



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
ANTONIO ABAD DEL CUSCO**



FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
QUÍMICA**

**ELECTROCOAGULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
EN LA INDUSTRIA LÁCTEA RAMIREZ – ANTA- COMPONE**

Tesis presentada por:

Br. FANY MARCIA CHACON BACILIO.

Br. CINTHIA KAREN HUAMPOTUPA CHAMPI.

**Para optar al Título Profesional de:
Ingeniero Químico**

**Asesor:
Ing. WASHINGTON JULIO LECHUGA CANAL**

Financiado por el programa: YACHAYNINCHIS WIÑARIÑANPAQ

Cusco-Perú

2021

DEDICATORIAS

Esta tesis dedico a DIOS por darme fortaleza, sabiduría, vida y la oportunidad de hacer realidad uno más de mis sueños.

A mis padres: Santos Chacón y Marcelina Bacilio; por su cariño y dedicación en mi educación y formación profesional, que me brindaron su apoyo para lograr mis objetivos.

ATTE. FANY MARCIA CHACON BACILIO

La presente tesis está dedicada a Dios ya que gracias a Él he logrado concluir mi carrera profesional.

A mis padres Zenovio Huampotupa y Teófila Champi, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo incondicional y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

A mi hermano Albar Yovani Huampotupa por sus consejos de salir adelante siempre. A mi esposo Danny Chauca Dávalos por sus palabras y confianza, por su amor y brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente, A mi hija Alison Fabiana Chauca, Tu afecto y tu cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ti. Aun a tu corta edad, me has enseñado y me sigues enseñando muchas cosas de esta vida. Te agradezco por ayudarme a encontrar el lado dulce y no amargo de la vida. Fuiste mi motivación más grande para concluir con éxito este proyecto de tesis. Gracias, bebé.

ATTE: CINTHIA KAREN HUAMPOTUPA CHAMPI

AGRADECIMIENTO

Primeramente, nos gustaría agradecer a Dios por ser nuestra fortaleza, guía, fundamento y bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado y seguir siempre adelante.

Queremos mostrar nuestro mayor agradecimiento al Ing. Washington Julio Lechuga Canal, asesor de esta tesis, ya que sin su orientación y apoyo esta tesis no hubiera sido posible.

A la empresa Ramírez por brindarnos la confianza y el apoyo para la realización de este proyecto.

Agradecemos al Ingeniero WASHINGTON JULIO LECHUGA CANAL y al Ingeniero ANTONIO BUENO LAZO por habernos brindado el laboratorio de hidrocarburos SL 01. Para poder desarrollar la parte experimental de nuestro trabajo de investigación.

Agradecemos a la Ing. MIRIAM SALAS PINO por permitirnos utilizar sus instalaciones para desarrollar nuestra tesis.

Agradecemos a la UNSAAC cursado por el VICERRECTOR DE INVESTIGACION que aprobó nuestro proyecto de tesis como ganadoras para el Financiamiento de Tesis de Pregrado 2019 del programa YACHAYNINCHIS WIÑARINANPAQ.

Son muchas las personas que han formado parte de nuestra vida profesional, compañeros de la carrera, gracias por su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en cada momento.

PRESENTACION

**SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.**

En cumplimiento a lo dispuesto por el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, presentamos a vuestra consideración la tesis intitulada:

**ELECTROCOAGULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA
LÁCTEA RAMIREZ – ANTA- COMPONE**

El presente trabajo de investigación está orientado al tratamiento del lactosuero que es generado a partir de la elaboración de queso por el proceso de electrocoagulación.

Se espera que la presente sirva de referencia y consulta para posteriores investigaciones.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se estudió la electrocoagulación como tratamiento para el lactosuero de la leche y la capacidad de remoción de la carga orgánica, producto de la elaboración de quesos, ubicado en la provincia de Anta, departamento del Cusco.

El proceso de electrocoagulación se trabajó en reactor Batch, con un volumen de 2500mL de muestra compuesta de lactosuero; se apreció la influencia de los factores pH, densidad de corriente, conductividad eléctrica y tiempo de reacción, disponiendo los valores óptimos para obtener la mayor eficiencia de remoción de la carga orgánica. Los resultados fueron expresados en porcentajes de remoción demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos totales (TSS) y Aceites y Grasas (AyG). Se monitoreo, la densidad de corriente, temperatura, conductividad eléctrica en cada ensayo.

En el proceso de electrocoagulación, se trabajó con electrodos de aluminio y acero inoxidable, se determinó la mayor remoción de demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), y Aceites y Grasas (AyG), con un tiempo de 50 minutos. En el caso de la TSS se lograron las mejores remociones en un tiempo de 30 minutos.

Para el tiempo de 50 minutos el lactosuero alcanzó una remoción de DQO de 86.96%, DBO_5 de 71.94% y Aceites y Grasas de 74.81%, en un tiempo de 30 minutos se alcanzó una remoción de TSS de 55.31%.

A las mejores condiciones del diseño experimental final se determinó la cinética de remoción de la DQO y DBO_5 , determinándose la cinética de reacción de segundo orden para ambos casos.

Palabras Claves

Electrocoagulación, lactosuero, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Sólidos suspendidos totales (TSS), Grasas y Aceites (AyG).

CONTENIDO

DEDICATORIAS	1
AGRADECIMIENTO	2
PRESENTACION.....	3
RESUMEN.....	4
CONTENIDO	5
CONTENIDO DE TABLA.....	9
<i>CONTENIDO DE FIGURAS</i>	10
CAPITULO I.....	11
1. GENERALIDADES.....	11
1.1 INTRODUCCION.....	11
1.2 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	12
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 OBJETIVOS GENERALES.....	15
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4 JUSTIFICACIÓN DE INVESTIGACIÓN	15
1.5 ANTECEDENTES	16
CAPITULO II	19
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 INDUSTRIA LÁCTEA.....	19
2.2 LACTOSUERO.....	20
2.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LACTOSUERO.....	21
2.2.2 EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA	22
2.2.3 ELIMINACIÓN ANUAL DE LACTOSUERO.....	22
2.2.4 CONTAMINACIÓN DEL AGUA GENERADA POR LA INDUSTRIA LÁCTEA.....	23
2.2.5 AGUAS RESIDUALES	23
2.2.6 CLASIFICACION DE AGUAS RESIDUALES.....	25
2.2.7 CONTAMINANTES EN LAS AGUAS RESIDUALES.....	26
2.2.8 DIAGRAMA DE FLUJO FISICO-QUIMICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	27
2.3 ELECTROQUÍMICA.....	27
2.3.1 CELDAS ELECTROQUÍMICAS	28
2.3.2 LEYES DE FARADAY	28
2.3.3 ELECTROFLOTACIÓN.....	30

2.3.4	ELECTROFLOCULACIÓN	31
2.3.5	ELECTROCOAGULACIÓN	32
2.4	PRINCIPIO DE ELECTROCOAGULACIÓN	33
2.4.1	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ELECTROCOAGULACIÓN.....	35
2.4.2	MECANISMOS DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.	36
2.4.3	FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.	37
2.4.4	REACTORES PARA PROCESOS DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	39
2.4.5	CARACTERÍSTICAS DE LA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN. ..	41
2.5	DISEÑO DE UNA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	42
2.5.1	ELECTRODOS PARA ELECTROCOAGULACIÓN.....	43
2.5.2	NÚMERO DE ELECTRODOS.....	45
2.6	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO.....	45
2.7	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO5).....	46
2.8	TURBIEDAD	46
2.9	pH	47
	CAPITULO III.....	48
3.	METODOLOGIA	48
3.1	TOMA DE LAS MUESTRAS	48
3.2	MUESTRA	49
3.3	MATERIALES Y EQUIPOS.	49
3.3.1	MATERIALES:	49
3.3.2	EQUIPOS E INSTRUMENTOS.	49
3.3.3	REACTIVOS	50
3.4	PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL LACTOSUERO.	51
3.5	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.	52
3.6	SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.	52
3.7	ARMADO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	53
3.8	DETERMINACIÓN DEL pH.	54
3.9	DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD.....	54
3.10	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE.	54
3.11	DETERMINACIÓN DEL TIEMPO.	55
3.12	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS AL FINAL DEL PROCESO DE LA ELECTROCOAGULACIÓN	55
3.13	PARÁMETROS Y VARIABLES DE OPERACIÓN.....	55

3.14	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	56
3.15	PORCENTAJE DE REMOCIÓN OBTENIDA CON LA ELECTROCOAGULACIÓN.....	59
3.16	CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DB05) Y DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO). COMPORTAMIENTO DE LA REMOCIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (TSS) Y ACEITES Y GRASAS.....	59
	CAPITULO IV.....	60
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
4.1	VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES PARA DESCARGAR AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO.....	60
4.2	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS MUESTRAS.....	61
4.3	CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICAS DE LAS MUESTRAS ANTES Y DESPUÉS DE LA ELECTROCOAGULACIÓN.....	65
4.4	PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	67
4.4.1	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO DEL LACTOSUERO RESIDUAL.....	69
4.4.2	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DEL LACTOSUERO RESIDUAL.....	74
4.4.3	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES DEL LACTOSUERO RESIDUAL.....	78
4.4.4	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES.....	81
4.5	INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE EN EL PORCENTAJE DE REMOCION DE LA DQO.....	85
4.6	INFLUENCIA DE LA CONDUCTIVIDAD EN LA ELECTROCOAGULACIÓN DE LACTOSUERO.....	86
4.7	INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LA ELECTROCOAGULACIÓN DE LACTOSUERO.....	88
4.8	CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).....	89
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES.....	94
	BIBLIOGRAFÍA.....	95
	APENDICE.....	105
	APENDICE A.....	105
A.1.	TOMA DE MUESTRAS DEL LACTOSUERO PARA SU CARACTERIZACION DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	105
A.2.	IMÁGENES DEL LACTOSUERO ANTES, DURANTE Y DESPUES DEL TRATAMIENTO POR ELECTROCOAGULACIÓN.....	107

A.3. IMAGENES DEL ARMADO DE LA CELDA, TOMA DE MUESTRAS, OPERACIÓN, ANÁLISIS DE DBO5, DQO Y TSS.	109
APENDICE B	115
B.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL LACTOSUERO TRATADAS MEDIANTE ELECTROCOAGLACION A DIFERENTES DENSIDADES Y TIEMPOS.....	115
B.2. DETERMINACIÓN CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5) Y DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).	120
B.2.1. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)() PARA SEGUNDO ORDEN DE REACCIÓN.....	120
B.2.2. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) PARA UN SEGUNDO ORDEN DE REACCIÓN.	121
B.2.3 CINÉTICA DE DEGRADACIÓN PARA LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5) PARA UNA REACCIÓN DE PRIMER ORDEN	123
B.2.4 CINÉTICA DE DEGRADACIÓN PARA LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) PARA UNA REACCIÓN DE PRIMER ORDEN	124
ANEXO A. CARACTERIZACIÓN FÍSICA-QUÍMICA DE LA MUESTRA.....	126
A.1. REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)..	126
A.2. REMOCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO). HI93754B-MR	127
A.3. REMOCION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	129
A.4 BASE DE CALCULO PARA LLEGAR A LOS LMP DE DQO, DBO5 , TSS Y AyG	130
ANEXO B. NORMATIVAS.....	131
B.1 NORMA TECNICA NTE INEN 2594:2011.....	135
ANEXO C. INFORME DE MONITOREO DEL LABORATORIO ANALISIS MICROBIOLOGICO DE ALIMENTOS (LAASA LAB)	136
ANEXO D. RESUMEN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN DE ELECTROCOAGULACIÓN DE LACTOSUERO DE LA EMPRESA RAMIREZ. .	138
ANEXO E. RESUMEN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN DE ELECTROCOAGULACIÓN ENCONTRADOS EN LA LITERATURA.....	139

CONTENIDO DE TABLA

<i>Tabla 1. Parámetros para la composición de los vertidos de la industria láctea.</i>	20
<i>Tabla 2. Composiciones fisicoquímicas del lactosuero.</i>	22
<i>Tabla 3. Contaminantes en el tratamiento de las aguas residuales.</i>	26
<i>Tabla 4. Características de los electrodos en serie y en paralelo.</i>	44
<i>Tabla 5. Tiempos en la electrocoagulación</i>	55
<i>Tabla 6. Variables independientes y niveles para el diseño experimental.</i>	57
<i>Tabla 7. Plan experimental.</i>	58
<i>Tabla 8. VMA al sistema de alcantarillado</i>	60
<i>Tabla 9. Caracterización fisicoquímica del lactosuero antes de la electrocoagulación del lactosuero.</i>	64
<i>Tabla 10. Caracterizaciones microbiológicas del lactosuero antes del proceso de la electrocoagulación.</i>	65
<i>Tabla 11. Caracterizaciones microbiológicas del lactosuero después del proceso de la electrocoagulación.</i>	66
<i>Tabla 12. Resultados Experimentales para 20 Am², 1.2 A y 2 minutos a un espaciamiento de 1cm.</i>	67
<i>Tabla 13. Resultados Experimentales para 56.7 Am², 3.4 A y 50 minutos.</i>	68
<i>Tabla 14. Concentración y porcentaje de remoción para la DQO del lactosuero.</i>	69
<i>Tabla 15. Floculante generado (mol Al³⁺/s) en todo el proceso.</i>	72
<i>Tabla 16. Concentración y porcentaje de remoción para la DBO₅ lactosuero “MUESTRA 1, MUESTRA 2 y MUESTRA 3”.</i>	74
<i>Tabla 17. Concentración y porcentaje de remoción para la TSS del lactosuero “MUESTRA 1, MUESTRA 2”.</i>	78
<i>Tabla 18. Concentración y porcentaje de remoción para grasas y aceites del lactosuero “MUESTRA 1, MUESTRA 2 y MUESTRA 3”.</i>	82
<i>Tabla 19. Tiempo respecto a la intensidad de corriente y conductividad de la “muestra 1, muestra 2 y muestra 3”.</i>	86
<i>Tabla 20. Tiempo vs Temperatura.</i>	88
<i>Tabla 21. Comparación de orden de reacción.</i>	92
<i>Tabla 22. Etiqueta del rotulado de frasco para toma de muestras.</i>	107
<i>Tabla 23. Intensidad y Tiempo.</i>	108
<i>Tabla 24. Resultados Experimentales para 20 Am², 1.2 A y 5 minutos.</i>	115
<i>Tabla 25. Resultados Experimentales para 20 Am², 1.2 A y 10 minutos.</i>	115
<i>Tabla 26. Resultados Experimentales para 20 Am², 1.2 A y 20 minutos.</i>	116
<i>Tabla 27. Resultados Experimentales para 20 Am², 1.2 A y 30 minutos.</i>	116
<i>Tabla 28. Resultados Experimentales para 20 Am², 1.2 A y 50 minutos.</i>	117
<i>Tabla 29. Resultados Experimentales para 56.7 Am², 3.4 A y 2 minutos.</i>	117
<i>Tabla 30. Resultados Experimentales para 56.7 Am², 3.4 A y 5 minutos.</i>	118
<i>Tabla 31. Resultados Experimentales para 56.7 Am², 3.4 A y 10 minutos.</i>	118
<i>Tabla 32. Resultados Experimentales para 56.7 Am², 3.4 A y 20 minutos.</i>	119
<i>Tabla 33. Resultados Experimentales para 56.7 Am², 3.4 A y 30 minutos.</i>	119
<i>Tabla 34. Cálculos para obtención de la constante de equilibrio K y segundo orden de reacción de la DBO₅.</i>	120

Tabla 35. Cálculos para obtención de la constante de equilibrio K y segundo orden de reacción de la DQO.	122
Tabla 36. Cálculos para obtención de la constante de equilibrio K y primer orden de reacción de la DB05	123
Tabla 37. Cálculos para obtención de la constante de equilibrio K y primer orden de reacción de la DQO.	125
Tabla 38. Rango de los viales	128
Tabla 39. Valores promedios de los residuales acuosos de la industria láctea – Argentina.	134

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Aguas Residuales Industria Láctea Ramírez.	24
Figura 2. Tipos de Agua Residual.	25
Figura 3. Diagrama de flujo.	27
Figura 4. Celda electroquímica.	28
Figura 5. Esquema de celda de electrocoagulación.	29
Figura 6. Esquema de una celda de electrofloculación.	31
Figura 7. Esquema de una celda de electrocoagulación.	32
Figura 8. Celda electrolítica.	35
Figura 9. Reactor flujo tipo Batch con electrodos monopolares en serie.	40
Figura 10. Dimensiones de celda de electrocoagulación.	42
Figura 11. Diagrama del equipo de electrocoagulación.	42
Figura 12. Electrodos de acero inoxidable y aluminio en la electrocoagulación.	43
Figura 13. Reactor de electrodos tipo Bach serie- paralelo.	44
Figura 14. Mapa de ubicación de zona de estudio.	48
Figura 15. Diagrama del flujo del proceso de electrocoagulación	52
Figura 16. Sistema del equipo de Electrocoagulación.	52
Figura 17. Armado de la celda de electrocoagulación para el lactosuero.	53
Figura 18. Poza de vertimiento del efluente de la Industria Ramírez.	61
Figura 19. Planta de tratamiento de aguas servidas	
Figura 20. Río Jatunmayo de la de la Municipalidad de Anta” SNIP 270841 provincia de Anta	63
Figura 21. Diseño de la “Planta de Tratamiento de Aguas Servidas-Anta”- TANQUE INHOFF.	63

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

La industria de productos lácteos, así como la mayoría de agroindustrias, genera aguas residuales con alta carga orgánica que se caracterizan por su elevada concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO), (Derimel & Yenigun, 2005). Se componen principalmente de proteínas, grasas, azúcares disueltos, residuos de aditivos. Estos componentes, que se encuentran en estado coloidal o disuelto, tienen un gran potencial orgánico provocando una contaminación biodegradable, (Arango Ruiz & Garces Giraldo, 2009).

Uno de los residuos principales es el suero de leche; el volumen producido es alrededor del 80 % a 90 % del volumen de leche procesada (Morante, 2002), con una carga orgánica muy elevada (DQO aproximado de 60.000 mg/l), por ello su vertido junto con las aguas residuales aumenta considerablemente la carga contaminante del vertido final.

Actualmente muchas empresas no emplean sistemas de tratamiento por la falta de gestión de los residuos; a pesar de que existen tecnologías para aprovechar el lactosuero, muchas empresas no optan por implementarlas porque la mayoría de estas son empresas medianas, pequeñas y resulta un costo elevado su implementación en planta y también por la baja eficiencia del sistema de tratamiento; por lo que optan por desechar estos residuos al alcantarillado.

La tecnología de electrocoagulación es un proceso de tratamiento de la aplicación de corriente eléctrica para tratar y flocular contaminantes sin tener que añadir coagulantes. Mediante este estudio se verifica que la técnica de electrocoagulación contribuye a minimizar los contaminantes en las aguas residuales. (Mendieta, 2013).

Según (Arango & Garces, 2007) ;la electrocoagulación (EC) es una técnica utilizada para el tratamiento de diversas aguas residuales. En este proceso son removidos los contaminantes que se encuentran suspendidos, emulsionados o disueltos en el medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados. En este caso la

función de remoción de los contaminantes es llevada a cabo por la corriente eléctrica aplicada al medio contaminado.

