm y STD 64.99 ppm en valores promedios respectivamente, demostrando que sus valores son incluso menores que el de nuestra investigación sin embargo se demuestra que las aguas residuales domésticas tienen alto contenido de carga orgánica. En el estudio (31) de aguas residuales domésticas encontró una concentración de 253,72 ppm de DBO₅ el cual también es similar a nuestra investigación. En conclusión, se observa que las concentraciones de DQO y DBO₅ son altas en las aguas residuales domesticas por lo cual fue necesario realizarle un tratamiento adecuado para su reducción.

Para determinar cómo influye el tiempo de residencia en el % de remoción de la DQO Y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación se trabajó con un tiempo de 30 min, 35 min y 40 min. Con respecto al DQO, trabajando con un tiempo de una intensidad de corriente de 3A se obtuvo una remoción máxima de 52,41%, a los 40 min y una remoción mínima de 42,48% a los 30 min, a una intensidad de corriente de 3,5A se obtuvo una remoción máxima de 58,42%, a los 40 min y una remoción mínima de 49,78% a los 30 min, a una intensidad de corriente de 4A se obtuvo una remoción máxima de 69,54%, a los 40 min y una remoción mínima de 61,73% a los 30 min. De igual manera con respecto al DBO₅, trabajando con un tiempo de una intensidad de corriente de 3A se obtuvo una remoción máxima de 59,74%, a los 40 min y una remoción mínima de 55,63% a los 30 min, a una intensidad de corriente de 3,5A se obtuvo una remoción máxima de 69,34%, a los 40 min y una remoción mínima de 66,46% a los 30 min, a una intensidad de corriente de 4A se obtuvo una

remoción máxima de 70,80%, a los 40 min y una remoción mínima de 68,24% a los 30 min. Se puede deducir en base a los resultados que, a mayor tiempo de residencia, mayor será el % de remoción de DBO₅ y DQO además que se obtuvo un valor de significancia de 0,015 y 0,049 para DQO y DBO₅ respectivamente, ambos valores de p superan en valor de significancia de 0,05 por lo cual estos influyen significativamente en el proceso. En la investigación (18) se trabajó con un tiempo de 15 min y al realizar el tratamiento del efluente con electrocoagulación, determinó una eficiencia promedio del 87 % en la remoción de la DQO. En el estudio (32) se trabajó con un tiempo de 20 minutos y 45 minutos, se obtuvo los mejores porcentajes de remoción con 71,2% y 46,9% para ambos parámetros y determinó que el tiempo óptimo de electrocoagulación es de 45 minutos, a estas condiciones se identificaron los mejores resultados de disminución de ambos parámetros por lo cual a mayor tiempo mejor el % de remoción de carga orgánica. Esto se debe a que cuando aumenta el tiempo de electrólisis, la concentración de hierro, los iones y sus flóculos de hidróxido aumentan, también aumenta la tasa de generación de burbujas lo que produce una remoción más efectiva.

Para determinar cómo la intensidad de corriente en el % de remoción de la DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación se trabajó con una intensidad de corriente de 3A, 3,5A, y 4A. Con respecto al DQO, trabajando con un tiempo de 30 min se obtuvo una remoción máxima de 61,73%, a 4A y una remoción mínima de 43,48% a 3A, a un tiempo de 40 min se obtuvo una remoción máxima de 69,54%, a 4A y una remoción mínima de 52,41% a 3A, a un tiempo de 40 min se obtuvo una remoción máxima de 69,54%, a 4A y una remoción mínima de 52,41% a 3A. Con respecto al DBO₅, trabajando con un tiempo de 30 min se obtuvo una remoción máxima de 68,24%, a 4A y una remoción mínima de 55,63% a 3A, a un tiempo de 35 min se obtuvo una remoción máxima de 68,68%, a 4A y una remoción mínima de 57,33% a 3A, a un tiempo de 40 min se obtuvo una remoción máxima de 70,80%, a 4A y una remoción mínima de 59,74% a 3A. Se puede deducir en base a los resultados que, a mayor intensidad de corriente, mayor será el % de remoción de DBO₅ y DQO además que se obtuvo un valor de significancia de 0,000 para DQO y DBO₅ respectivamente, ambos valores de p superan en valor de significancia de 0,05 por lo cual estos influyen significativamente en el proceso. (33) evaluó la tensión de corriente (voltaje) con relación a la remoción alcanzada del 82,91% DQO y el 85,61% DBO₅, aplicando 5 voltios, de igual manera se alcanzó el 92,38% DQO y el 94,94% DBO₅ aplicando 10 voltios y se alcanzó el 90,47% DQO y el 93,54% DBO₅ aplicando 15 voltios. (30) trabajo con un tiempo de 8 voltios y 16 voltios , se obtuvo los mejores porcentajes de remoción con 71,2% y 46,9% para ambos parámetros y determinó que suministrando 16 voltios de potencial energético a la celda electroquímica es la intensidad de corriente optima, a estas condiciones se identificaron los mejores resultados de disminución de ambos parámetros por lo cual a mayor tiempo mejor el % de remoción de carga orgánica (32). Esto se debe a que la corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es la estabilidad de las moléculas contaminantes.

CONCLUSIONES

- El porcentaje de remoción de DQO y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación en el distrito de Ahuac, obtuvo que el mayor porcentaje de remoción para DQO fue de 69,54% con una concentración final de 96,70 mg/L y 70,80% para DBO₅ con una concentración final de 64,31 mg/L, ambas a un tiempo de 40 minutos e intensidad de corriente de 4 A.
- Se caracterizó fisicoquímicamente las aguas residuales domésticas del distrito de Ahuac obteniendo 317,38 mg/L de concentración inicial de DQO y 220,20 mg/L de concentración inicial de DBO₅ sobrepasando los LMP establecidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM los cuales son 200 mg/L de DQO y 100 mg/L de DBO₅.
- El tiempo de residencia en el porcentaje de remoción de la DQO Y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación influye de manera significativa ya que el valor de p de 0,015 y 0,049 para DQO y DBO₅ respectivamente, es menor al valor de significancia de 0,05 demostrando así que este influye significativamente en el proceso, además se determinó que los mayores porcentajes de remoción fueron a los 40 min demostrando que a mayor tiempo mayor será el % de remoción de DQO Y DBO₅.
- La intensidad de corriente en el porcentaje de remoción de la DQO Y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales mediante la electrocoagulación influye de manera significativa ya que el valor de p de 0,000 para DQO y DBO₅ de igual manera, es menor al valor de significancia de 0,05 demostrando así que este influye significativamente en el proceso, además se determinó que los mayores porcentajes de remoción fueron a los 4 A mientras que los menores porcentajes de remoción fueron trabajando con 3 A demostrando así que a mayor intensidad de corriente mayor será el % de remoción de DQO Y DBO₅.