“De acuerdo con (Arango Ruiz & Garces Giraldo, 2009); los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario. Los iones metálicos se liberan y se dispersan en el medio líquido; estos iones metálicos tienden a formar óxidos metálicos que atraen eléctricamente a los contaminantes que han sido desestabilizados”.

El proyecto de investigación que realizamos comprende tres capítulos, el Capítulo I y el capítulo II, el marco teórico que consta de antecedentes, concepto de agua, tipos de agua, definición de lactosuero, usos de lactosuero, contaminación, definición de electrocoagulación y las variables involucradas en el proyecto de investigación.

En el capítulo III, menciona la parte experimental que comprende el diseño experimental, materiales, equipos y reactivos utilizados en el trabajo realizado, también comprende la metodología utilizada.

En el capítulo IV, se presenta los resultados obtenidos en el proceso experimental y los porcentajes de remoción obtenidos a diferentes tiempos.

1.2 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La Industria láctea a pesar del aporte de la producción de queso, no se puede dejar de lado la problemática generada por sus residuos. Según (Concha Reinoso, 2011); reitera que la productividad industrial no debería medirse por la mayor cantidad de bienes económicos producida en un determinado periodo de tiempo, sino por la mayor cantidad producida con el menor gasto energético posible, manejando adecuadamente los recursos para evitar la disipación de energía, contaminación y aumento de residuos.

Por ello, cada empresa lechera debe minimizar el nivel de contaminación que genera, para reducir el impacto ambiental y trabajar en una producción más limpia. (Orozco Z. , 2006). La sociedad se ha percatado de los efectos que tiene sobre el ambiente en la contaminación generada por algunas industrias y ha surgido la normatividad ambiental donde son un conjunto de leyes, reglamentos y normas donde se establecen los derechos, obligaciones y límites de los usuarios de los recursos naturales para la protección del ambiente (Acero,

2014). Es así que la mejora del ambiente atiende a una responsabilidad social, que recae sobre la persona que genera la afectación al medio, de este modo en la elaboración de queso, los dueños de las queserías son responsables desde la etapa de producción hasta tener el tener el producto terminado.

Frente a esta problemática en torno al agua, se ha visto la necesidad de desarrollar una serie de estrategias de manejo sustentable de esta. Según (Morales, 2015); el reúso y recirculación son estrategias del manejo del agua. “La elevada cantidad de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. En la mayoría de los casos, estos efluentes no son tratados y simplemente son lanzados a ríos o suelos, donde se contribuye a la eutrofización por los altos contenidos de nitrógeno y fósforo (Chimenez, 2006)”.”Tratar los efluentes derivados de la industria láctea es de gran importancia, no sólo para el ambiente, sino también para el aprovechamiento del recurso hídrico; ya que puede reciclarse y utilizarse como riego agrícola o para otros procesos industriales y en el mejor de los casos para la extracción o recuperación de fósforo (Hamdani, 2017)”.

Conforme con (Chen, Desestabilizantes de las partículas del agua residual, 2004); el consumo descontrolado y los altos niveles de contaminación del recurso agua, han dado lugar a la investigación de diversas tecnologías con el fin de reducir la carga orgánica e inorgánica que se encuentran presentes en las aguas residuales, una de ellas es la electrocoagulación, proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados. Según (Sandoval, 2007); una de las principales causas de la contaminación de los diferentes cuerpos de agua es la cantidad de nutrientes y materia orgánica que son emanados como resultado de las diferentes actividades antropogénicas. El exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo, genera un daño a los ecosistemas acuáticos debido a la afectación de la calidad fisicoquímica del agua. Dicha contaminación es generada principalmente por las aguas residuales que no reciben un tratamiento adecuado dado que en la mayoría de los casos se necesitan sistemas de tratamiento eficientes para el manejo de las aguas residuales que requieren inversiones sustanciales de capital que las comunidades no están en capacidad de pagar.

De acuerdo con (Romero , Santiso, & Gonzales, 2014); el tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente y la calidad de vida. Entre los sistemas naturales de tratamiento se encuentran los humedales artificiales, que cuentan con las ventajas de ser sistemas de bajo costo de instalación y mantenimiento, comparado con sistemas físicos, químicos y biológicos convencionales. “Cada vez más los países ponen mayor énfasis en el tratamiento de las aguas residuales. En este sentido, se aplican a la industria, a la minería y a los centros urbanos sofisticados sistemas de tratamientos que combinan procesos físicos, químicos y biológicos para tratar las salidas. Sin embargo, poco se sabe de los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas, quizás más por su desconocimiento que por su factibilidad (Celis, 2005)”.

Acorde con (Peña & Garcia, 2015); en las industrias lácteas las centrales lecheras producen diariamente una considerable cantidad de aguas residuales, que suele oscilar entre 4 y 10 litros de agua por cada 1 litro de leche tratada, según el tipo de planta. La mayor parte de estas aguas proceden fundamentalmente de la limpieza de aparatos, máquinas y salas de tratamiento, por lo que contienen restos de productos lácteos y productos químicos (ácidos, álcalis, detergentes, desinfectantes, etc.), aunque también se vierten aguas de refrigeración que, si no se recuperan de forma adecuada, pueden suponer hasta 2-3 veces la cantidad de leche que entra en la central.

Formulación del problema

a) Problema general.

¿Cuál es el porcentaje de remoción de materia orgánica en el proceso del efluente industrial por electrocoagulación en un reactor monopolar de la industria láctea RAMIREZ?

b) Problemas específicos.

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológicas del efluente de la industria láctea “RAMIREZ”?
- ¿Cuál es la influencia del pH, conductividad y densidad de corriente en el proceso de electrocoagulación en un reactor monopolar?
- ¿Cuáles son los parámetros de pH, conductividad y densidad de corriente del lactosuero en el proceso de electrocoagulación en un reactor monopolar?

- ¿Cuál es el tiempo de residencia del proceso de electrocoagulación para el tratamiento del efluente de la industria láctea RAMIREZ?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVOS GENERALES

Determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica en el proceso del efluente industrial por electrocoagulación en un reactor monopolar de la industria láctea RAMIREZ.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de la industria láctea “RAMIREZ”.
- Determinar la influencia del pH, conductividad y densidad de corriente en el proceso de electrocoagulación en un reactor monopolar.
- Determinar los parámetros de pH, conductividad y densidad de corriente del lactosuero en el proceso de electrocoagulación en un reactor monopolar.
- Determinar el tiempo de residencia del proceso de electrocoagulación para el tratamiento del efluente de la industria láctea RAMIREZ”.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE INVESTIGACIÓN

Tecnológico

“Se justifica buscar en esta investigación nuevas alternativas en el tratamiento de aguas, siendo una de estas la electrocoagulación, que es una tecnología que no utiliza coagulantes químicos, ya que con cargas eléctricas desestabiliza las partículas coloidales permitiendo su aglomeración y precipitación, produciendo la depuración del agua contaminada (Chang, 2002)”.

Según (Chang, 2002); la electrocoagulación como técnica electroquímica, es un proceso donde los agentes coagulantes son generados por electro-oxidación del ánodo(positivo) de sacrificio, en este caso se utilizarán placas de Aluminio y acero inoxidable; durante este proceso, el tratamiento se lleva a cabo sin la adición de coagulantes o floculantes químicos, debido a que el coagulante se forma por las reacciones de óxido reducción que ocurren

entre los electrodos y el medio acuoso, posteriormente son conectadas a la corriente eléctrica. El lodo obtenido en este proceso se puede reciclar para otras industrias y puede ser separados por filtración, decantación, etc.

Ambiental

La técnica puede ayudar al cumplimiento de normatividad para el sector productivo de la zona de Anta – industria de lácteos. De igual manera es una atractiva e innovadora opción ambiental para el tratamiento de aguas residuales, teniendo en cuenta que al disminuir el uso de coagulantes químicos, disminuye la probabilidad que ocurra contaminación al medio ambiente. La aplicación de la técnica, reduciría la descarga de contaminantes a los cuerpos de agua receptores. (Abaigar & Humpire Coila, 2009).

“Entre muchas técnicas tales como la sedimentación, la precipitación, filtración, coagulación, la flotación y la extracción con solventes disponibles, hoy en día la Electrocoagulación es una tecnología fácil que puede ser usada en los procesos “limpios” de tratamiento de aguas residuales, para recuperación de aguas contaminadas con desechos fecales y su posterior descontaminación (Marsilli, 2005)”.

Por ello como forma de colaborar con la protección de nuestro medio ambiente y optimizar el aprovechamiento del lactosuero residual, se realizó el presente trabajo de investigación utilizando el proceso de electrocoagulación controlando los parámetros de pH, densidad de corriente, conductividad eléctrica y tiempo, para reducir la remoción de los diferentes parámetros de contaminación a estudiar, de esa manera poder reutilizar el agua tratada. Por las consideraciones y frente al problema de lactosuero residual, es necesario someterlo a un proceso de a fin de mitigar su impacto. (Marsilli, 2005).

1.5 ANTECEDENTES

Según “ (Barbosa Palomino, 2011), realizó estudios en el campo de la electrocoagulación empleando electrodos de sacrificio de aluminio para la reducción de la carga de contaminantes de las aguas residuales “La Totorá” en Ayacucho. Obtuvo resultados efectivos con 25 minutos de electrocoagulación, densidad de corriente de 12.5 mA/cm², tensión en el rango de 21-23 V y pH en el rango de 7.33-7.34; la que permitió la remoción de turbidez en 94.65%, coliformes fecales en 65.1% y disminución de DBO en 64.8%. Consiguiendo de esta manera mejorar la calidad del agua”.

De acuerdo con (Machaca & Porto Huaquipaco, 2010), reportó estudios de la reducción de la turbidez, materia orgánica y demanda química de oxígeno de las aguas residuales de la Laguna Espinar de la ciudad de Puno por electrocoagulación empleando electrodos de aluminio como ánodos de sacrificio. Para las condiciones de pH 12, densidad de corriente de 1.02 mA/cm² y tiempo de 5 minutos, logrando disminuir la turbidez en 83.7%, materia orgánica en 73.9% y demanda química de oxígeno hasta 28.3%, a condiciones de pH 12, densidad de corriente de 6.40 mA/cm² y tiempo de 25 minutos.

Acorde con “ (Morante, 2002), en su investigación denominada “Electrocoagulación de aguas residuales”, teniendo como variables el pH, densidad de corriente y tipo de electrodos, determinó que el mayor porcentaje de reducción se logra en rangos de pH iniciales entre 3 y 5, a densidad de corriente de más de 50 A/m², para tiempos de 50 minutos, utilizando electrodos de acero al carbono y aluminio, el porcentaje de reducción mayor fue de 99.8%”.

“(Arslan & Alaton, 2007), en la investigación de “Electrocoagulación de efluentes líquidos reales de teñidos utilizando electrodos de aluminio y de acero inoxidable”, el estudio experimental se enfocó en el efecto de la densidad de corriente aplicada (22 – 87 mA / cm²) a las soluciones con un pH de 5.5 sobre su decoloración y velocidades de remoción de la demanda química de oxígeno utilizando electrodos de aluminio y acero inoxidable. Los resultados han indicado que la eficacia del tratamiento fue mejorada apreciablemente aumentando la densidad corriente aplicada cuando los electrodos del Al fueron utilizados para la electrocoagulación, se determinó además que la electrocoagulación con los electrodos de acero inoxidable es superior en términos de la cinética de la decoloración (remoción del color 99 – 100% después de 10 – 15 minutos la electrocoagulación en todas las densidades de corrientes estudiadas), mientras que la electrocoagulación con los electrodos de aluminio era más beneficiosa para la remoción en términos de consumo de energía eléctrica”.

Según (Torabiana, 2000), en la investigación titulada “Remoción de fluoruro de las aguas residuales industriales mediante la electrocoagulación”, en este proceso de electrocoagulación, se empleó aluminio como cátodo y ánodo, para la remoción de fluoruro de las aguas residuales industriales provenientes de la industria del acero. Los efectos de las diversas variables tales como temperatura, pH, voltaje, tiempo de retención y número

de planchas de aluminio fueron evaluados sobre la eficacia de la remoción. Los resultados experimentales demostraron que, aumentando el tiempo de retención, la eficacia de la remoción aumenta, pero después de 5 minutos los cambios son insignificantes. Por lo tanto, el total de tiempo de retención requerido es solamente 5 minutos.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 INDUSTRIA LÁCTEA

Según (Arango & Garces, 2007); la industria láctea genera gran cantidad de agua residual en sus procesos, estos desechos líquidos son vertidos directamente a fuentes hídricas, sin ningún tratamiento previo. Para dar una solución a este problema, se estudió una técnica que permite el tratamiento de este tipo de aguas con alta carga orgánica, se la conoce como electrocoagulación. En el proceso de electrocoagulación se determinó tres factores que son: tiempo, número de placas y voltaje del sistema. Una vez realizadas las corridas experimentales se evidencio la eficiencia del tratamiento de electrocoagulación. En la actualidad ha alcanzado avances importantes, logrando elevados estándares de calidad en sus productos, llegando incluso a exportar a algunos países del mundo. Sin embargo, hoy los mercados no sólo exigen calidad del producto, sino, además, que los procesos productivos se desarrollen cuidando el medio ambiente; por lo que deben poner especial atención en el manejo y tratamiento de los desechos.

Acorde con “ (Homsí & Cárdenas, 2006); esta industria, sin duda, debe enfrentar dificultades que surgen de la eliminación de estos desechos, donde la eficiencia y el costo de los sistemas de tratamiento, pueden representar un obstáculo para alcanzar altos estándares de calidad, en especial en el tratamiento de aguas residuales. Por esta razón, la búsqueda de técnicas eficaces puede contribuir a mejorar los sistemas de producción, reduciendo significativamente los impactos ambientales que provoca la eliminación de desechos generados por esta industria”.

Conforme con “ (Ramalho & Cardenas, 1996); la variedad de productos y métodos de producción hacen que la industria láctea produzca residuos industriales líquidos muy variables. Los productos residuales generados del sistema productivo deben ser descargados y en el caso de los residuos acuosos significan, por lo general, descargarlos en algún tipo de cuerpo de agua como un río, caudal o estuario. Cuando las aguas residuales descargadas no han sido del todo tratadas o lo han sido en forma insuficiente, el resultado será la contaminación en el sistema acuático”.

Los residuos líquidos de la industria láctea se caracterizan por su elevado contenido de DBO_5 y DQO, nutrientes como los fosfatos y algunos minerales, altos niveles de sólidos suspendidos o disueltos que incluyen grasas y aceites, los cuales al descomponerse generan malos olores que contaminan al medio ambiente, razones por las cuales requieren un debido tratamiento antes de su eliminación.

Por lo tanto, la tecnología que utilizan las industrias lácteas para el tratamiento de aguas residuales disminuye los efectos adversos que los residuos pueden provocar en el medio ambiente. (Arias-Hoyos, Hernandez Medina, Castro-Valencia, & Sanchez Peña, 2014); así como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición del efluente generado por la industria láctea.

Parámetros	Unidad	Leche de consumo	Quesos	Derivados lácteos	Helados
Ph	Unidades de pH	8.5	6.9	8.5	8
DQO	mg/L	1775	4500	4000	925
DBO_5	mg/L	1050	2750	1750	620
SOLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	435	850	825	425
FOSFORO	mg/L	20	35	6.25	5.5
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	1.650	3.150	1.250	1.200
CLORUROS	mg/L	140	220	100	75
NITRATOS	mg/L	50	105	90	75
NITRITOS	mg/L	10	35	0.2	0.3
ACEITES Y GRASAS	mg/L	105	365	110	25

Nota: (Federacion Nacional de la Industria Lactea, Sevilla-España, 2008).

2.2 LACTOSUERO

El lactosuero es definido como “la sustancia líquida obtenida por separación de coágulo de leche en la elaboración de queso (Abaigar & Humpire Coila, 2009). Representa alrededor de 90% del peso de la leche utilizada para la elaboración del queso. (Amiot, 1991). Este residuo corresponde al efluente que más contaminación provoca en las queserías si no se tiene un aprovechamiento posterior. Por ello es aconsejable que estos sueros no sean vertidos directamente al cauce de los cuerpos de agua o plantas depuradoras, pues provocarían un enorme incremento de DBO_5 y DQO. El cual crearía un enorme problema

ambiental (Aider, Melnikova, & Humpire Coila, 2007), debido a que afecta física y químicamente la estructura del suelo.

El suero de quesería o lactosuero, es el resultante del proceso de coagulación de la leche, que procede de rumiantes en lactación principalmente de ganado caprino, vacuno y ovino, se puede convertir en un residuo altamente contaminante al ser vertido al medio ambiente (Alvarez & Zamora, 2015).

Los sueros se pueden clasificar en 2 grandes grupos: el suero dulce y el suero ácido.

El suero dulce

Los lactosueros dulces son producidos en la fabricación de quesos denominados de pasta prensadas y pastas cosidas (Casado, Guia Para el Análisis Químico de la Leche y los Derivados Lacteos., 2006). “El suero es la fase acuosa que se separa de la cuajada en el proceso de la elaboración del queso o la caseína, de color amarillo verdoso con un pH entre 5.8-6.6”. (Pintado, 2012).

El suero ácido

Los lactosueros ácidos son productos de la fabricación de quesos denominados de pasta fresca y pasta blanda (Casado, Viejas Culturas Lacteas, 1999). En las industrias lácteas cuando la coagulación se lleva a cabo con suero ácido, disminuye el valor del pH hasta 5.1. Este suero contiene más del 80% de los minerales de la leche. (Riera, Sancedo, & Lopez, 2004).

2.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LACTOSUERO

Su composición varía dependiendo del origen de la leche y el tipo de queso elaborado como muestra la tabla 2. La lactosa es el mayor componente del suero lácteo después del agua, es el principal soluto del suero con aproximadamente el 71%, el segundo componente en importancia son las proteínas que constituyen del 9 al 11%. (Jelen & Humpire Coila, 1992).

El suero es considerado en general, como un subproducto molesto difícil aprovechamiento. Debido a su capacidad contaminante, con una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) de 30 000 a 60 000 mg/L y al valor nutritivo de los componentes del suero, en todo el mundo se han realizado considerables esfuerzos dirigidos a su aprovechamiento tanto en el ámbito tecnológico como las políticas gubernamentales que alteren o presionen a los

industriales a hacer uso del subproducto evitando que sea vertido al seno de recursos acuíferos donde resulta altamente perjudicial (Ronda, 2000).

Tabla 2. *Composiciones fisicoquímicas del lactosuero.*

Componente	Leche	Queso Blanco	lactosuero
Proteínas (%)	3,1	2,3	0,8
Grasa (%)	3,4	3,1	0,3
Lactosa (%)	4,7	0,2	4,5
Minerales (%)	0,9	0,50	0,4
Total	12,1	6,1	6,0

Nota: (Tetra Park Processing System, 2012).

2.2.2 EFLUENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA

Según (Jelen & Humpire Coila, 1992); el lactosuero es un producto diario de la industria láctea que contiene lactosa (44-52 g/L), proteínas (6-8 g/L) y sales minerales (4-9 g/L). La producción de queso demanda gran cantidad de leche, para obtener un kilogramo de queso, se necesita aproximadamente 10 litros de leche y se generan 9 litros de lactosuero como subproducto.