RECOMENDACIONES

- Trabajar con la variable pH ya que es necesario saber el efecto que este influye en los resultados de remoción.
- Trabajar a mayores intensidades de corriente.
- Utilizar otros electrodos para así poder ver la eficiencia de ellos en los resultados obtenidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LARIOS, Fernando, Carlos GONZÁLES a Yennyfer MORALES. Aguas residuales y sus Consecuencias en el Perú. *Revista de la facultad de Ingeniería Universidad San Ignacio de Loyola* [online]. 2015, **2**(12), 9–25. ISSN 2311-7613. Dostupné z: <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
2. ZODI, Salim, Olivier POTIER, François LAPICQUE a Jean Pierre LECLERC. Treatment of the industrial wastewaters by electrocoagulation: Optimization of coupled electrochemical and sedimentation processes. *Desalination* [online]. 2010, **261**(1–2), 186–190. ISSN 00119164. Dostupné z: doi:10.1016/j.desal.2010.04.024
3. ESCOBAR, Claudio, César SOTO-SALAZAR a M. INÉS TORAL. Optimization of the electrocoagulation process for the removal of copper, lead and cadmium in natural waters and simulated wastewater. *Journal of Environmental Management* [online]. 2006, **81**(4), 384–391. ISSN 03014797. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2005.11.012
4. GÓMEZ-BAGGETHUN, Erik a David N. BARTON. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics* [online]. 2013, **86**, 235–245. ISSN 09218009. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolecon.2012.08.019
5. WANG, Ting, Jiajiang LIN, Zuliang CHEN, Mallavarapu MEGHARAJ a Ravendra NAIDU. Green synthesized iron nanoparticles by green tea and eucalyptus leaves extracts used for removal of nitrate in aqueous solution. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2014, **83**, 413–419. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2014.07.006
6. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie atrás* [online]. 2019. ISBN 978-92-3-300108-4. Dostupné z: <http://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2019/>
7. MERCADO, Ivan a Jose RIOS. Reactor de electrocoagulación versus reactor fisicoquímico . eliminar el níquel de las aguas. 2010, (September).
8. MINAM. Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. *El Peruano* [online]. 2017, 6–9. Dostupné z: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
9. PEROZO JESÚS a ABREU REBECA. Evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable. *Química viva* [online]. 2017, **16**(1), 56–69. Dostupné z: <http://www.redalyc.org/pdf/863/86351157005.pdf%0Ahttp://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v16n1/E0055.htm>
10. PAPALEO, Martín a Stephen RODRIGUEZ. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. B.m., 2011. Universidad de San Buenaventura Cali.

11. ARANGO RUIZ, Alvaro; a Luis Fernando GARCÉS GIRALDO. Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *REVISTA Universidad EAFIT*. 2007, **43**(147), 56–67. ISSN 0120-341X.
12. ROBLEZ, Lindsay Karime a Andrés Felipe LÓPEZ. Diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas , basado en electrocoagulación. *Universidad de la Salle* [online]. 2017. Dostupné z: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1314&context=ing_civil
13. AGUILAR, Edwar. Evaluación De La Eficiencia De Una celda de electrocoagulation a escala labortorio para el tratamiento de agua. 2015, 89.
14. RIVAS RAMÍREZ, Jimy Edgar a Manuel Alejandro ROJAS OBLITAS. Tratamiento de aguas residuales por el método de electrocoagulación del sistema PTAR de la laguna de estabilización San José Lambayeque [online]. 2020, 1–111. Dostupné z: https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/9200/Rivas_Ramírez_Jimy_Edgar_y_Rojas_Oblitas_Manuel_Alejandro.pdf?sequence=4&isAllowed=y
15. CUBA, María. Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales - Ate Vitarte ” Para optar el Grado Académico de Magíster en Gestión Integrada. 2020, 116.
16. RAMÓN CORDOVA, Yanela Marlene. 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. 2020.
17. JES, Yerson, Morales GONZALES, Mauricio ANDR a Navarro CASIANO. Metodo de electrocoagulation en aguas residuales: revision de literatura. 2021.
18. AGUILAR, Edwar. Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica* [online]. 2015, **18**(35), 69–73. ISSN 1682-3087. Dostupné z: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11843/10570>
19. JOSÉ MOYA LLAMAS. Tecnologías electroquímicas en el tratamiento de aguas: Electrocoagulación. *I.U.a.C.a* [online]. 2011, **03**, 8. Dostupné z: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/86621/1/Tema-TECNOLOGIAS-ELECTROQUIMICAS.pdf>
20. METCALF Y EDDY INC. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. 1998. ISBN 8448116062.
21. MINAM. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *El Peruano* [online]. 2010, 11. Dostupné z: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>
22. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley N° 29338. Que aprueba la „Ley de los Recursos Hídricos". *Diario Oficial El Peruano* [online]. 2009. Dostupné

z: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/BE196E28BE7D295D05257CE80052C303/\\$FILE/DECRETO_SUPREMO_001_2010_AG_REGLAMENTO_29338_LEY_REC_HIDR.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/BE196E28BE7D295D05257CE80052C303/$FILE/DECRETO_SUPREMO_001_2010_AG_REGLAMENTO_29338_LEY_REC_HIDR.pdf)

23. OEFA. El Regimen Comun de la Fiscalizacion Ambiental. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 2013, **53**(9), 1689–1699. ISSN 1098-6596.
24. BES MONGE, Sra. Sarai, Dr. Adrián M.T SILVA a Dr. Christophe BENGUA. *Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales* [online]. 2016. ISBN 9788409086375. Dostupné z: http://www.cytod.org/sites/default/files/manual_sobre_oxidaciones_avanzadas_0.pdf
25. CARRIZALES, Rosali a Nilo ENRIQUEZ. Determinacion de la dosis y concentracion optima del coagulante de Moringa Oleifera en la clarificacion del agua de la quebrada Taczanapampa de la ciudad de Huancavelica [online]. 2019, 115. Dostupné z: http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2628/TESIS-2019-ING_AMBIENTAL-CARRIZALES_CONDORI_Y_ENRIQUEZ_NATEROS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
26. HARRIS, Daniel. Determinación De Materia Orgánica En Aguas: Demanda Química De Oxígeno. *Técnicas Avanzadas en Química* [online]. 2004, 1–4. Dostupné z: https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0405/TAQP4_0405.pdf
27. FLOWEN. Coagulación y floculación en el tratamiento de aguas. *Tratamiento de aguas* [online]. 2022. Dostupné z: <https://flowen.com.pe/coagulacion-y-floculacion-en-el-tratamiento-de-aguas/>
28. HERNANDEZ, Roberto, Carlos FERNANDEZ a Maria BAPTISTA. *Metodologia de la investigacion*. 2014. ISBN 9781456223960.
29. SILVIA I. ACOSTA-GNASS a VALESKA DE ANDRADE STEMPLIUK. *Manual de esterilización para centros de salud* [online]. 2008. ISBN 9789275329269. Dostupné z: www.paho.org
30. ESPINOZA, Andres. Disminución de la DBO, DQO y STD del agua residual domestica de Santiago de Chuco empleando un biofiltro de piedra pómez. *Universidad César Vallejo*. 2017.
31. CORNEJO, Daniela. Determinación de la eficiencia de remocion de la DO de agua residual doméstica mediante la utilización de un biofiltro de piedra pómez. *Universidad Nacional de Trujillo*. 2015, **1**, 12.
32. GUERRERO, Antonio. Influencia del Tiempo y Voltaje en el Disminucion de la Carga Organica por Electrocuagulación del agua Residual de la Curtiembre SAC.". 2017.
33. PEREZ, Jose a Richard RODRIGUEZ. Remoción de DQO y DBO del lactosuero acido mediante el una celda de electrocoagulación. 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Monitoreo en campo