“La industria láctea representa un sector importante dentro de la industria alimentaria y su contribución material en términos de contaminación de las aguas receptoras es significativa, lo que hace necesario y obligatorio el tratamiento previo de sus desechos líquidos antes del vertimiento. El caudal producido por la industria láctea depende del consumo de agua en la planta procesadora (Ramirez V. , 2009)”.

2.2.3 ELIMINACIÓN ANUAL DE LACTOSUERO

La producción de Anta-Compone, incrementaron sus ventas de quesos madurados en 50% respecto al 2015, sumando cerca S/. 3 millones, informó la oficina descentralizada de Cusco de Sierra Exportadora, a pesar de diferentes posibilidades de la utilización de

lactosuero, aproximadamente la mitad del producido es descartada sin tratamiento (Ramirez C. , 2012).

2.2.4 CONTAMINACIÓN DEL AGUA GENERADA POR LA INDUSTRIA LÁCTEA

Según (Chen, Investigation on the electrolysis voltage of Electrocoagulation, 2002); la contaminación del agua en la industria láctea, genera diversas tecnologías con el fin de reducir la carga orgánica e inorgánica que se encuentran en las aguas residuales, una de ellas es la electrocoagulación, proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados.

Generan acumulación indeseable de sustancias en un sistema hídrico. La acumulación de diversos elementos y sustancias aportados por vertimiento de aguas residuales crudas o insuficientemente tratadas superan la capacidad de asimilación y/o autodepuración del cuerpo receptor generando concentraciones en el cuerpo de agua que exceden el estándar de calidad normado en la zona sometida a regulación (Ocola & Laqui, 2017).

“En la industria láctea, por la gran variedad de productos, se generan igualmente diversos residuos a nivel atmosférico, sólidos y efluentes líquidos. Es en el agua donde más evidente se hace la contaminación por las grasas, proteínas, sales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos (Arango Ruiz, Garces Giraldo, & Restrepo Mejia, 2012)”.

“Según (Nemerow, 2006); la composición de estas aguas incluye sustancias orgánicas disueltas como la lactosa, sales minerales y suspensiones coloidales de proteínas con una DQO entre 2000 – 4000 mg/L, el consumo de agua en las industrias lácteas oscila entre 8,0 – 35 L. de leche.”

2.2.5 AGUAS RESIDUALES

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas cuya calidad se vio afectada negativamente. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales). Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su

tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. (Ambiental O. d., 2014). Así como se muestra en la siguiente figura.1.

Figura 1. *Aguas Residuales Industria Láctea Ramírez.*



Nota: Fuente: Elaboración propia.

2.2.6 CLASIFICACION DE AGUAS RESIDUALES

Figura 2. Tipos de Agua Residual.



Nota: (Ambiental O. d., 2014)

2.2.7 CONTAMINANTES EN LAS AGUAS RESIDUALES

Existen 2 métodos. Análisis cuantitativos los que sirven para hallar de la composición química del agua residual y análisis cualitativos para conocer las características físicas y biológicas como se muestra la tabla 3.

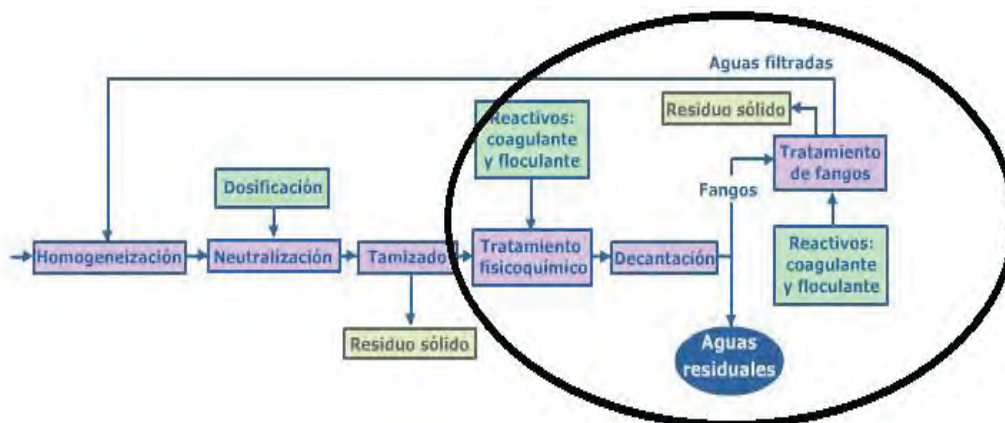
Tabla 3. *Contaminantes en el tratamiento de las aguas residuales.*

Contaminantes	Razón de la importancia
Sólidos en Suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Materia orgánica Biodegradable	Contribuyen al cuidado del planeta produciendo menos residuos. Son reciclables ya que se pueden reutilizar en la producción de fertilizantes para la agricultura
Aceites y grasas	las grasas y aceites tienen tendencia a flotar, debido a que su densidad es inferior a la del agua, lo que genera capas en la superficie de los reactores biológicos, dificultando la Transferencia de oxígeno.
Nitratos y fosfatos	Es importante reseñar que la descarga tanto de fósforo como de nitrógeno debe ser controlada porque puede provocar crecimiento excesivo de algas en las aguas receptoras.

Nota: (Metcalf, Tratamiento y depuración de aguas residuales, 1977).

2.2.8 DIAGRAMA DE FLUJO FISICO-QUIMICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Figura 3. Diagrama de flujo.



Nota: (Romero , Santiso, & Gonzales, 2014).

Tratamiento Físico-químico.

En el proceso físico químico, juegan un papel importante en el tratamiento de aguas residuales, solos o en combinación con los métodos mecánicos, químicos y biológicos. A la salida del tamizado (Figura 3), las aguas son enviadas a la cámara de flotación donde se realizará el proceso físico-químico de eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión, con la reducción de DQO y DBO_5 . La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas, y la floculación, a la aglomeración de las partículas suspendidas pequeñas que andan sueltas, forman flocs más pesado y fácilmente sedimentables por ser un tratamiento primario poco avanzado. Como muestra la figura 3 (Romero , Santiso, & Gonzales, 2014).

2.3 ELECTROQUÍMICA

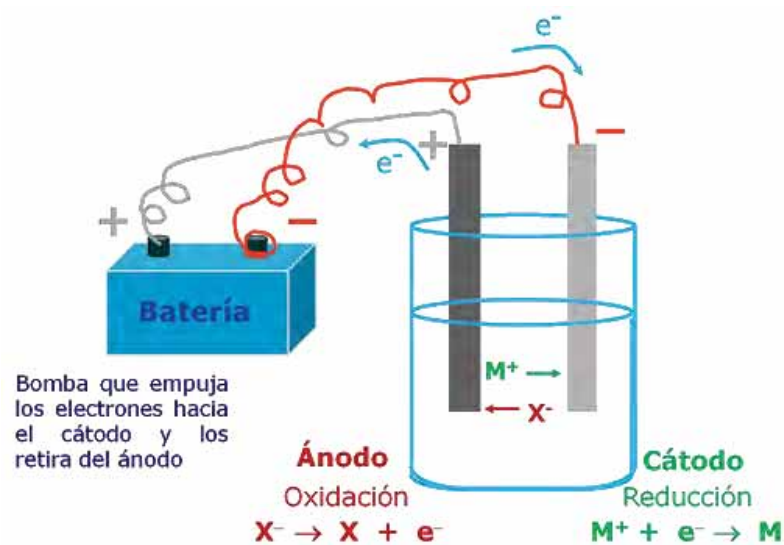
Parte de la química que trata la relación entre las corrientes eléctricas y las reacciones químicas, y de la conversión de la energía química en eléctrica y viceversa. En un sentido más amplio (Zumdahl & Burgos, 2000).

Además, es una parte de la química que se dedica a estudiar las reacciones asociadas con la corriente eléctrica que circula en un circuito (Chang, 2002). Según (Cristancho & Morales, 2010); el tratamiento consiste en hacer pasar una corriente directa a través de dos electrodos que pueden ser de aluminio, cobre, hierro, titanio, grafito, acero, platino, entre otros, sumergidos en el efluente a tratar.

2.3.1 CELDAS ELECTROQUÍMICAS

La celda electroquímica es una unidad experimental que produce trabajo eléctrico en el entorno y se producen reacciones químicas en el interior. El sistema de la celda electroquímica está formado por dos electrodos separados por una solución electrolítica. El electrodo donde se produce la oxidación se llama ánodo y en el ocurre la reducción se denomina cátodo. Como se muestra en la figura 4. (Mendieta, 2013).

Figura 4. Celda electroquímica.



Nota: (Mendieta, 2013).

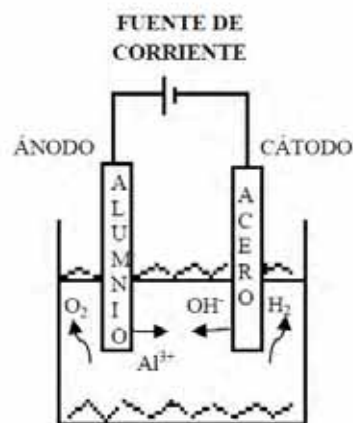
2.3.2 LEYES DE FARADAY

Según expuesto por " (Mollah & Humpire, 2010); la ley de Faraday, como se muestra en la figura 5 que rige el proceso de electrocoagulación, la cantidad de sustancias formadas en un electrodo es proporcional a la cantidad de cargas que pasan a través del sistema, y el número total de moles de sustancia formada en un electrodo está relacionado estequiométricamente con la cantidad de electricidad puesta en el sistema. A diferencia de

la coagulación química, proceso en el cual el coagulante es adicionado al sistema como agente químico, en la electrocoagulación el coagulante es formado in situ mediante las reacciones dadas por la disolución de iones del metal que conforma el electrodo de sacrificio. Como se explicó anteriormente, la producción de iones metálicos se da en el ánodo y son los iones que, por oxidación electrolítica, dan origen a la sustancia química que hace las veces de coagulante”.

Según (Arango Ruiz, Garces Giraldo, & Restrepo Mejia, 2012); se considera que en el proceso de electrocoagulación intervienen tres etapas: inicialmente se forma el coagulante por oxidación electrolítica del metal del ánodo, luego se da la desestabilización de los contaminantes y emulsiones y, finalmente, se produce la formación de flóculos por agregación de partículas del contaminante o adsorción de éstas en el coagulante.

Figura 5. Esquema de celda de electrocoagulación.



Nota: (Mollah & Humpire, 2010).

La carga eléctrica (q) se mide en Coulombios (C). La carga de un electrón es $1.602 \times 10^{-19} \text{C}$, de manera que 1 mol de electrones tiene una carga de 96485 C, que se llama la constante de Faraday (F). (Mendieta, 2013).

$$q = n \times F \quad (\text{Ec. 1})$$

q = Coulombios

n = moles

$$F = \frac{\text{Coulombios}}{\text{mol}}$$

La velocidad de flujo de electricidad se expresa en amperios (A), un amperio representa el flujo de un Coulombio en un segundo(s).

$$\text{Coulombio} = \text{Amperio} * \text{segundo}$$

$$Q = I * t \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

Q = Numero de Coulombios (C).

I = Intensidad de corriente (A).

T = tiempo(s).

2.3.3 ELECTROFLOTACIÓN

Acorde con (Chen, Investigation on the electrolysis voltage of Electrocoagulation, 2002); es uno de los variados procesos electroquímicos en el tratamiento de aguas residuales, que cada vez están adquiriendo mayor importancia por su versatilidad, reducido tamaño y capacidad de automatización. El sistema de electroflotación se realiza en un tanque por el que pasa la corriente a tratar. En el fondo del tanque, se localizan los electrodos de modo que el cátodo(oxidación) queda por encima del ánodo(reducción). A través de estos 20 electrodos, circula una corriente eléctrica que provoca la electrólisis del agua con la consiguiente formación de pequeñas burbujas de oxígeno (en el ánodo) y de hidrógeno (en el cátodo). Dichas burbujas arrastrarán en su trayectoria ascendente hacia la superficie, las pequeñas partículas que se encuentren en suspensión en el efluente a tratar. Para favorecer la eliminación de los contaminantes se utilizan floculantes antes de tratar el agua en el sistema de electro flotación.

El proceso de electroflotación fue propuesto en 1904 por Elmore y su principal aplicación fue propiciar la flotación de minerales valiosos de los jales de las minas. (Barrera Diaz, 2014).

“También es función del pH: en medios ácidos las burbujas de hidrogeno son mayores que en pH neutros u alcalinos; mientras que las burbujas de oxígeno tienen su menor tamaño

en un medio ácido y el tamaño aumenta cuando se incrementa el pH. Además, el tamaño de la burbuja en el desprendimiento de igual forma depende de la curvatura de la superficie en algunas geometrías de electrodos. (Arango Ruiz, Garces Giraldo, & Restrepo Mejia, 2012)”.

2.3.4 ELECTROFLOCULACIÓN

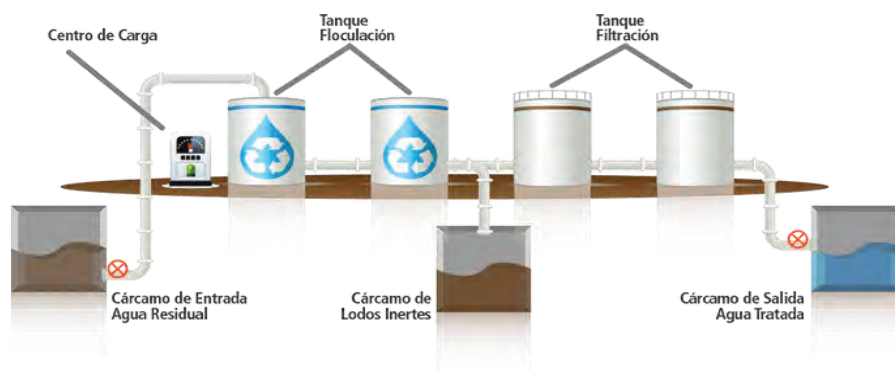
La electrofloculación se caracteriza por someter al efluente a tratar al campo eléctrico generado por dos electrodos de diferente carga: ánodo y cátodo. Esta tecnología tiene la ventaja de ser un sistema compacto.

En la electrofloculación se produce la Ionización del Ánodo que opera como efluente de iones para llevar a cabo la floculación de los contaminantes, lo que provoca el rompimiento de la emulsión y con ello la separación del sistema en fases, Incineración electroquímica de los contaminantes orgánicos en CO_2 y H_2O debido a que es una fuerza electromotriz que desestabiliza partículas suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso. así como se muestra en la figura 6. (Siawa, 2000).

Principalmente la tecnología separa la emulsión que contiene los contaminantes:

1. Libera los gases al medio ambiente sin peligro.
2. Los sólidos ligeros los transforma en natas y espumas en la superficie.
3. Los más pesados los precipita como lodos inertes.
4. Se puede observar una fase acuosa al final de la electrólisis.

Figura 6. Esquema de una celda de electrofloculación.



Nota: (Siawa, 2000).

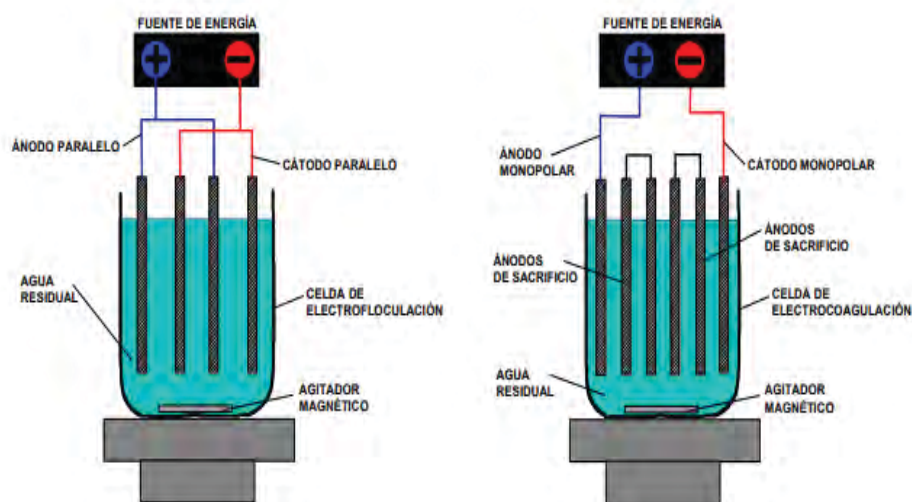
El fundamento de la operación de una celda electrolítica se basa en la aplicación externa de 25.22 W de energía con un amperaje de 3.4 A, en donde los electrodos empiezan un intercambio electrónico con el electrolito.

Cuando se tiene un electrolito en una matriz orgánica las moléculas que están en suspensión se cargan al someterlas a la corriente eléctrica dando lugar de esta manera a reacciones de oxidación-reducción generadas por la migración de iones que hay entre los electrodos y posteriormente los iones de cargas opuestas se empiezan a acumular formando agregados denominados “Flocs” los cuales por su densidad pueden flotar o bien precipitar en el medio acuoso. Las reacciones que se llevan a cabo en una celda electrolítica son similares a las ocurridas en el proceso de coagulación química en donde un agente coagulante es adicionado al agua contaminada, la diferencia radica en que esta sustancia no es introducida sino generada in situ, por la migración de los hidróxidos de aluminio y hierro de los electrodos al medio acuoso. (Delgadillo, 2011).

2.3.5 ELECTROCOAGULACIÓN

Es un proceso electroquímico en el que a partir de compuestos procedentes de la disolución de un ánodo (Cañizares & Saez, 2004), se agrupa la materia coloidal existente en un agua residual, posibilitando su conversión en sólidos suspendidos, y su separación del agua mediante técnicas convencionales de separación sólido/líquido tales como la decantación, flotación y filtración, como se muestra en la figura 7, (Grasmick, 2007).

Figura 7. Esquema de una celda de electrocoagulación.



Nota: (Mollah & Humpire, 2010).

El término coágulo se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles, la coagulación comienza al agregar al coagulante agua para volver fácil la adherencia entre sus partículas, funciona creando una reacción química eliminando las cargas negativas que causan que las partículas se repelen entre sí (Morales, 2015).

Actualmente la electrocoagulación se ha vuelto a considerar como una alternativa factible en el tratamiento de efluentes líquidos, considerándose un importante interés científico e industrial. (Arango Ruiz, Garces Giraldo, & Restrepo Mejia, 2012).

(Rodriguez & Morales, 2013), la electrocoagulación es otra forma de llevar a cabo el proceso de coagulación y floculación. Consiste en la formación de los reactivos *in situ* mediante la utilización de una celda electrolítica.

2.4 PRINCIPIO DE ELECTROCOAGULACIÓN

Los contaminantes de diversos efluentes son removidos aplicando el principio de floculación, pero en este caso no se hace uso de un coagulante químico cuya función es llevada a cabo por corriente eléctrica que es aplicada al medio líquido contaminado. (Arango Ruiz, Garces Giraldo, & Restrepo Mejia, 2012).

La electrocoagulación es un proceso electroquímico que separa simultáneamente metales pesados, sólidos en suspensión, compuestos orgánicos emulsionados y otros muchos contaminantes del agua utilizando la electricidad en lugar de reactivos químicos. Los fangos producidos durante el tratamiento se separan posteriormente por filtración, decantación o flotación. (Arboleda Camacho, Herrera Lopez, & Peña Guzman, 2015).