Anexo 1A. Toma de muestras



Anexo 1B. Toma de datos

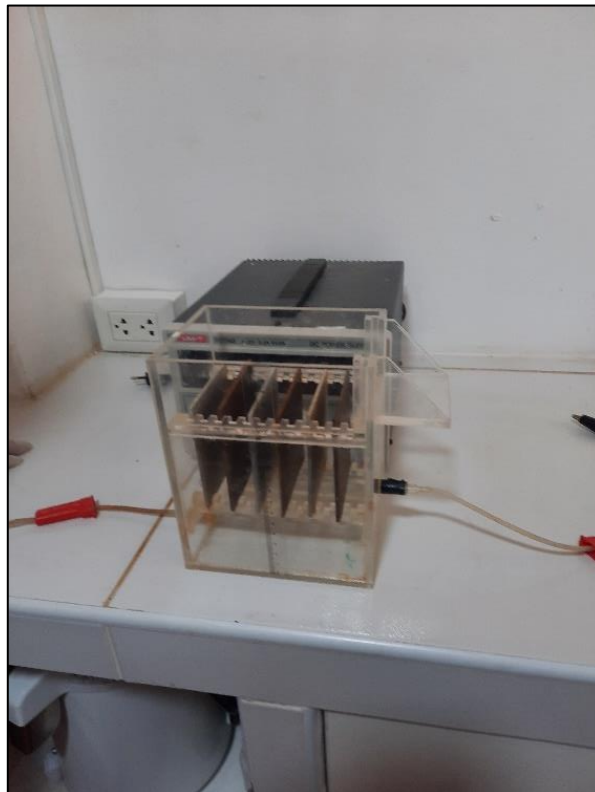


Anexo 2. Etapa de experimentación

Anexo 2A. Colocación de los electrodos de hierro y aluminio



Anexo 2B. Instalación de la celda de electrocoagulación



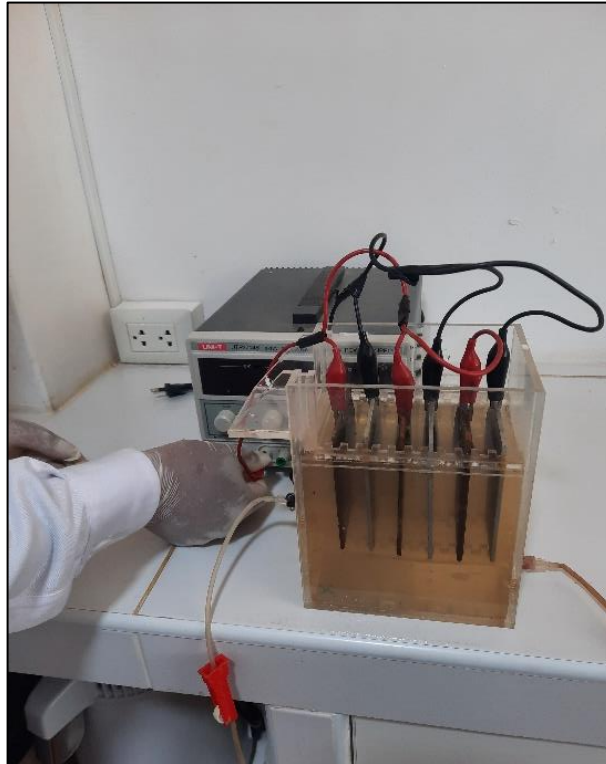
Anexo 2C. Distribución de la muestra para las corridas experimentales



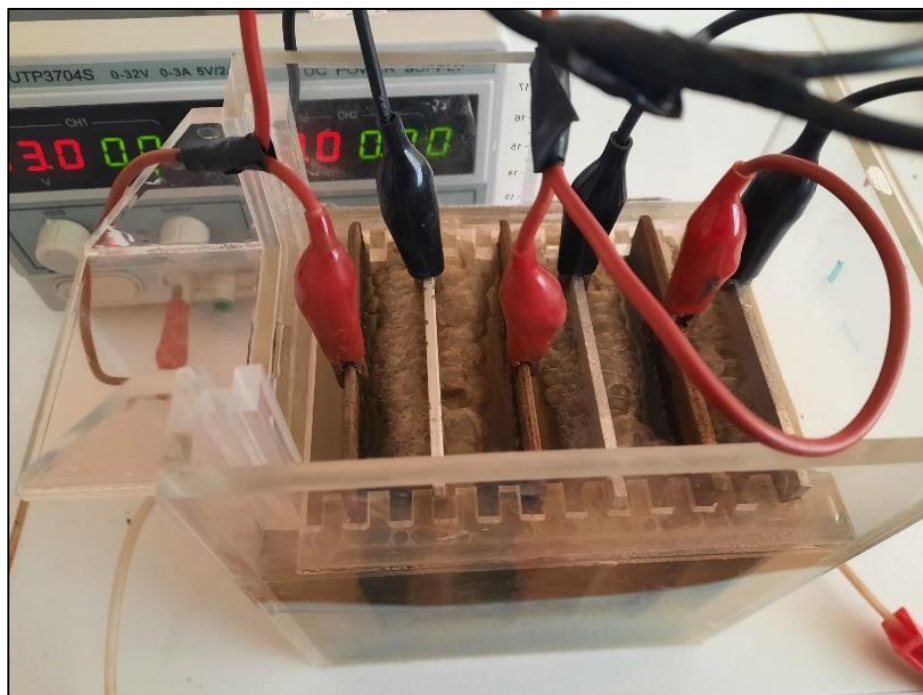
Anexo 2D. Celda de electrocoagulación con agua residual a tratar



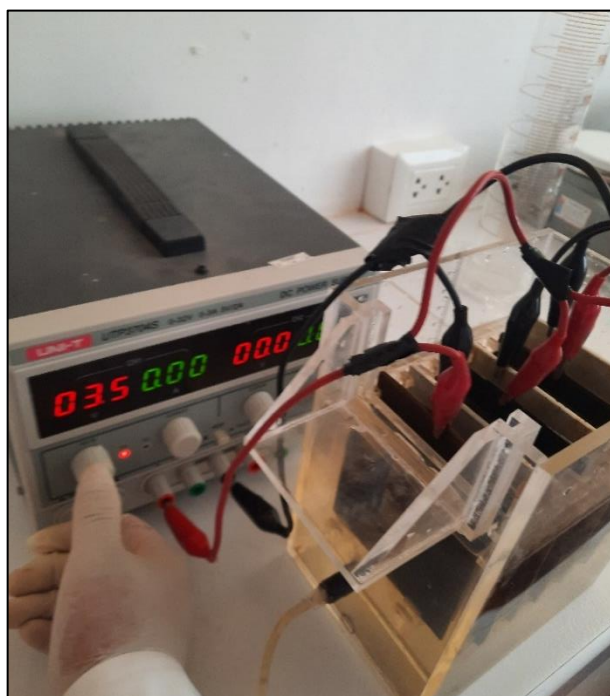
Anexo 2E. Instalación de fuente de poder



Anexo 2F. Intensidad de corriente a 30 A



Anexo 2G. Intensidad de corriente a 35 A



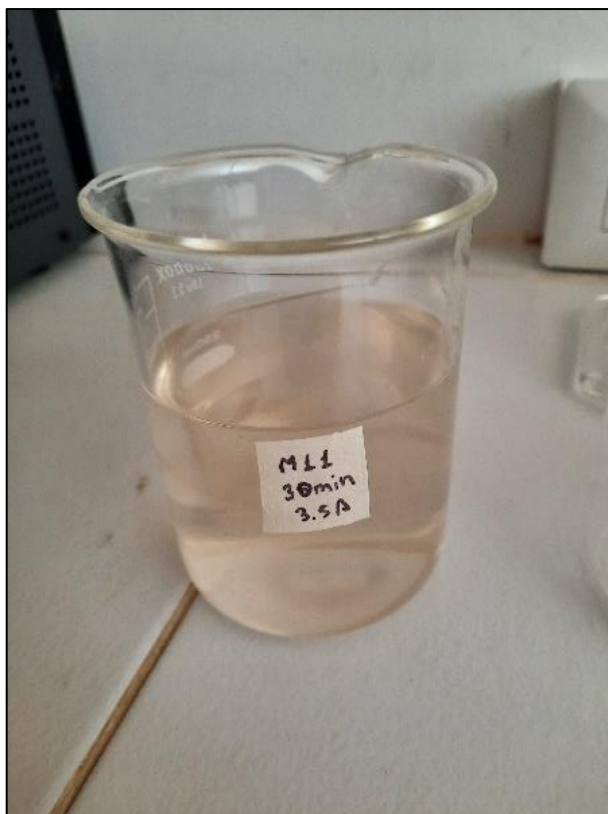


Anexo 2H. Intensidad de corriente a 40 A

Anexo 2I. Toma de muestra de agua tratada



Anexo 2J. Muestra obtenida en 30 min con 35 A



Anexo 3. Reportes



INFORME DE ENSAYO N° 1-0126/22

Pág. 1/1

Solicitante: Samir Leiva Gonzales
Domicilio legal: Av. Huancavelica N°1260 - El Tambo
Proyecto: Determinación de la remoción de DQO y DBO₅ en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la electrocoagulación en el distrito de Ahuac
Muestra(s) Declarada(s): Agua tratada
Procedencia de la Muestra:
Lugar de Muestreo:
Cantidad de muestras para el Ensayo: 09 muestras x 250 mL
Forma de Presentación: 09 Frascos de Plástico
Fecha de Recepción: 29/09/22
Fecha de Inicio del Ensayo: 30/09/22
Fecha de Término del Ensayo: 05/10/22
Fecha de Emisión de Informe: 06/10/22
N° de Cotización de Servicio:

Código del cliente	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
S11R3	179.54	97.25
S12R3	183.42	93.16
S13R3	151.09	88.23
S21R3	159.98	74.09
S22R3	151.02	72.01
S23R3	131.02	67.45
S31R3	120.95	70.04
S32R3	100.34	68.99
S33R3	95.67	63.56

- Lugar y condiciones ambientales del muestreo; Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

Método de Análisis:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed 2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5- Day BOD Test.
 Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed 2017, Closed Reflux, Colorimetric Method.