Existen experiencias donde se combina el efecto de la electrocoagulación con la electroflotación, donde se utiliza la corriente eléctrica. La electroflotación tiene lugar como consecuencia del electrólisis del agua, los cátodos se reducen produciendo H_2 gaseoso, en los ánodos se oxida produciendo O_2 . Estos gases adquieren forma de micro burbujas y adhieren las partículas del efluente compactándolas en la zona superior del estanque, (Huerga, 2005).

Los principios electroquímicos residen en las reacciones REDOX que se describen en la ecuación 7. (Perez & Humpire Coila, 2015).

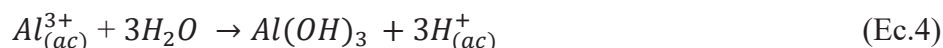
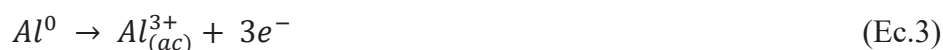
a) **Reacciones REDOX.** Son reacciones de óxido-reducción, que ocurren mediante transferencia de electrones. Posee las siguientes características:

- Son reacciones en sistemas heterogéneos: ocurren en una interface conductor sólido – disolución, donde ésta puede tener naturaleza acuosa o puede ser una membrana.
- Están fuera del equilibrio: dependen del tiempo ya que las concentraciones de las especies que participan cambian con éste en las cercanías de la interface.
- Son unidireccionales: el intercambio de electrones va de una especie hacia la otra, por medio de conductores, y fluye del ánodo al cátodo.

Mecanismos

Formación de hidróxido de Aluminio

Ánodo: Agente Oxidante

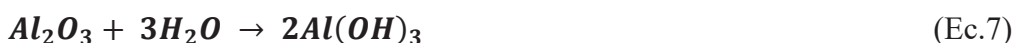


Cátodo: Agente Reductor



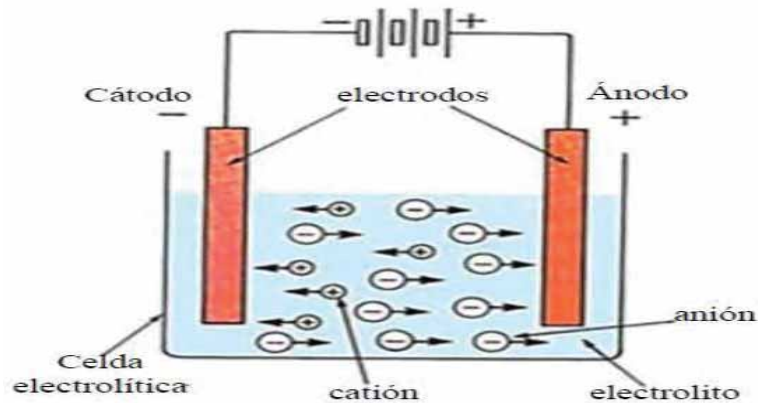
Los iones Al^{3+} en combinación con ion OH reaccionan para formar algunas especies manométricas como $Al(OH)_2^+$ y otras poliméricas tales como $Al_6(OH)_{15}^{3+}$, $Al_7(OH)_{17}^{4+}$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$, $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$ y $Al_{13}(OH)_{34}^{5+}$ que por procesos de precipitación forman el $Al(OH)_{3(s)}$ es una sustancia amorfa de carácter gelatinoso.

ECUACION GENERAL



Según “ (Dockhmon, 2009); los procesos de precipitación forman el $Al(OH)_{3(s)}$, como se muestra en la reacción de ánodo. El $Al(OH)_{3(s)}$ es una sustancia amorfa de carácter gelatinoso, que expone una gran área superficial con propiedades absorbentes y que es propicia para los procesos de adsorción y atracción de las partículas contaminantes”.

Figura 8. Celda electrolítica.



Nota: (Arango Ruiz, Garces Giraldo, & Restrepo Mejia, 2012).

Un proceso de electrocoagulación involucra tres etapas sucesivas (Aristizabal & Bermudez, 2007).

- Formación de los coagulantes por oxidación electrolítica del electrodo de sacrificio (ánodo).
- Desestabilización de los contaminantes, partículas suspendidas y rompimiento de la emulsión.
- Agregación de las fases desestabilizadoras para formar flóculos.

2.4.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ELECTROCOAGULACIÓN.

Según (Mollah & Humpire, 2010), la electrocoagulación posee ventajas y desventajas como las siguientes:

Ventajas:

- Requiere de equipos simples y fáciles de operar, con la suficiente libertad operacional
- Puede producir aguas potables, incoloras e inodoras.
- Elimina el uso de productos químicos.
- Genera lodos más compactos y en menor cantidad.
- Los flóculos formados por la electrocoagulación son similares a los producidos químicamente, pero más grandes, contienen menos agua ligada, más estables y pueden ser separados rápidamente por filtración.
- Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes.
- Disminuye la contaminación en los cuerpos de agua.

- Remueve las partículas coloidales más pequeñas, ya que el campo eléctrico aplicado las pone en movimiento más rápidamente facilitando la coagulación.

Desventajas:

- Reposición de los electrodos de sacrificio.
- Los lodos contienen altas concentraciones de acero inoxidable y aluminio, dependiendo del material del electrodo utilizado.
- Acero inoxidable: Acorde con (Mohammad & Piña, 2011); cuando se trata de electrodos inertes como el acero inoxidable, el titanio, platino, níquel, grafito, etc., el mecanismo de remoción es debido a que se presenta una reducción electroquímica del agua en el cátodo incrementándose el pH propiciando la formación de sales básicas poco solubles e hidróxidos de metales polivalentes que precipitan,.
- Aluminio: Según (Morante, 2002); tiende a ser minimizada con respecto a los de hierro, debido a los problemas de disposición de los lodos conteniendo ese metal y a la alta pasivación de los electrodos. Sin embargo, (Mohammad & Piña, 2011), en su revisión concluyen que, de acuerdo a los resultados experimentales de diversos autores, los electrodos de Al son más eficientes que los de Fe para la remoción de aceites.
- No es efectivo en la remoción de DBO_5 soluble, proveniente de solventes y anticongelantes.

2.4.2 MECANISMOS DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.

En la electrólisis ocurren procesos físicos y químicos que permiten la remoción de los contaminantes. Estos procesos se pueden describir de la siguiente manera: En los electrodos ocurren una serie de reacciones que proporcionan iones tanto positivos como negativos. El ánodo provee iones metálicos. A este electrodo se le conoce como electrodo de sacrificio, ya que la placa metálica que lo conforma se disuelve, mientras la placa que forma el cátodo permanece sin disolverse.

Los iones producidos cumplen la función de desestabilizar las cargas que poseen las partículas contaminantes presentes en el agua.

Según (Arango Ruiz, Garces Giraldo, & Restrepo Mejia, 2012); Además, los iones que proveen los electrodos desencadenan un proceso de eliminación de contaminantes que se puede dar por dos vías: la primera por reacciones químicas y precipitación y la segunda

procesos físicos de agregación de coloides, que dependiendo de su densidad pueden flotar o precipitar. Y las reacciones más importantes que pueden sufrir las partículas de contaminantes son: hidrólisis, electrólisis, reacciones de ionización y formación de radicales libres. Estas reacciones cambian las propiedades del sistema agua-contaminantes, que conlleva a la eliminación de la carga contaminante del agua.

2.4.3 FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.

a) **pH:** Determina el tipo de especies iónicas que actúan como coagulantes. El pH influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido. La electrocoagulación es eficiente en un rango de 4 a 8 de pH, esta variable determina la formación de especies iónicas durante el proceso y evita la adición de sustancias químicas durante el proceso. (Mollah & Humpire, 2010). Es una variable importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango óptimo. Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 (Barrechea, 2013).

b) **Densidad de corriente:** Es la corriente aplicada por unidad de área sumergida de electrodo. Las variables eléctricas en el proceso de electrocoagulación son los parámetros que más influyen en la remoción del contaminante de un agua residual y están ligados a factores económicos, que se debe prestar atención a su estudio. La eficiencia en la remoción y el consumo de energía se incrementan con el aumento en la densidad de corriente. Para algunas conductividades del medio acuoso el consumo de energía se incrementa proporcionalmente con los aumentos de conductividad, lo que conlleva a un consumo mayor de energía. Según (Arango Ruiz, Garces Giraldo, & Restrepo Mejia, 2012); para altos consumos de energía se presentan pérdidas por la transformación de energía eléctrica en calórica, produciéndose un aumento en la temperatura del medio acuoso.. El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al^{+3} , liberados por los respectivos electrodos. En general un aumento de la densidad de corriente genera un aumento en la remoción de contaminante. Conforme con (Koparal, 2012); una densidad de corriente demasiado grande produciría una disminución significativa en la eficacia. La selección de la densidad de corriente podría realizarse teniendo en cuenta otros parámetros de operación, como pH y temperatura. La energía eléctrica que se suministra a la celda electroquímica puede ser mediante corriente alterna (CA) o bien como corriente directa (CD). Las características propias del paso de cada una

de las corrientes a través del medio acuoso generan diferentes respuestas electroquímicas entre las placas y el agua residual tratada. Cuando se suministra corriente directa se produce en el cátodo una impermeabilización, lo que causa una menor eficiencia en la remoción.

c) **Selección de material de electrodos:** Los electrodos de aluminio, hierro y acero inoxidable son los más utilizados por las siguientes razones: Según (Chang, 2002) son metales relativamente baratos y de amplia información bibliográfica en la que se reporta buenos resultados de remoción de contaminantes en la electrocoagulación. Los ánodos de sacrificio de acero al carbono o aluminio se utilizan para producir Al^{+3} , que actúan como coagulantes de la materia orgánica presente en las aguas residuales. La electrocoagulación muestra algunas ventajas frente a la coagulación convencional mediante la adición de sales, como el control más fácil de la dosificación, no es necesario almacenar productos químicos y menos producción de lodo. Sin embargo, el ánodo debe reemplazarse a medida que se consume. En este sentido, se tienen en cuenta algunos factores, como el impacto ambiental de la producción de electrodos, el consumo de materiales o el consumo eléctrico del tratamiento.

Se encontró que usando hierro como ánodo se obtuvo porcentajes de remoción de grasas mayores que usando aluminio como ánodo. Esto es ocasionado por la afinidad de los contaminantes con los hidróxidos y poli hidróxidos de hierro que se generan en el proceso de electrocoagulación. (Yilmaz, 2008).

d) **Temperatura:** La eficiencia en la corriente incrementa inicialmente hasta llegar a $60^{\circ}C$ punto donde se hace máxima, para luego decrecer. (Chen, Investigation on the electrolysis voltage of Electrocoagulation, 2002). Así mismo se ha observado un mínimo de consumo de energía a $35^{\circ}C$, en el tratamiento de aguas residuales con aceites.

e) **Conductividad:** La conductividad del agua a tratar es elevada frecuentemente con la adición de cloruro de sodio para incrementar la conductividad del agua o el agua residual tratada (Chang, 2002). La adición de algunos electrólitos tales como $NaCl$ o $CaCl_2$ generan un aumento en la conductividad del agua residual. Se recomienda que para un proceso de electrocoagulación normal se mantengan cantidades de Cl^{-} alrededor del 20%. (Mehmet, 2005).

f) **Material del electrodo:** Dependiendo del material del electrodo se obtienen las reacciones oxidación-reducción, los electrodos usados son aluminio y acero inoxidable. (Chang, 2002).

g) **Tiempo:** El tiempo de electrólisis también influye en la eficiencia del tratamiento del proceso de electrocoagulación. Es la duración del proceso, esta variable es proporcional a la cantidad de iones de hierro disueltos en el agua. Este tiempo determina la velocidad de producción de iones hierro, producidos por el desgaste que experimentan los electrodos utilizados en el proceso (Prieto, 2012).

2.4.4 REACTORES PARA PROCESOS DE ELECTROCOAGULACIÓN.

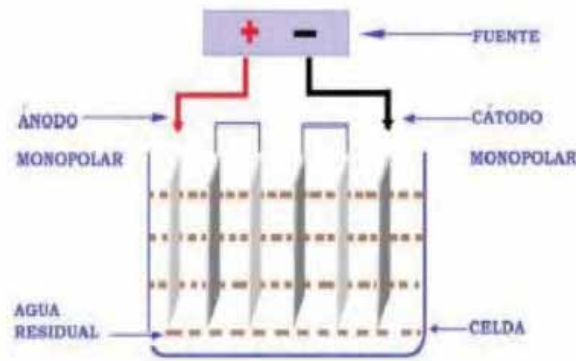
- **Reactor Tipo Batch**

Es un reactor de operación simple, que trabaja con un volumen establecido para el tratamiento localizado de aguas residuales. Sin embargo, la mayor desventaja que presenta, es que sus condiciones pueden variar con el tiempo. El reactor tipo Batch aplicado al proceso de electrocoagulación en su forma más simple, está compuesto por una celda electroquímica con un par de electrodos dispuestos en forma vertical y conectados a una fuente externa de energía. Durante el proceso, el ánodo sufre un proceso de corrosión debido a la oxidación, mientras que el cátodo permanece pasivo (Barrera Diaz, 2014); (Arboleda Camacho, Herrera Lopez, & Peña Guzman, 2015).

Según “(Barrera Diaz, 2014); los sistemas en continuo resultan más eficientes cuando se aplican a escala industrial, es decir, cuando se van a tratar grandes cantidades de agua, ya que el flujo es constante y se puede operar sobre un volumen mayor de agua en menor tiempo y además resulta más económico que los sistemas en lote. Por otro lado, una ventaja cuando se trata de agua residual en reactores en lote es que se garantiza un mezclado adecuado, ya que normalmente cuentan con un agitador mecánico que homogeniza el flujo, además en los reactores en Batch el burbujeo que se produce in situ en los electrodos contribuye a mejorar el proceso”.

Electrodos monopolares: Los electrodos pueden estar conectados en serie donde los electrodos de sacrificio están conectados uno con otro y no con los electrodos de los extremos; o en paralelo como indica la Figura 9, en donde la corriente eléctrica es distribuida en cada uno de los electrodos, teniendo en cuenta la resistencia que opone cada uno de ellos.

Figura 9. Reactor flujo tipo Batch con electrodos monopolares en serie.



Nota: (Arboleda Camacho, Herrera Lopez, & Peña Guzman, 2015).

$$(Entrada) = (Salida) + (Generacion) - (Acumulacion) \quad (Ec.8)$$

$$(Generacion) = - (Acumulacion)$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Velocidad de consumo o perdida} \\ \text{de un reactivo al reaccionar} \\ \text{dentro del volumen del reactor} \end{array} \right] = - \left[\begin{array}{l} \text{Velocidad de acumulacion del} \\ \text{reactivo dentro del volumen del} \\ \text{reactor} \end{array} \right]$$

(Levenspiel, 2010).

$$(-r_A)V \quad (Ec. 9)$$

Siendo: $-r_A$, la velocidad de reacción de la especie A; y V el volumen en el cual se da la reacción.

Al segundo término, también se lo puede expresar como la acumulación de moles de la especie A por unidad de tiempo:

$$\frac{dN_A}{dt} = \frac{d[N_{AO}(1-X_A)]}{dt} = N_{AO} \frac{dX_A}{dt} \quad (Ec. 10)$$

Siendo N_{AO} , moles de la especie A iniciales; X_A la conversión de A; t el tiempo de residencia.

Juntando las expresiones anteriores de cada término, la ecuación final queda como sigue:

$$(-r_A)V = N_{AO} \frac{dX_A}{dt} \quad (Ec. 11)$$

A esta expresión la podemos reordenar e integrar para obtener:

$$t = N_{AO} \frac{dX_A}{dt} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(-r_A)V} \quad (\text{Ec. 12})$$

(Levenspiel, 2010).

Según (Levenspiel, 2010); una vez que se haya tratado un lote, se vacía el reactor, y se puede entonces recién tratar un segundo lote, ya que no hay flujos m entrantes = 0 y m saliente = 0. Por lo tanto, la ecuación de balance de masa se reduce a:

$$\frac{dm}{dt} = m \quad (\text{Ec.13})$$

$$V \frac{dC}{dt} = V \left(\frac{dC}{dt} \right) \quad (\text{Ec. 14})$$

Al simplificar:

$$\frac{dC}{dt} = \left(\frac{dC}{dt} \right) \quad (\text{Ec. 15})$$

En un reactor Batch, el cambio de la concentración a lo largo del tiempo es simplemente el resultado de una reacción química.

LOTE

- Sin alimentación de flujo-volumen constante.
- Las concentraciones en el sistema cambian con el tiempo.
- El desempeño del sistema está relacionado con el tiempo de reacción.
- Operación dinámica.
- El contenido en el reactor se encuentra bien mezclado.

CONTINUO

- Flujo constante.
- Las concentraciones en el sistema son constantes.
- El desempeño del sistema está relacionado con el tiempo de residencia en el reactor.
- Operación fija.
- Variación en el mezclado.

2.4.5 CARACTERÍSTICAS DE LA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN.

El dimensionamiento de la celda como se muestra en la figura 10, está basado en un sistema de reactor tipo Batch a escala laboratorio con capacidad de 2500 mL de agua residual. El

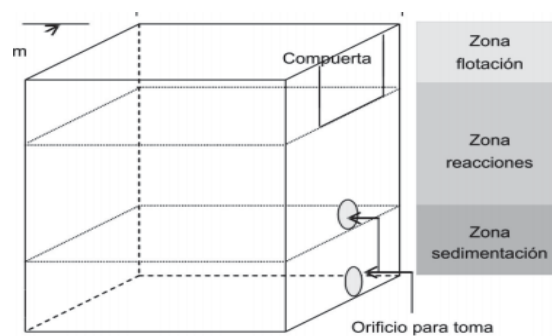
material usado para la fabricación de la celda fue acrílico transparente, de forma de un paralelepípedo rectangular, los electrodos de aluminio y acero inoxidable están sumergidos en la celda electrolítica. Las dimensiones de la celda electrolítica son: Ancho = 15 cm, Largo = 20 cm y Altura= 20 cm.

Zona de reacción: donde los electrodos están sumergidos y se produce el proceso de electrocoagulación.

Zona de Sedimentación: donde precipitan los lodos sedimentables.

Zona de Flotación: donde se acumulan los lodos productos de la flotación.

Figura 10. Dimensiones de celda de electrocoagulación.



Nota: (Acero, 2014).

2.5 DISEÑO DE UNA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN.

Según (Holt & Barton, 2002); en la actualidad no existe una metodología definida para el diseño y construcción de un equipo de electrocoagulación. Sin embargo, deben tener en cuenta un aspecto de naturaleza física y química que garanticen un buen desempeño y construcción del equipo. A continuación, se muestra la figura 11, la descripción de las consideraciones más importantes.

Figura 11. Diagrama del equipo de electrocoagulación.