Huancayo, 06 de Octubre de 2022

GRUPO JHACC S.A.C.
Ing. Henry K. Ochoa León
 CIP N° 124232
 JEFE DE LABORATORIO

"El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe"

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC"
 "Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce."

LAA-GJ

Rev: 01

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682
 Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
 www.grupojhacc.com

INFORME DE ENSAYO N° 1-0118/22

Pág. 1/1

Solicitante: Samir Leiva Gonzales
Domicilio legal: Av. Huancavelica N°1260 - El Tambo
Proyecto: Determinación de la remoción de DQO y DBO₅ en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la electrocoagulación en el distrito de Ahuac
Muestra(s) Declarada(s): Agua residual doméstica y aguas tratadas
Procedencia de la Muestra:
Lugar de Muestreo:
Cantidad de muestras para el Ensayo: 10 muestras x 250 mL
Forma de Presentación: 10 Frascos de Plástico
Fecha de Recepción: 16/09/22
Fecha de Inicio del Ensayo: 16/09/22
Fecha de Término del Ensayo: 20/09/22
Fecha de Emisión de Informe: 21/09/22
N° de Cotización de Servicio:



Código del cliente	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
S0	317.38	220.20

Código del cliente	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
S11R1	178.25	98.80
S12R1	183.15	94.30
S13R1	151.55	88.4
S21R1	158.8	74
S22R1	149.7	71.4
S23R1	131.6	67.8
S31R1	121.41	70.2
S32R1	101.35	68.8
S33R1	98.24	65.30

- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

Método de Análisis:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B; 23rd Ed.2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-Day BOD Test.
Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed.2017. Closed Reflux, Colorimetric Method.

Huancayo, 21 de Septiembre de 2022

GRUPO JHACC S.A.C
Ing. Henry E. Ochoa León
CIP N° 124232
JEFE DE LABORATORIO

*El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe

*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC

*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682
Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
www.grupojhacc.com

INFORME DE ENSAYO N° 1-0123/22

Pág. 1/1

Solicitante: Samir Leiva Gonzales
Domicilio legal: Av. Huancavelica N°1260 - El Tambo
Proyecto: Determinación de la remoción de DQO y DBO₅ en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la electrocoagulación en el distrito de Ahuac
Muestra(s) Declarada(s): Agua tratada
Procedencia de la Muestra:
Lugar de Muestreo:
Cantidad de muestras para el Ensayo: 09 muestras x 250 mL
Forma de Presentación: 09 Frascos de Plástico
Fecha de Recepción: 21/09/22
Fecha de Inicio del Ensayo: 22/09/22
Fecha de Término del Ensayo: 27/09/22
Fecha de Emisión de Informe: 28/09/22
N° de Cotización de Servicio:

Código del cliente	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
S11R2	180.32	97.06
S12R2	182.63	94.45
S13R2	150.43	89.34
S21R2	159.32	73.45
S22R2	150.18	72.18
S23R2	133.23	67.32
S31R2	121.99	69.54
S32R2	100.56	69.13
S33R2	96.18	64.07

- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dimensión

Método de Análisis:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed 2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5- Day BOD Test.

Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed 2017, Closed Reflux, Colorimetric Method.

Huancayo, 28 de Septiembre de 2022

GRUPO JHACC S.A.C.
Ing. Henry R. Ochoa León
CIP N° 124232
JEFE DE LABORATORIO

"El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe"

"Prohíbe la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC"

"Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce."

LAA-GJ

Rev: 01

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682
Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
www.grupojhacc.com