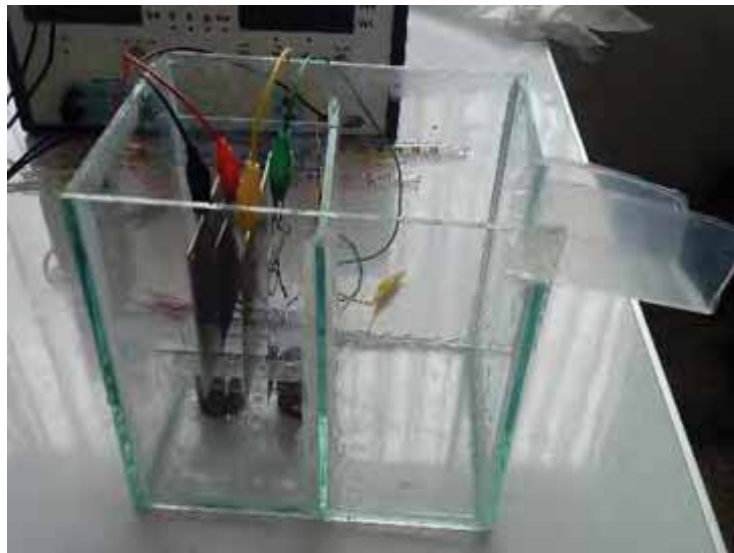


Nota: Fuente: Elaboración propia.

2.5.1 ELECTRODOS PARA ELECTROCOAGULACIÓN

Acorde con (Arango & Garcés, 2007); en los electrodos se generan micro burbujas de hidrogeno y oxígeno que chocan y se adhieren a los flóculos, arrastrándolos a la superficie del líquido donde se forma una espuma que pueden ser removidas mecánicamente, también las burbujas formadas dentro del reactor ayudan a que el aceite y grasas floten. El material anódico se corroe eléctricamente debido a la oxidación, mientras que el cátodo permanece pasivo como se muestra en la figura 12.

Figura 12. *Electrodos de acero inoxidable y aluminio en la electrocoagulación.*



Nota: Fuente: Elaboración propia.

a) **Electrodo de acero inoxidable:** Es una aleación de hierro y carbono que contiene por definición un mínimo de 10.5% de cromo. Su principal característica es su alta resistencia a la corrosión. (Perez & Humpire Coila, 2015).

b) **Electrodo de aluminio:** “Es un elemento muy abundante en la naturaleza, solo aventajado por el oxígeno, ya que es estable al aire y resistente a la corrosión por el agua de mar, a muchas soluciones acuosas y otros agentes químicos. Esto se debe a la protección del metal por una capa impenetrable de óxido. A una pureza superior al 99.95%, resiste el ataque de la mayor parte de los ácidos, pero se disuelve en agua regia. En la tabla 4 se muestra las características de los circuitos (Perez & Humpire Coila, 2015)”.

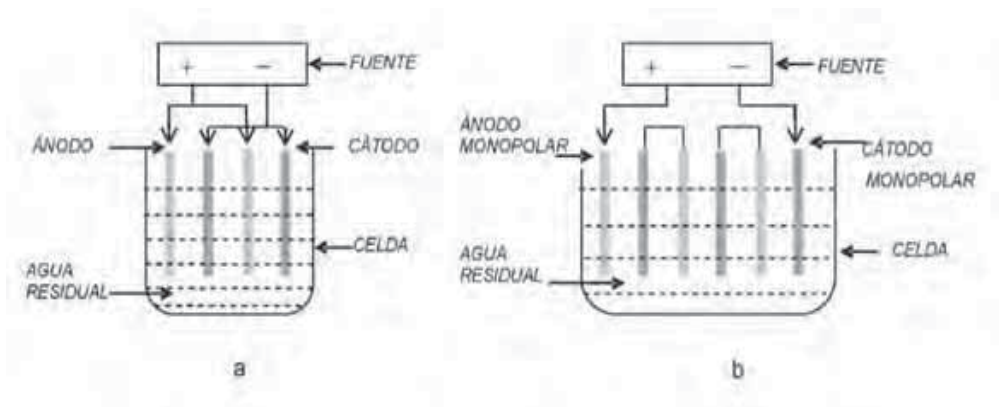
Tabla 4. Características de los electrodos en serie y en paralelo.

	Serie	Paralelo
Resistencia	Aumenta al incorporar un receptor eléctrico	Disminuye al incorporar un receptor eléctrico.
Caída de tensión	Cada receptor tiene la suya, que aumenta con su resistencia. La suma de todas las caídas es igual a la tensión de la celda.	Es la misma para cada uno de los receptores e igual a la de la fuente.
Intensidad	Es la misma en todos los receptores e igual a la general en el circuito. Cuantos más receptores menores será la corriente que circule.	Cada receptor es atravesado por una corriente independiente, menor cuanto mayor resistencia. La intensidad total, es la suma de las intensidades individuales. Será mayor cuantos más receptores se tenga en el circuito.

Nota: (Perez & Humpire Coila, 2015).

- a. Reactor con electrodos monopolares conectados en paralelo.
- b. Reactor con electrodos monopolares conectados en serie.

Figura 13. Reactor de electrodos tipo Bach serie- paralelo.



Nota: (Guijarro, 2012).

2.5.2 NÚMERO DE ELECTRODOS.

Las variables del electrodo están enfocadas a las características físicas y químicas de los electrodos, estos dependen del material, los más usados según pruebas previas, revisadas en la bibliografía son acero inoxidable y aluminio. El área superficial que depende del tamaño del electrocoagulador y por último la condición superficial refiriéndose al desgaste de los electrodos generado por la electrólisis. (Jaramillo & Maldonado, 2014).

$$N_E = \frac{A_C - (2 * D_{E-P})}{D_{maxE} + E_E}$$

Nota: (Arango & Garces, 2007). (Ec. 16)

Donde:

N_E = Numero de electrodos.

A_C = Ancho de la celda, mm.

D_{E-P} = Distancia de los electrodos a la pared lateral de la celda, mm.

D_{maxE} = Distancia máxima entre electrodos, mm.

E_E = Espesor del electrodo, mm.

2.6 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO.

Según (Instruments, 2008); es la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en un agua. Se emplean oxidantes químicos, como el dicromato potásico, el ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales.

La DQO varía en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de sus posibilidades de oxidación y de otras variables (Ocaña, 2011).

2.7 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO_5).

Según (Metcalf, Tratamiento y depuración de aguas residuales, 1977); es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. Esta prueba se realiza durante 5 o 3 días a 20 °C por lo que se expresa como DBO_5 , respectivamente. Se puede obtener mediante determinación de la concentración de oxígeno disuelto de la medida de la DBO_5 , es el procedimiento manométrico basado en el respirómetro de Warburg. En la oxidación de la materia orgánica, es absorbido mediante NaOH que se coloca en un recipiente de botella; como consecuencia, se produce un descenso de presión que es registrado en un manómetro de mercurio, cuya escala viene expresada en mg/L de oxígeno consumido.

Acorde con (Instruments, 2008); es la cantidad de oxígeno en mg/L necesaria para descomponer la materia orgánica presente mediante acción de los microorganismos aerobios presentes en el agua. Normalmente se emplea la DBO_5 , que mide el oxígeno consumido por los microorganismos en cinco días. Resulta el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado.

2.8 TURBIEDAD

La turbidez es la falta de transparencia, debida a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parece y el valor de turbidez es más alto (Arundel , 2002).

Unidad de turbidez FAU o unidades de atenuación de formacina, el instrumento mide la disminución de la luz transmitida a través de la muestra en un ángulo de 180 grados en relación con la luz incidente. Este tipo de medición se realiza con frecuencia en un espectrofotómetro o un colorímetro (Dragana I., June 2016).

El enlace, FAU es equivalente a NTU (“Una FAU es equivalente a una unidad de turbidez nefelométrica (NTU) de Formacina. Sin embargo, el método óptico de medición para FAU es muy diferente al método NTU (1 NTU = 1 FTU = 1 FAU cuando se remonta a los estándares primarios de formacina), (Dragana I., June 2016).

2.9 pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia. Es en realidad una medida de la actividad de los iones hidrógeno en una solución electrolítica. (Alvarez & Zamora, 2015).

CAPITULO III

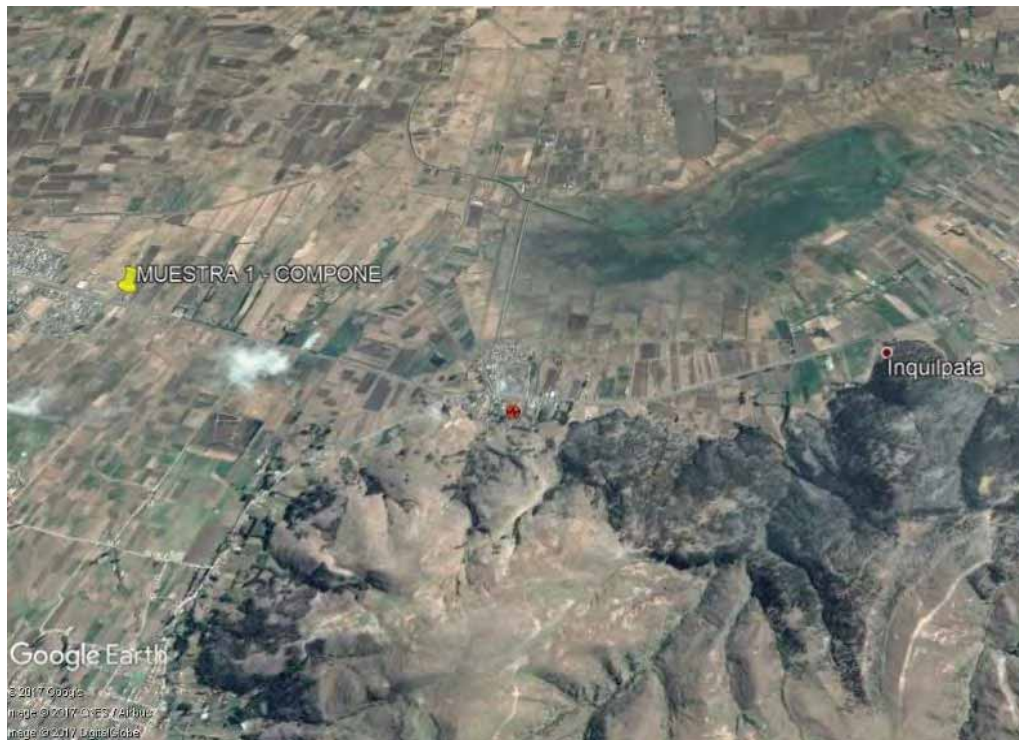
3. METODOLOGIA

La investigación para el tratamiento de lactosuero de la Empresa Ramírez, por electrocoagulación, se realizó en el laboratorio de Hidrocarburos, de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Química. Los análisis de los parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (TSS) y Aceites y Grasas se realizaron en el laboratorio de Hidrocarburos. (Ver imágenes en el apéndice A.3.).

3.1 TOMA DE LAS MUESTRAS

La zona de estudio se encuentra en el Centro Poblado de Compone, distrito de Anta, Departamento de Cusco, ubicado a 535.3 Km del tramo carretero Cusco-Anta, como se muestra en la figura 14. El trabajo de experimentación y muestreo se realizó en la Industria Láctea Ramírez que fueron llevados a cabo en los meses de Octubre, Noviembre, Diciembre del 2019, Enero, Febrero del 2020.

Figura 14. Mapa de ubicación de zona de estudio.



Nota: (Google Earth, 2019).

3.2 MUESTRA

El lactosuero residual se utilizó para el estudio experimental, estos fueron recogidos de la planta de lácteos Ramírez ubicado en el centro poblado de Compone – Anta. Estos efluentes provienen de la etapa del suero de la leche, proceso de lavado, y del proceso de salado. Se tomó las medidas de seguridad del personal (Uso de equipos de protección personal), los cuales fueron recogidos en horas de la mañana, luego almacenados a una temperatura de 4°C para mantener sus parámetros físico-químicos iniciales y posteriormente fue tratado por electrocoagulación y luego se procedió a analizar en el laboratorio de Hidrocarburos. (Ver imágenes en Apéndice A.1).

3.3 MATERIALES Y EQUIPOS.

3.3.1 MATERIALES:

- Vaso de precipitado pírrex de 5ml, 50ml, 1000ml.
- Probetas de 50 y 10 ml.
- Frascos de muestreo de incubación de 250 ml.
- Equipo de incubación.
- Bureta de 100 ml.
- Probeta graduada de 50ml.
- Pipetas graduadas pírrex de 5 y 10ml.
- Tubos de ensayo pírrex
- Bureta graduada de 25ml.
- Matraces Erlenmeyer de 250ml.
- Pipetas de 5ml.
- Botellas Winkler.
- Lactosuero.
- Gradilla.
- Bombilla se succión.

3.3.2 EQUIPOS E INSTRUMENTOS.

Equipos

- Fuente de poder (modelo Netrgerät. Univ., marca PHYWE).
- Estufa Eléctrica Marca CIMATEC S.A.C, Modelo MEMMERT.
- Desecador (modelo GL36, marca SIMAX).

- Termo reactor con Capacidad para 25 Cubetas de ensayo. Modelo HI839800-02
Marca: HANNA INSTRUMENTS.
- Celda de electrocoagulación.
- Multímetro (modelo DF: 3306624, marca Gold Power).
- Programa de software Statgraphics Plus version 5.1- programa SGWIN.EXCE.

Instrumentos

- pH-metro Digital, Marca METTLER TOLEDO – SevenGo.
- Balanza Digital Marca OHAUS, modelo Adventurer.
- Turbidímetro Digital Completo Modelo HI83099 Marca: HANNA INSTRUMENTS.
- Fotómetro Multiparámetro. Modelo HI83099 Marca: HANNA INSTRUMENTS.
- Conductímetro, modelo Logger MultiLog Pro USB (12b), marca MultiLogPRO.
- Medidor de Oxígeno, Handylab Ox 12 SCHOTT_ GERATE G mbH.
- Termómetro, modelo PT-1, marca Boego Germany.
- Picnómetro de 10 mL.

3.3.3 REACTIVOS

Para la determinación de DBO_5 .

- Sulfato de manganeso $MnSO_4$.
- Yoduro de potasio (KI).
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4).
- Solución indicadora de almidón al 1%.
- Tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) 0.0375N.
- Agua destilada.
- lactosuero.

Para la determinación de DQO.

- Solución estándar de dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$ 0.25N.
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4).
- Sulfato amoníaco ferroso 0.1N.
- Indicador de Ferroína ($C_{36}H_{24}FeN_{62}$).
- Agua destilada.
- Viales DQO HI 93754B_25.

NOTA: Estos reactivos siguen el método aprobado EPA 410.4. Se requiere de una digestión con calor para oxidar la materia orgánica que se encuentra en la muestra. Durante la digestión, el cromo hexavalente en el reactivo se reduce a cromo trivalente. La cantidad de cromo reducido es entonces medido colorimétricamente. La intensidad del color es determinada con un fotómetro y la concentración de DQO se muestra en la pantalla en mg/L (ppm) O₂. Estos reactivos están diseñados para usarse con muestras que tienen un intervalo esperado de 0 a 1500 mg/L (ppm) O₂. Los viales son de la marca Hanna.

MATERIALES

Para el proceso de electrocoagulación.

- Electrodo de Aluminio de 10x10 x 0.15 cm³.
- Electrodo de Acero Inoxidable de 10x10 x 0.1 cm³.
- Cuba electrolítica en acrílico con capacidad de 2.5 Litros.

Para determinar los TSS.

- Filtro de fibra de vidrio de 1μ*47mm (MERCK).

3.4 PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN DEL LACTOSUERO.

El proceso de electrocoagulación se realizó en 4 etapas que consistió:

ETAPA 1. Muestreo del lactosuero: en esta etapa se realizó la toma de muestra del lactosuero en envases de plástico de 2 litros, caracterizándose inmediatamente los parámetros de temperatura, pH y conductividad.

ETAPA 2. Caracterización fisicoquímica de los parámetros del efluente: en esta etapa se determinó la turbiedad, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos totales (TSS) y Aceites y grasas (AyG) del afluente.

ETAPA 3. Electrocoagulación: en esta etapa se realiza el proceso de electrocoagulación para el afluente, obteniendo un efluente tratado, durante esta etapa se obtienen muestras cada intervalo de tiempo.

ETAPA 4. Caracterización de los parámetros del efluente: En esta última etapa se determinó todos los parámetros mencionados.

3.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.

Figura 15. Diagrama del flujo del proceso de electrocoagulación



Nota: Fuente: Elaboración propia.

3.6 SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.

Figura 16. Sistema del equipo de Electrocoagulación.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la figura 16 la selección de reactor tipo Batch depende de las características fisicoquímicas del contaminante y de su concentración, así como de las cantidades de agua residual a tratar según (Andia,c & Alcantarillado,S.D.A.P, 2000).

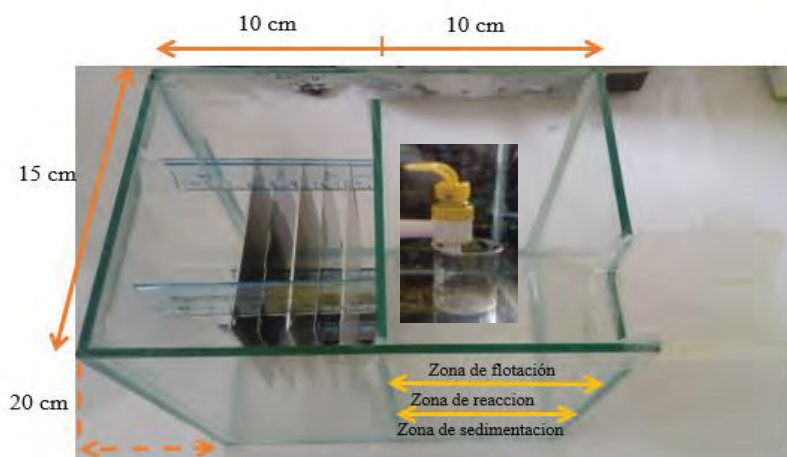
Las concentraciones cambian conforme transcurre la reacción y el desempeño del sistema está relacionado con el tiempo de reacción (Barrera Diaz, 2014). En los reactores en Batch el burbujeo que se produce in situ en los electrodos contribuye a mejorar el proceso (Barrera Diaz, 2014).

3.7 ARMADO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.

El sistema (Figura 17) opero como reactor Batch con electrodos monopolares en paralelo a escala de laboratorio.

La celda electrolítica se construyó de material vidrio transparente; que tiene una capacidad de un volumen de 2.5 litros, los electrodos se lijaron, lavaron, desengrasaron con una solución de hidróxido de sodio; posteriormente se decapo con una solución de ácido sulfúrico al 5% y luego se pesaron respectivamente. Dentro de la celda se acondicionaron separadores de acrílico para sostener los electrodos sumergidos. Los electrodos de aluminio y acero inoxidable fueron placas cuadradas dispuestas en paralelo con dimensiones de 10 cm x 10 cm con un espesor de 1.5 y 1 mm respectivamente. Se estableció un distanciamiento entre placa y placa de 10 mm. Los electrodos fueron conectados a la fuente de poder la cual suministraba la corriente eléctrica requerida para el proceso de electrocoagulación se instaló una válvula de salida para la obtención de muestras como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Armado de la celda de electrocoagulación para el lactosuero.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

- Se encendió la fuente de poder con capacidad para suministrar corriente en un rango de 0 a 4.5 amperios y un rango de voltaje de 0 a 9.87 Voltios, a temperatura ambiente de 15°C, la experimentación se realizó en cada tiempo establecido, realizando treinta seis corridas a una determinada densidad de corriente y tiempo(minutos).
- Se tomaron 10 ml de la válvula de salida del reactor batch de la celda electrolitica, a intervalos de tiempo predeterminados.

- Las muestras tomadas inmediatamente se procedieron a depositar en los frascos para el análisis de la DQO, DBO₅, TSS y AyG. Los resultados de la DQO, TSS y AyG se obtuvieron el mismo día, mientras que para la DBO₅ los resultados se obtuvieron después de 5 días de incubación. (Ver Apéndice A.1).

Aplicando los datos de la celda y de los electrodos de esta investigación, se aplicó la ecuación 16 para el cálculo de numero de electrodos. (Arango & Garces, 2007).

$$N_E = \frac{A_C - (2 * D_{E-P})}{D_{maxE} + E_E}$$

Determinación del número óptimo de electrodos.

$$N_E = \frac{100 - (2 * 25)}{10 + 1.5}$$

$$N_E = 4$$

Basados en lo anterior se hizo el diseño de la celda de modo que tuviera una capacidad para soportar 4 electrodos.

3.8 DETERMINACIÓN DEL pH.

Para la medición de este parámetro se utilizó un pH-metro calibrado Digital, Marca METTLER TOLEDO SevenGo. La determinación del pH se realizó siguiendo los procedimientos estándares de uso de este tipo de equipos, y una vez estabilizada la medición, se tomó el valor de la medida. (Horwitz, 2010).

3.9 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD.

Esta propiedad es determinada con el Conductímetro, modelo Logger MultiLog Pro USB (12b), marca MultiLogPRO. Dicho medidor es calibrado con una solución patrón de KCl 0,01M de 1.413 μ S.

3.10 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE.

Según (Andia,c & Alcantarillado,S.D.A.P, 2000); el suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al^{3+} liberados por los

respectivos electrodos. La eficiencia en la remoción y el consumo de energía se incrementan con el aumento en la densidad de corriente. Para algunas conductividades del medio acuoso el consumo de energía se incrementa proporcionalmente con los aumentos de conductividad, lo que conlleva a un consumo mayor de energía.

El proceso de electrocoagulación fue llevado a cabo utilizando diferentes densidades de corriente, siendo éstas: $j_1=20 \text{ A/m}^2$, $j_2=56.7 \text{ A/m}^2$

3.11 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO.

Se trabajó con 6 valores de tiempo:

Tabla 5. *Tiempos en la electrocoagulación*

Tiempo (min)	DBO_5 mg/L	DQO mg/L	TSS mg/L
2			
5			
10			
20			
30			
50			

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Los tiempos fueron controlados con un cronómetro.

3.12 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS AL FINAL DEL PROCESO DE LA ELECTROCOAGULACIÓN

Se escogieron los parámetros de densidad de corriente, tiempo más eficiente al final del proceso de electrocoagulación.

3.13 PARÁMETROS Y VARIABLES DE OPERACIÓN.

Se determinó experimentalmente y se analizó tres variables o factores (densidad de corriente y tiempo), con la finalidad de encontrar las mejores condiciones.

Para la reducción de la materia orgánica (objeto de estudio) en el lactosuero se trabajó con los siguientes parámetros y variables de operación:

Parámetros de operación en el proceso de electrocoagulación:

- Temperatura: ambiente.
- Volumen de lactosuero: 2.5 litros.
- Electrodo: 2 placas de ánodos (aluminio) y 2 placas de cátodo (acero inoxidable).
- Tipo de conexiones utilizadas: corriente continua.

Variables independientes:

- Densidad de corriente (A/m^2).
- Tiempo (min).

Variables dependientes:

- Porcentaje de remoción (DBO_5 , DQO y TSS).

En la tabla 6 se tomó como referencia valores mínimos y máximos a una distancia constante de los electrodos (cm) y diferentes densidades de corriente (A/m^2), El área de la celda de electrocoagulación es de $0.06 m^2$, teniendo en cuenta el tipo de contaminante y las condiciones de operación de electrocoagulación encontrados en la literatura. (Mohammad & Piña, 2011).

3.14 DISEÑO EXPERIMENTAL.

Según (Ramon, 2016); las variables independientes son las que elegimos libremente o manipulamos para verificar su efecto en relación con las variables dependientes. El objetivo directo de una investigación es clarificar la relación entre las variables independientes y las variables dependientes. Ver tabla 6.

Para las experiencias, se utilizó un diseño factorial multinivel tiene la estructura 3A2B6C, según (Arango Ruiz, Garces Giraldo, & Restrepo Mejia, 2012), que permitió investigar el efecto individual y la interacción entre los factores sobre la variable respuesta, mediante el programa estadístico Statgraphics Plus 5.1 de la información obtenida, así como se muestra en la figura 7.

El modelo estadístico utilizado para el análisis de la información fue:

$$Y_{ijkl} = u + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

u es el porcentaje de la remoción de DQO, DBO_5 y TSS.

α_i es el efecto del i -ésimo nivel del factor densidad de corriente: siendo $i=20 A/m^2$ y $56.7 A/m^2$.

β_j es el efecto del j -ésimo nivel del factor tiempo de operación, siendo $j=2,5,10,20,30$ y 50 min.

γ_k es el efecto del k -ésimo nivel del factor separación entre electrodos, siendo $k = 1$ cm.

$(\alpha\beta)_{ij}$ es el efecto de interacción entre los niveles i y j de los factores densidad de corriente y tiempo de operación.

$(\alpha\gamma)_{ik}$ es el efecto de interacción entre los niveles i y k de los factores densidad de corriente y separación de electrodos.

$(\beta\gamma)_{jk}$ es el efecto de interacción entre los niveles j y k de los factores tiempo de operación y separación entre los electrodos.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ es el efecto de interacción entre los niveles i , j y k de los factores densidad de corriente, tiempo de operación y separación entre electrodos.

y_{ijkl} es la l -ésima observación del porcentaje de remoción DQO, DBO_5 y TSS.

ε_{ijkl} es el l -ésimo término de error aleatorio.

Tabla 6. Variables independientes y niveles para el diseño experimental.

VARIABLES INDEPENDIENTES	NIVELES					
	Densidad de corriente (A/m^2)	20	56.7	-	-	-
Tiempo (min)	2	5	10	20	30	50

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Plan experimental.

N°	Muestra	Variables Independientes		Variables Dependientes			
		Tiempo (min)	Densidad de corriente (A/m^2)	% Remoción DBO_5	%Remoción DQO	%Remoción TSS	%Remoción AyG
1	Muestra 1	2	20				
2		5	20				
3		10	20				
4		20	20				
5		30	20				
6		50	20				
7		2	56.7				
8		5	56.7				
9		10	56.7				
10		20	56.7				
11		30	56.7				
12		50	56.7				
13	Muestra 2	2	20				
14		5	20				
15		10	20				
16		20	20				
17		30	20				
18		50	20				
19		2	56.7				
20		5	56.7				
21		10	56.7				
22		20	56.7				
23		30	56.7				
24		50	56.7				
25	Muestra 3	2	20				
26		5	20				
27		10	20				
28		20	20				
29		30	20				
30		50	20				
31		2	56.7				
32		5	56.7				
33		10	56.7				
34		20	56.7				
35		30	56.7				
36		50	56.7				

Nota: Fuente: Elaboración propia.

3.15 PORCENTAJE DE REMOCIÓN OBTENIDA CON LA ELECTROCOAGULACIÓN.

Una vez obtenida los parámetros fisicoquímicos del lactosuero, se determinó el porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos totales (TSS).

Se realizó el análisis de laboratorio previo a la aplicación de la electrocoagulación y posterior a este, se comparó los valores de acuerdo a los porcentajes de cada parámetro analizado en el proceso. Las variables de la cual se estudiaron es la siguiente ecuación.

$$n = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

n: porcentaje de remoción de parámetro analizado.

C_i : Concentración Inicial del parámetro.

C_f : concentración Final de parámetro.

Los porcentajes de remoción de cada parámetro se registran en diferentes tablas reportados en los resultados.

3.16 CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO_5) Y DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO). COMPORTAMIENTO DE LA REMOCIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (TSS) Y ACEITES Y GRASAS.

Se procesó la información obtenida en los diferentes experimentos, los datos de concentración-tiempo se evalúan para la determinación del orden de reacción se realizó con el ajuste de curva (Fogler, 2008). Se realizaron corridas para órdenes de reacción 2, 1 (ver Apéndice B.1. y B.2.)

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES PARA DESCARGAR AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO.

Tabla 8. *VMA al sistema de alcantarillado*

Parámetro	Unidad	Expresión	VMA para descargar al sistema de alcantarillado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos totales	mg/L	TSS	500
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	100

Nota: Ministerio de vivienda-Perú, 2009.

Las descargas de efluentes industriales a las redes del alcantarillado generan un gran problema para los sistemas de tratamiento de aguas residuales es por ello que se promulgo la norma valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.

En este marco, se ha aprobado el decreto supremo 021-2009-VIVIENDA, que regula mediante VMA las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, la infraestructura sanitaria, las maquinarias y los equipos, y de asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales.

En la industria alimentaria dichos parámetros serán comparados con nuestros datos de la DQO, DBO₅, TSS Y ACEITES Y GRASAS del efluente de lactosuero de la Empresa Ramírez.

4.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS MUESTRAS.

Se trabajó con efluente generado por la Industria Láctea Ramírez; las muestras fueron recolectadas de la poza de vertimiento del efluente, (ver fig. 18), que desemboca al río Jatunmayo (ver fig. 20) que posteriormente será tratada en la “Planta de tratamiento de aguas servidas de la Municipalidad de Anta” SNIP 270841, mediante un tanque INHOFF (ver fig. 21).

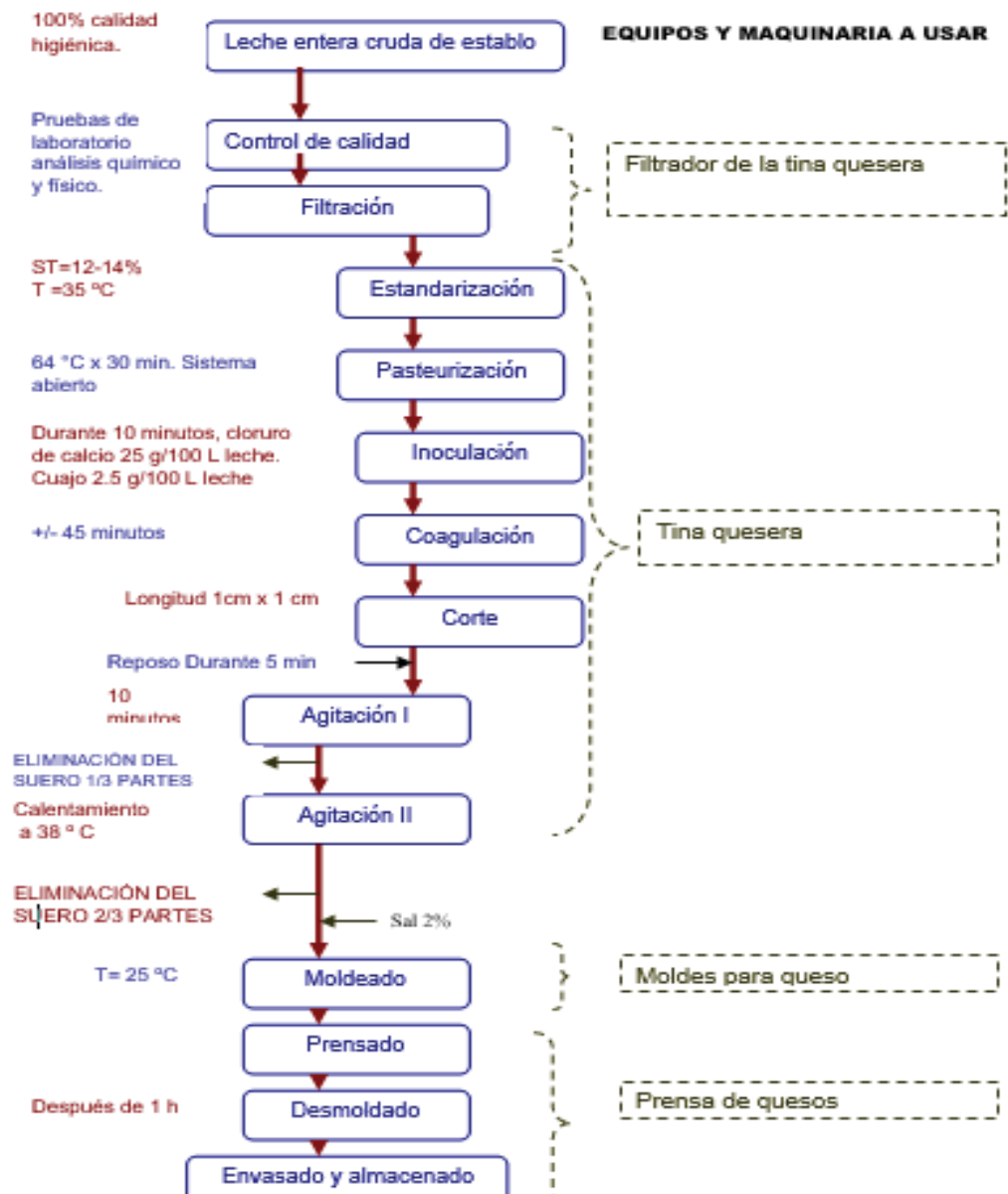
La Industria Ramírez procesa principalmente: queso, leche embolsada, y genera una alta variabilidad en el efluente, La Empresa Ramírez estima 100 litros de leche de vaca que produce 10 Kg de queso y 90 L de lactosuero, que representa cerca de 90 % del volumen de la leche por día; razón por la cual se determinó trabajar con 3 muestras y en días diferentes, las muestras correspondieron al lactosuero generado de la separación del coagulo de la leche. Para la caracterización inicial se tomó 1 muestra representativa, la cual se depositó en envases de 3 litros (ver figura 18). Las muestras se caracterizaron según los parámetros que se muestran en la Tabla 8.

Figura 18. *Poza de vertimiento del efluente de la Industria Ramírez.*



Nota: Fuente: Elaboración propia.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ELABORACION DEL QUESO “RAMIREZ”.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

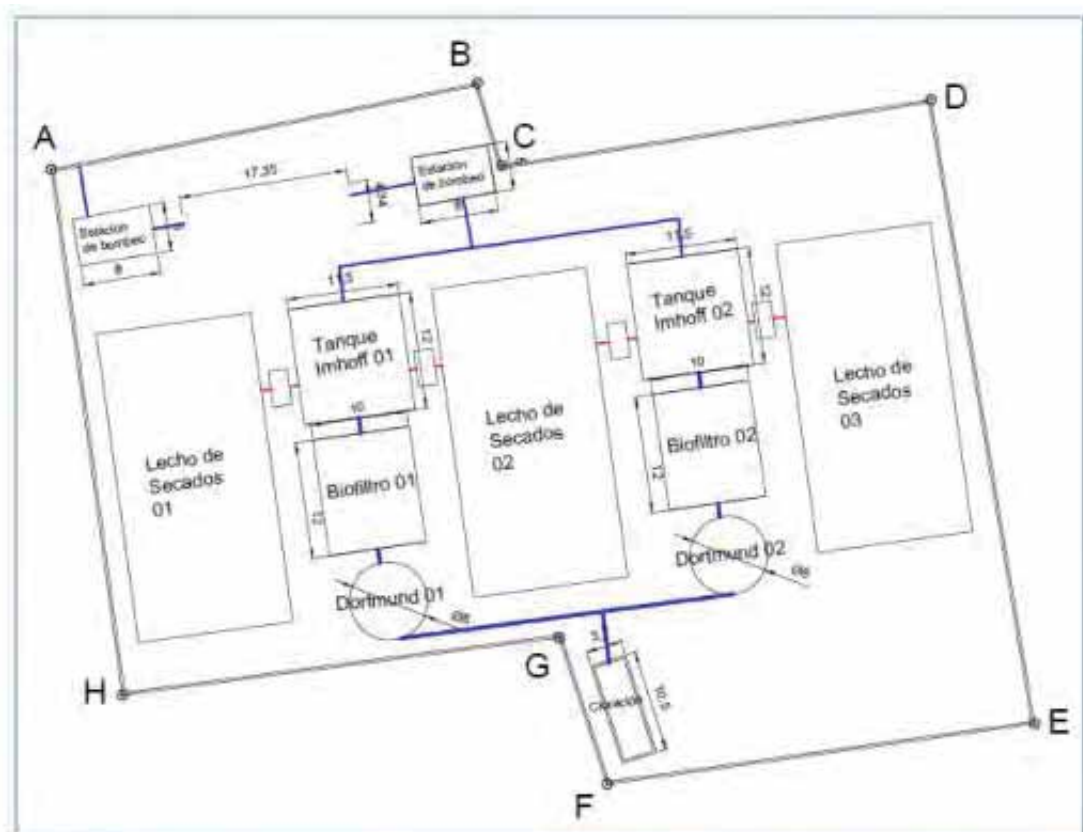
Figura 19. Planta de tratamiento de aguas servidas de la Municipalidad de Anta” SNIP 270841



Figura 20. Rio Jatunmayo de la provincia de Anta



Figura 21. Diseño de la “Planta de Tratamiento de Aguas Servidas-Anta”- TANQUE INHOFF.



Nota: (AMBIENTAL, 2016).

En la figura 21, el tanque Imhoff es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos: cámara de sedimentación (lecho de secado 1), cámara de digestión de lodos (lecho de secado 2) y área de ventilación y acumulación de natas (lecho de secado 3) que es una unidad de

tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos que ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales servidas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad y tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas, sin embargo, pasan por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y de remoción de arenas.

Durante la operación las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante biofiltros de la provincia de Anta - Cusco.

Tabla 9. Caracterización fisicoquímica del lactosuero antes de la electrocoagulación del lactosuero.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	Unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	15	15.1	15
DBO_5	mg/L	24400	33100	22100
DQO	mg/L	6970	5930	4370
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	ms/cm	3.89	3.876	3.79
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	8472.8	8120	7224
TURBIDEZ	FAU	551	513	502
ACEITES Y GRASAS	mg/L	1080	1200	190

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Según (Guerrero & Ramirez, 2011); la DBO_5 del lactosuero resulta muy elevada debido a la presencia de proteínas, grasas, etc. En términos promedio, el suero de leche contiene más de la mitad de los sólidos presentes que en la leche original, incluyendo alrededor del 20% de las proteínas (lacto albúminas y lacto globulinas), la mayor parte de la lactosa, minerales (calcio, fósforo, sodio y magnesio), (ver tabla 9).

La concentración del lactosuero reporta valores de DQO 4370 mg/L de la Industria Ramírez. Estos valores presentan semejanza con los estudios realizados por (Liviac

Calderon, 2013) que reporta un valor de DQO de 82830 mg/L en su caracterización del suero de queso de la planta piloto de leche de la UNALM. Por su parte, (Morales, 2015), reporta valores de DQO entre 284 mg/L y 5010 mg /L para los efluentes de la planta piloto de leche de la UNALM.

Como menciona “ (Prieto, 2012); para condiciones iniciales de pH ácido éste se incrementa durante el proceso de electrocoagulación, esto puede ser debido a la naturaleza de las especies de hidróxidos de aluminio formados durante la disolución anódica del aluminio. En el presente estudio se evidencio esta variación de pH en el proceso de la electrocoagulación, a distintos niveles de densidad de corriente y tiempo de tratamiento”.

4.3 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICAS DE LAS MUESTRAS ANTES Y DESPUÉS DE LA ELECTROCOAGULACIÓN.

Tabla 10. Caracterizaciones microbiológicas del lactosuero antes del proceso de la electrocoagulación.

N° Ref. Laboratorio	Punto de muestreo	Numeración Microorg. Aerobios Mesófilos UFC/ml.	N.M.P. Coliformes/ml			Recuento De Salmonella sp UFC/ml	Recuento de levaduras UFC/ml	Recuento De Moho UFC/ml
			Colf. Totales /ml 35°C	Colf. Termo Tolerantes (35°C)	E. Coli /ml 44.5°C			
M1 – 10 ⁻¹	Suero de Leche	9 250	240000	210 000	40	34 000	4 800	320
M1 – 10 ⁻³	Suero de Leche	506	150000	93 000	0	6 000	1 100	90
Límites máximos Permisibles		30 000	< 20 UFC	100	<10	Ausencia	10	10

METODO DE ENSAYO	Método Estandarizado de Fermentación de Tubo Múltiple de Coliformes. El valor “<3”, es el mínimo valor que especifica el método. (cero)
-------------------------	---

Nota: Fuente: (INEN, 2011) .

Como se muestra en la tabla 10 al no tener una legislación ambiental y Norma Técnica Peruana de suero de leche líquida en la industria alimentaria, se optó por comparar colateralmente con la Norma Ecuatoriana que si provee estos casos. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2594 (2011), para suero de leche líquido (ver anexo B.1).

Tabla 11. Caracterizaciones microbiológicas del lactosuero después del proceso de la electrocoagulación.

N° Ref.	Punto	Numeración	N.M.P. Coliformes/ml			Recuento De Salmonella sp UFC/ml	Recuento de levaduras UFC/ml	Recuento De Mohos UFC/ml
			Colf. Totales /ml	Colf. Termo Tolerantes (35°C)	E. Coli /ml			
M1 – 10 ⁻¹	Suero de Leche	7 130	80000	1080	0	310	190	59
M1 – 10 ⁻³	Suero de leche	390	700	220	0	-	50	10
Límites máximos Permisibles		30 000	< 20 UFC	100	<10	Ausencia	10	10

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 11 al no tener una legislación ambiental y Norma Técnica Peruana el suero de leche líquida en la industria alimentaria, se optó por comparar colateralmente con la Norma Ecuatoriana que si provee estos casos. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2594 (2011), para suero de leche líquido (ver anexo B.1).

Comparando con la NTE las muestras evaluadas cumplen con los parámetros microbiológicos según los LPM (exceptuando Coliformes Totales, Coliformes Termo tolerantes, y el Recuento de Levaduras). Un recuento alto de unidades formadoras de colonias (UFC) indica que probablemente ha sido conservado en condiciones de tiempo y temperatura que han permitido el desarrollo de microorganismos; influye en esto, además, la mala higiene de los utensilios y del personal, condiciones ambientales inadecuadas, infraestructura deficiente o la calidad microbiológica de la materia prima utilizada en la

elaboración del alimento, además indicaría que la leche utilizada en la elaboración del queso de la Industria Ramírez presenta un deficiente manejo, ya que, en el momento de la mezcla de la leche en la recolección, almacenamiento y transporte, puede presentarse contaminación, lo cual indicaría que estos procesos pueden tener falencias en su estandarización y ejecución.

4.4 PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN

Según (Arango Ruiz & Garces Giraldo, 2009); tras realizar las pruebas de electrocoagulación con un diseño factorial 3A2B6C (factores de densidad de corriente y tiempo).

Tabla 12. Resultados Experimentales para 20 A/m², 1.2 A y 2 minutos a un espaciamiento de 1cm.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	Unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	20.3	16.8	22.1
DBO ₅	mg/L	21115	26890	17900
DQO	mg/L	6200	5050	3000
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	3.69	3.49	3.75
SOLIDOS TOTALES	mg/L	6213.67	6087.12	6342.76
ACEITES Y GRASAS	mg/L	874.5	591.2	308.9

Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12, durante el proceso de electrocoagulación en el tiempo de dos minutos se observó las primeras burbujas que al ascender llevan las partículas de óxido a la superficie en forma de espuma y a su vez promueve el crecimiento de los flóculos y su posterior precipitación.

De acuerdo con (Arango & Garces, 2007); los ensayos realizados de la formación de lodos eran proporcional al tiempo y a la densidad de corriente suministrada al sistema. Se estimaron tres regiones: una región superior ocupada por los lodos de flotación y las espumas, una región media de reacciones electroquímicas y una región inferior dónde se depositan los lodos de precipitación tal como lo reporta

(Machaca & Porto Huaquipaco, 2010), Los estudios en la reducción de la turbidez, materia orgánica y demanda química de oxígeno de las aguas residuales de la Laguna Espinar de la ciudad de Puno por electrocoagulación empleando electrodos de aluminio como ánodos de sacrificio. Para las condiciones de pH 12, densidad de corriente de 1.02 mA/cm² y tiempo de 5 minutos, logrando disminuir la turbidez en 83.7%, materia orgánica en 73.9% y demanda química de oxígeno hasta 28.3%, a condiciones de pH 12, densidad de corriente de 6.40 mA/cm² y tiempo de 25 minutos.

Tabla 13. Resultados Experimentales para 56.7 A/m², 3.4 A y 50 minutos.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	25.8	23.1	30.5
DBO ₅	mg/L	14180	9450	6200
DQO	mg/L	3780	1557	570
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	3.51	3.49	3.75
SOLIDOSTOTALES	mg/L	4526.84	3630	
ACEITES Y GRASAS	mg/L	620.5	360.3	199

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13 se muestran los resultados emitidos de la muestra 3 del lactosuero de la Empresa Ramírez tratadas a 56.7 A/m², 3.4 A y 50 minutos.

En la muestra 3 en el tiempo de 50 minutos se observó una fuerte disminución de la DQO a 570 mg/L y un pequeño cambio de tiempo representa una gran influencia en la cantidad de solidos obtenidos, en los electrodos se produjeron micro burbujas de hidrogeno y oxigeno que chocaron y se adhieren a los flóculos; arrastrándolos hacia la superficie del líquido donde se formaron espumas; también las burbujas formadas dentro del reactor Batch ayudaron a que los aceites y grasas floten.

(Malakootian & Yousefi, 2011), mostró que el pH del agua residual aumentó durante el proceso de electrocoagulación y el pH aumentó más a mayor densidad de corriente. Este aumento depende de la actividad del ánodo y cátodo durante el proceso de electrocoagulación y está dominado por el cátodo. El aumento del pH se atribuye a la formación de gas hidrogeno y OH en el cátodo y la eliminación de DBO₅, DQO, TSS

aumentó con la densidad de corriente, alcanzando 97, 93, 81 y 84% de eliminación a 25 A/m^2 con un tiempo de contacto de 50 min.

Al igual que (Bazrafshan, Moein, & Kord Mostafapour, 2013), reportan en su caracterización de aguas residuales lácteas crudas una DQO de 7855.25 a 703.05 mg/L y una DBO_5 , de 3486.3 a 235.17 mg/L; por su parte París (2009) reporta valores promedio de los residuales acuosos de la industria láctea para DQO en un rango de 675-7200 y para la DBO_5 , rango de 450 - 4800 y un pH en el rango de 5,3-9,4.

4.4.1 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO DEL LACTOSUERO RESIDUAL.

En la tabla 14, muestran los porcentajes de remoción de los contaminantes de las aguas residuales de lactosuero de la muestra 3 tratadas de la Empresa Ramírez, a las diferentes combinaciones descritas en el diseño experimental.

Tabla 14. Concentración y porcentaje de remoción para la DQO del lactosuero.

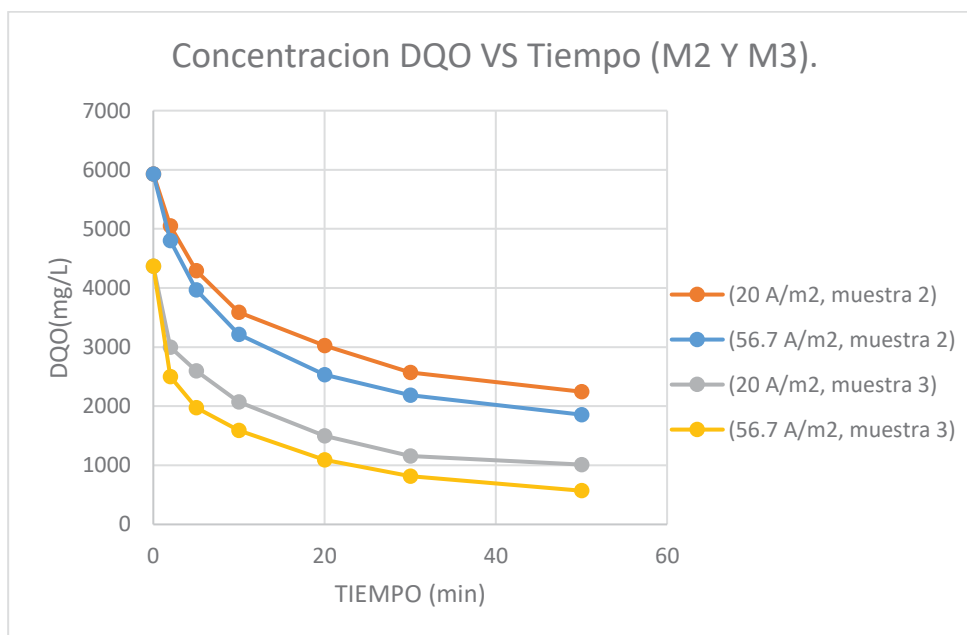
N°	Muestra	Tiempo (min)	Densidad de corriente (A/m^2)	Concentración Final de la DQO (mg/L)	Remoción DQO (%)
1	Muestra 1	2	20	6200	11.05
2		5	20	5600	19.66
3		10	20	5230	24.96
4		20	20	4961	28.82
5		30	20	4748	31.88
6		50	20	4470	35.87
7		2	56.7	6065	13.20
8		5	56.7	5200	25.39
9		10	56.7	4770	31.56
10		20	56.7	4160	40.32
11		30	56.7	3760	46.05
12		50	56.7	3380	51.51
13	Muestra 2	2	20	5050	14.84
14		5	20	4200	29.17
15		10	20	3790	36.09
16		20	20	3165	46.63
17		30	20	2569	56.68
18		50	20	2445	58.77
19		2	56.7	4800	19.06
20		5	56.7	3550	40.13
21		10	56.7	2996	49.48
22		20	56.7	2534	57.27

23		30	56.7	1976	66.68
24		50	56.7	1557	73.74
25	Muestra 3	2	20	3000	31.35
26		5	20	2600	40.50
27		10	20	2070	52.63
28		20	20	1700	61.10
29		30	20	1456	66.68
30		50	20	1060	75.74
31		2	56.7	2500	42.79
32		5	56.7	1973	54.85
33		10	56.7	1590	63.62
34		20	56.7	1093	74.99
35		30	56.7	817	81.30
36		50	56.7	570	86.96

Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 14 los mayores porcentajes de remoción de los contaminantes se obtuvieron en la muestra 3 a una densidad de corriente de 56.7 A/m^2 en las corridas N° 34, 35 y 36 obtenemos remociones de demanda química de oxígeno de 74.99%, 81.30 % y 86.96% respectivamente. Debido a la cantidad de iones liberados desde el ánodo de sacrificio a la solución se ve directamente afectada por la densidad de corriente.

Gráfica 1: Efecto de la densidad de corriente en la reducción de la demanda química de oxígeno de las muestras 2 y 3.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

La mejor performance en la remoción de la DQO es aquella prueba que tiene 56.7 A/m^2 , como se muestra en la gráfica 1; porque a esta potencia genera mayor cantidad de electrones, los mismos que se convierten en mayor concentración de Al^{+3} , según los mecanismos de reacción descritos en las Ecs. 3 al 7, estos generan mayor cantidad de solución floculante que coadyuva al mejor resultado obtenido en la remoción de la DQO.

En la gráfica 1 se observa la concentración de la DQO (muestra 2 y 3) inicial que varía el rango de 5930 mg/L a 4370 mg/L . de oxígeno necesario para que reaccione toda la materia presente del lactosuero residual, la reducción de concentración continúa bajando según el incremento del tiempo.

En la tabla 8 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, los Valores máximos admisibles se encuentran en el rango de 1000 y comparando con nuestra concentración de DQO que es de 570 mg/L cumple para la norma mencionada.

Con respecto a la tabla 1 de la Federación Nacional de la Industria Láctea Sevilla-España, la composición de la DQO del efluente generado concerniente a la producción de quesos es de 4500 mg/L y comparando con nuestra concentración de remoción de la DQO que es de 570 mg/L cumple para la norma mencionada.

Sin embargo, por su parte (Maghanga, 2009), en su investigación redujo la DQO en un 96.6% , la DBO_5 en un 84.0% y la conductividad en un 31.5% y aumentar el pH en un 10.32 . Los parámetros óptimos fueron potencial eléctrico de 24 V , distancia entre electrodos de 5 mm , relación de volumen de efluente de $18,2 \text{ m}^3$ y un pH de 6 .

Adicionalmente, utilizando las ecuaciones 1 y 2, se establece que hubo un flujo de:

$$Q = 20 \text{ A/m}^2 * 1 \text{ s} = 20 \text{ Coulombios/m}^2.$$

Que, para el caso de nuestra experimentación, los electrodos tienen un área total de 0.01 m^2 . Resultando una cantidad de 0.2 Coulombios/s . así Para una densidad de corriente de 20 A/m^2 .

De la Ec. 2, se obtiene: $q = I * t$, para $I = 20 \text{ A/m}^2$, analizando para una BC de $t = 1 \text{ s}$, se tiene $q = 20 \text{ Coulombios/m}^2$.

$Q = n * x * F$ de la Ec. 1, donde $F = 96485 \text{ Coulombios/mol Al}^{+3}$,

$$Q = n * x * F, \rightarrow 20 \text{ Coulombios/m}^2 = n * 96485 \text{ Coulombios/mol Al}^{+3}$$

$$n=2 \times 10^{-04} \text{ mol Al}^{+3}/\text{m}^2\text{-s.}$$

Es decir que en un metro cuadrado y en un periodo de tiempo de 1 segundo, se generan 2×10^{-04} mol de Al^{+3} , llevando al área de los electrodos de la presente investigación, es 2.07×10^{-6} mol de Al^{+3} ; así como se observa en la siguiente tabla 15.

Tabla 15. *Floculante generado (mol Al^{+3} /s) en todo el proceso.*

Prueba muestra	Densidad de corriente (A/m^2)	Floculante generado (mol Al^{+3} /s) (1s)	Floculante generado en todo el proceso (mol Al^{+3} /lote) (50 min)
M1	20	2×10^{-6}	6.21×10^{-3}
	56.7	5.87×10^{-6}	0.0176
M2	20	2×10^{-6}	6.21×10^{-3}
	56.7	5.87×10^{-6}	0.0176
M3	20	2×10^{-6}	6.21×10^{-3}
	56.7	5.87×10^{-6}	0.0176

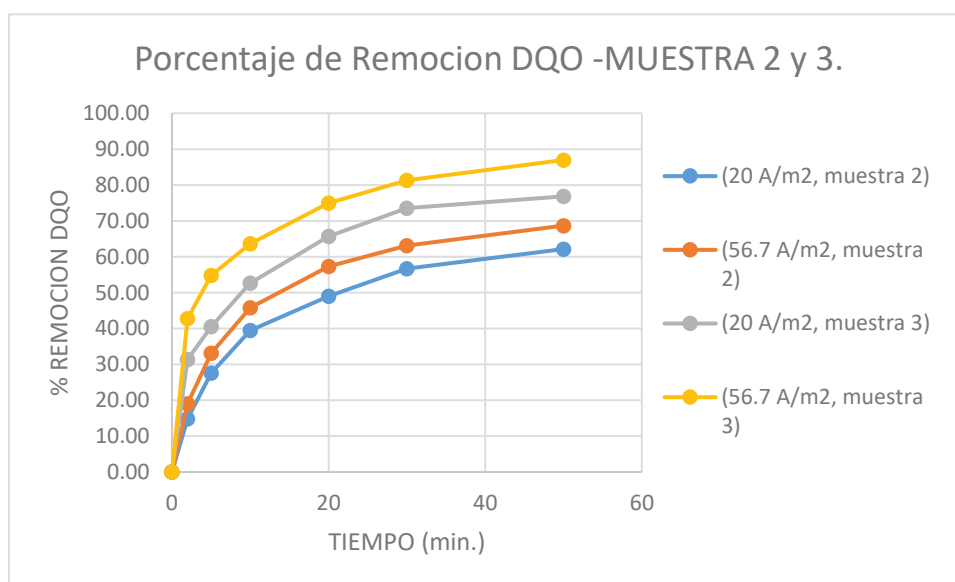
Nota: Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 15 el porcentaje de remoción de DQO se favorece con el aumento de la densidad de corriente de 20 a $56.7 \text{ A}/\text{m}^2$. Por consiguiente se favorece con la generación de 5.87×10^{-6} moles de Al^{+3} a un tiempo de 1 segundo en comparación a 50 min de todo el proceso a una generación de 0.0176 moles de Al^{+3} empleando la ley de Faraday.

- (Zhu, 2013), realizo un reactor casero conocido como tecnología de coagulación-electrocoagulación para aguas residuales tres veces en campos petroleros donde la eliminación es de 69.3% DQO con pH es 7, la dosis de sulfato de aluminio es 300 mg / L, velocidad de rotación a 500 r / min durante 30 minutos, densidad de corriente de $12.5 \text{ A}/\text{m}^2$, y temperatura 40.
- (Rift Vallery, 2010), fue capaz de reducir la DQO en un 96.6%, la DBO en un 84.0% y la conductividad en un 31.5% y aumentar el pH en un 10.32%. Los parámetros óptimos fueron potencial eléctrico de 24 V, distancia entre electrodos de 5 mm. Electrocoagulación de pigmentos de color de té de fenol oxidado.
- (Merzouk, 2015), en su investigación determino la eliminación de DQO que era

superior al 80% y el color del 85% al considerar las aguas residuales sintéticas textiles con electrodos de aluminio, una concentración de colorante DQO de 2.500 mg / L se redujo a menos de 200 mg / L, un pH entre 6 y 9, tiempo de residencia de 14 minutos, densidad de corriente de 31.25 mA / cm², y conductividad del agua de 2.4 mS / cm a una distancia de electrodo de 1 cm.

Gráfica 2: Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 2 se observa el porcentaje de remoción de DQO se favorece con el aumento de la densidad de corriente de 20 a 56.7 A/m² y de 6.21×10^{-3} a 0.0176 moles de Al⁺³, en un tiempo de tratamiento de 50 minutos, por tanto en la comparación de la (muestra 2 y 3) el porcentaje de remoción de la DQO varía el rango de 14.84% a 86.96 % de oxígeno necesario para que reaccione toda la materia presente del lactosuero residual.

Comparando con, (Shafaei, 2010) , fue capaz de eliminar iones Mn²⁺ por electrocoagulación con electrodos de aluminio a un pH óptimo de 7.0. Los factores concluidos por los autores fueron la densidad y el tiempo de electrólisis, junto con la concentración inicial fueron capaces de determinar tasas de eliminación exitosas.

- Mientras que, (Cañizares & Saez, 2004), concluyo que el pH tuvo efecto general en la eficiencia del tratamiento para la electrocoagulación de la emulsión y el efluente sintético de aceite en agua de una instalación de fabricación de puertas.

4.4.2 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DEL LACTOSUERO RESIDUAL

En la tabla 16, muestran los porcentajes de remoción de las muestras 1, 2 y 3 de los contaminantes de las aguas residuales de lactosuero de la Empresa Ramírez.

Tabla 16. Concentración y porcentaje de remoción para la DBO_5 lactosuero “MUESTRA 1, MUESTRA 2 y MUESTRA 3”.

N°	Muestra	Tiempo (min)	Densidad de corriente (A/m^2)	Concentración Final de la DBO_5 (mg/L)	% Remoción DBO_5
1	Muestra 1	2	20	27890	15.74
2		5	20	25800	22.05
3		10	20	23590	28.73
4		20	20	21132	36.15
5		30	20	20423	38.29
6		50	20	19007	42.57
7		2	56.7	25610	22.62
8		5	56.7	21350	35.49
9		10	56.7	19497	41.09
10		20	56.7	17154	48.17
11		30	56.7	15643	52.74
12		50	56.7	14090	57.43
13	Muestra 2	2	20	21115	13.46
14		5	20	19017	22.06
15		10	20	18000	26.22
16		20	20	15987	34.47
17		30	20	14465	40.71
18		50	20	12993	46.75
19		2	56.7	21000	13.93
20		5	56.7	17498	28.28
21		10	56.7	15500	36.47
22		20	56.7	14278	41.48
23		30	56.7	13014	46.66
24		50	56.7	12180	50.08
25	Muestra 3	2	20	17900	19.00
26		5	20	16300	26.24
27		10	20	14350	35.06
28		20	20	12947	41.41
29		30	20	11485	48.03
30		50	20	10135	54.14
31		2	56.7	16850	23.75
32		5	56.7	14320	35.20
33		10	56.7	12650	42.76

34		20	56.7	10107	54.26
35		30	56.7	8549	61.31
36		50	56.7	6200	71.94

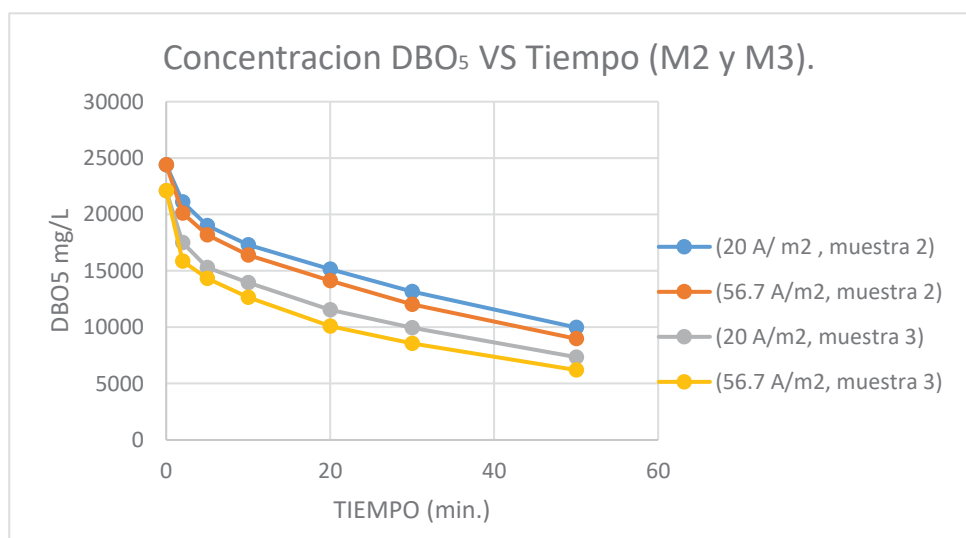
Nota: Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar, que los mejores porcentajes de remociones de DBO₅ se da a una densidad de corriente de 56.7 A/m² como se ve en la tabla 16, para las corridas N° 34,35 y 36 obteniendo 54.26 %, 61.31 % y 71,94% respectivamente. Estos resultados pueden atribuirse según la ley de Faraday, que la cantidad de masa disuelta en la solución electrolítica o depositada de uno de los electrodos es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa por el electrolito.

En la DBO₅ se elimina la materia biodegradable por microorganismos, el sistema no genera O₂, genera Al⁺³; así que la materia orgánica se ha precipitado por mecanismos de remoción de TSS, que reducen la carga orgánica, debido a eso los valores de remoción son tan bajos.

(Olmez Mercado, Gonzales Silva, & Valencia Hurtado, 2013), realizó el proceso de Electrocoagulación con 7,4 A de corriente y 33,6 mm. de concentración de electrolito (NaCl), un tiempo de aplicación de 50 minutos y FeSO₄ × 7H₂O como tratamiento completo podría llevar a cabo un tratamiento completo.

Gráfica 3: Efecto de la densidad de corriente en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 3, la demanda bioquímica de oxígeno (muestra 2 y 3) inicial varía el rango de 33100 mg/L a 22100 mg/L. esto se debe a que el efluente contiene alta carga orgánica.

Comparando la (MUESTRA 2 Y 3), en la muestra 2 a una densidad de corriente de 20 A/m² en un tiempo de 50 minutos obtenemos una remoción de DBO₅ de 12993 mg/L y a una densidad de corriente de 56.7 A/m² obtenemos una remoción de 12189 mg/L.

En la muestra 3 a una densidad de corriente de 20 A/m² la remoción es de 10135 mg/L. y a una densidad de corriente de 56.7 A/m² la velocidad de reacción es más rápida llegando a reducirse a 6200 mg/L la concentración de DBO₅ del lactosuero residual (Ramirez C. , 2012). Por tanto, se puede deducir que, al eliminar materia biodegradable por microorganismos, sabemos que este sistema no genera O₂, pero al desestabilizar la materia orgánica hacen que sedimente.

La generación de espuma, hace que sea difícil capturar O₂ del ambiente, solo tendría la carga de O₂ de las reacciones químicas, si no genera O₂ por reacción química, no hay fuente de O₂.

En la tabla 8 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, los Valores máximos admisibles de DBO₅ se encuentran en el rango de 500 y comparando con nuestra concentración de DBO₅ que es de 6200 mg/L no cumple para la norma mencionada; para llegar a dicho parámetro tiene que estar a un tiempo de 120 min en el proceso de electrocoagulación para su reducción; según (Desphande, Satyanarayan, & Ramakant, 2010).

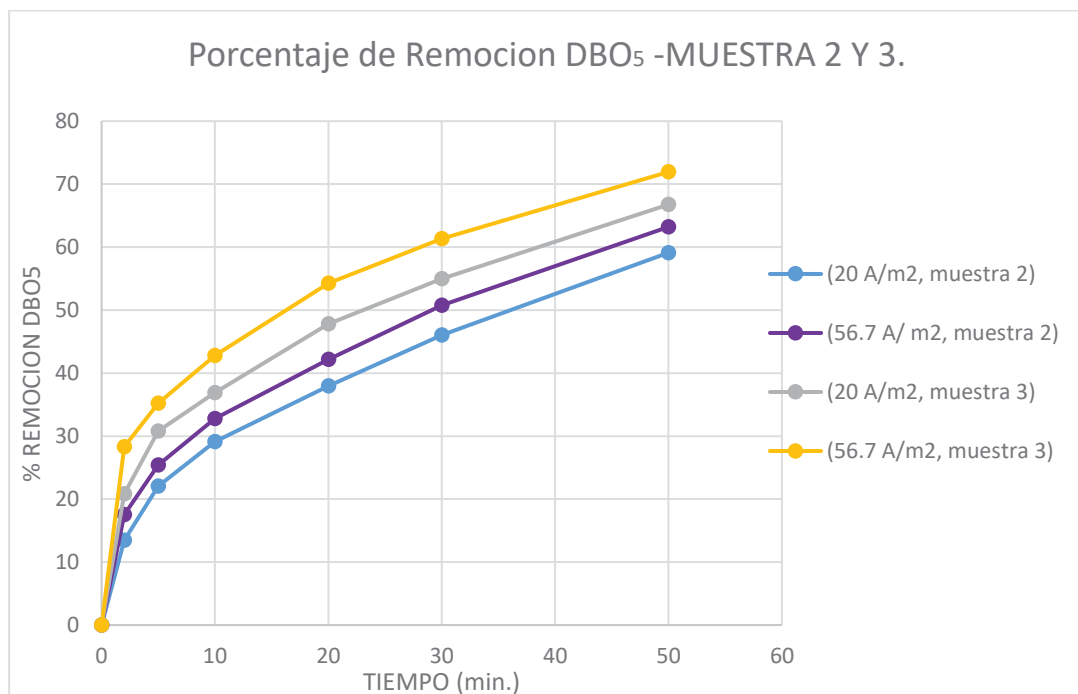
Con respecto a la tabla 1 de la Federación Nacional de la Industria Láctea Sevilla-España, la composición de la DBO₅ del efluente generado concerniente a la producción de quesos es de 2750 mg/L y comparando con nuestra concentración de remoción de la DBO₅ que es de 6200 mg/L no cumple para la norma mencionada.

- Comparando con (Animes, 2012), concluyó que, con la aplicación de un proceso de electrocoagulación, el color se eliminó entre 90 y 98% al operar el aparato durante una hora de tratamiento de azul tripán, naranja G con electrodos hechos de electrodos de acero suave y aluminio. Los efectos adicionales implicaron corrientes de mayor densidad y pH.
- Al igual que (Linares Hernandez, Barrera Diaz, Bilyeu, & Juarez, 2010), observó que la combinación de electrocoagulación y electro oxidación fue capaz de cumplir con éxito el tratamiento: la electrocoagulación coagula y elimina las partículas, mientras que la

electrocoagulación oxida lo que queda. En general, el proceso es capaz de reducir DQO, DBO_5 , color, turbidez y coliformes en 2 horas.

- Nuestro resultado equivalente de porcentaje de remoción con la relación de DBO_5 / DQO es de 0.827 a un tiempo de tratamiento de 50 min cuando se usa el proceso de electrocoagulación, al comparar con (Desphande, Satyanarayan, & Ramakant, 2010), concluyó que la DQO de aguas residuales de la industria farmacéutica a granel podría eliminarse al 34%, con una relación DBO_5 / DQO de 0.581 a un tiempo de tratamiento de 120 min, cuando se usa el método electroquímico.

Gráfica 4: Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 4 se observa el porcentaje de remoción de la DBO_5 varía el rango de 46.75 % a 71.94 % de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el lactosuero residual, y así cumpliendo nuestro objetivo principal a una densidad de $56.7 A / m^2$ para el proceso de electrocoagulación, mientras que en el trabajo realizado por (Emamjomeh & Sivakumar, 2016), está de acuerdo con los resultados obtenidos por el tratamiento de aguas residuales del matadero por electrocoagulación mediante los cuales obtuvo la eliminación de DBO_5 , DQO y TSS expreso que aumento con la densidad de corriente, alcanzando 97,81 y 84% de eliminación a $25 A/m^2$ con un tiempo de 50 min

en un reactor monopolar.

Por otro lado (Poma Javier & Quispe Sanca, 2016), menciona que la densidad de corriente del proceso es $32,72 \text{ A/m}^2$, con un área total de contacto de $0,08253 \text{ m}^2$ y $2,7 \text{ A}$; con un tiempo de residencia de 20 minutos, con una distancia entre electrodos de 1 cm. El porcentaje de remoción de la DBO_5 es 85,9%.

4.4.3 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES DEL LACTOSUERO RESIDUAL.

Tabla 17. Concentración y porcentaje de remoción para la TSS del lactosuero “MUESTRA 1, MUESTRA 2”.

N°	Muestra	Tiempo (min)	Densidad de corriente (A/m^2)	Concentración Final de la TSS (mg/L)	% Remoción TSS
1	Muestra 1	2	20	7713.67	8.96
2		5	20	6989.3	17.51
3		10	20	6523.9	23.00
4		20	20	5978.3	29.44
5		30	20	5673.2	33.04
6		50	20	5134.1	39.40
7		2	56.7	7089.09	16.3
8		5	56.7	5691.98	32.8
9		10	56.7	5198.53	38.6
10		20	56.7	4742.71	44.0
11		30	56.7	4521.81	46.6
12		50	56.7	4226.84	50.1
13	Muestra 2	2	20	7087.12	12.72
14		5	20	6171.81	23.99
15		10	20	5798.39	28.59
16		20	20	5432.8	33.09
17		30	20	5123.1	36.91
18		50	20	4563	43.81
19		2	56.7	6123.7	24.58
20		5	56.7	4899.32	39.66
21		10	56.7	4389.45	45.94
22		20	56.7	3921.8	51.70
23		30	56.7	3629	55.31
24		50	56.7	3630	55.30

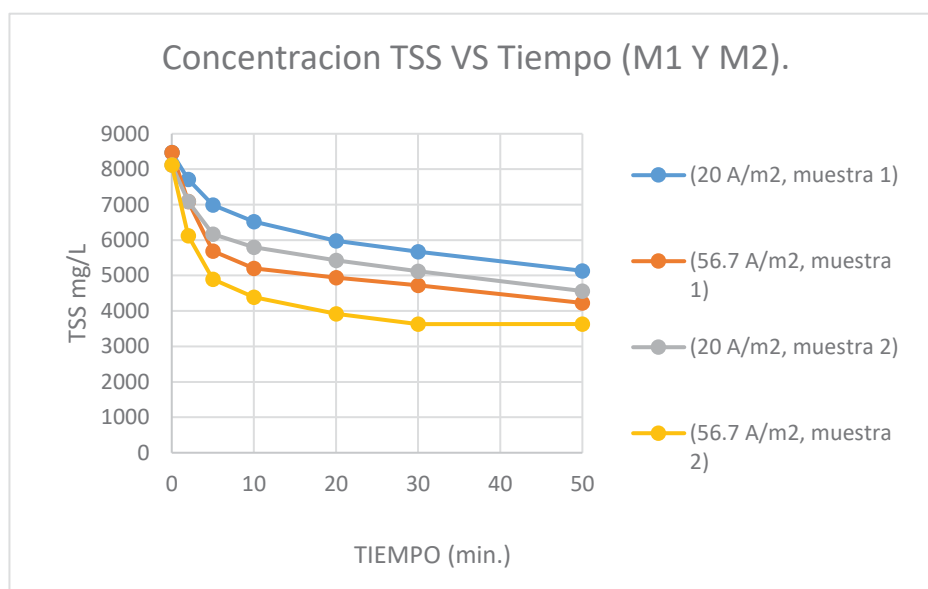
Nota: Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar los mayores porcentajes de remoción de los contaminantes se obtuvieron en la muestra 2 a una densidad de corriente de 56.7 A/m^2 como se observa en la tabla 17, para las corridas N° 22, 23 obtenemos remociones de TSS de 51.70 % y 55.31% respectivamente.

Mediante el proceso de la electrocoagulación se retiró la carga de TSS, ya que los TSS permiten conocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales. (Ramirez V. , 2009).

Comparando nuestros resultados con (Poma Javier & Quispe Sanca, 2016), menciona que la densidad de corriente del proceso es $32,72 \text{ A/m}^2$, con un área total de contacto de $0,08253 \text{ m}^2$ y $2,7 \text{ A}$, con un tiempo de residencia de 20 minutos y con una distancia entre electrodos de 1 cm. Los porcentajes de remoción son 85,9% para DBO_5 , 75,3% para DQO, 93,8 % para aceites y grasas, 89,5% para conductividad eléctrica, 79,6% para turbiedad, 95,3% para sólidos totales, 91,0% para sólidos suspendidos, 91,3% para sólidos disueltos.

Gráfica 5: Efecto de la densidad de corriente en la reducción de solidos suspendidos totales



Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 5 Como se puede observar las concentraciones iniciales de los TSS varían en el rango de 8472.8 a 8120 mg/L.

Comprando la (MUESTRA 1 Y 2), En la muestra 1 a una densidad de corriente de 20 A/m² en un tiempo de 50 minutos obtenemos una remoción de TSS de 5134 mg/L y a una densidad de corriente de 56.7 A/m² obtenemos una remoción de 4226.84 mg/L.

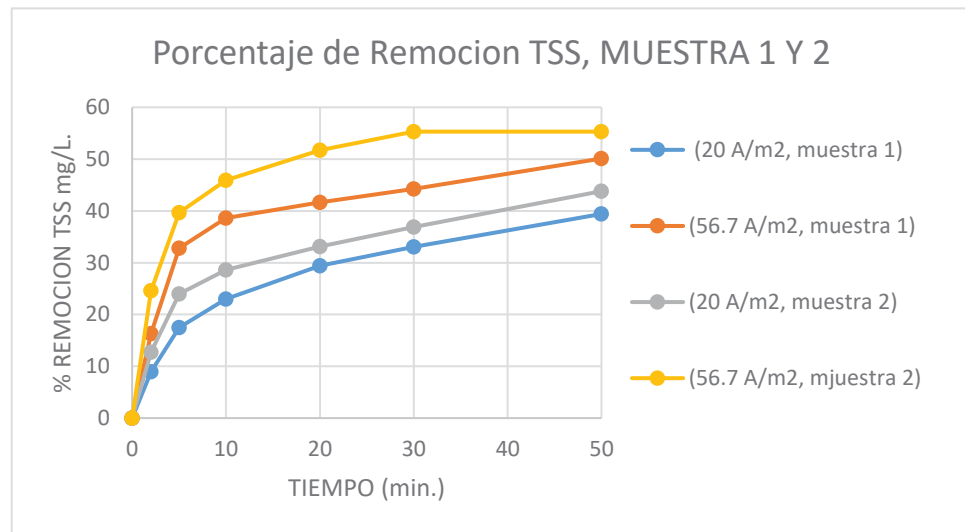
En la muestra 2 a una densidad de corriente de 20 A/m² la remoción es de 4567 mg/L. y en un tiempo de 30 a una densidad de corriente de 56.7 A/m² la velocidad de reacción es más rápida llegando a reducirse a 3629 mg/L. de TSS. Llegando a deducir que el tiempo de 30 minutos logran alcanzar la densidad adecuada para su floculación. La eliminación de la materia orgánica por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido.

En la tabla 8 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, los Valores máximos admisibles de TSS se encuentran en el rango de 500 y comparando con nuestra concentración de TSS que es de 3629 mg/L no cumple para la norma mencionada.

Con respecto a la tabla 1 de la Federación Nacional de la Industria Láctea Sevilla-España, la composición de TSS del efluente generado concerniente a la producción de quesos es de 850 mg/L y comparando con nuestra concentración de remoción de TSS que es de 3629 mg/L no cumple para la norma mencionada.

Comparando nuestros resultados con (Poma Javier & Quispe Sanca, 2016), menciona que la densidad de corriente del proceso es 32,72 A/m², con un área total de contacto de 0,08253 m² y 2,7 A, con un tiempo de residencia de 20 minutos y con una distancia entre electrodos de 1 cm. Los porcentajes de remoción son 85,9% para DBO₅, 75,3% para DQO, 93,8 % para aceites y grasas, 89,5% para conductividad eléctrica, 79,6% para turbiedad, 95,3% para sólidos totales, 91,0% para sólidos suspendidos, 91,3% para sólidos disueltos.

Gráfica 6: Porcentaje de Remoción de Sólidos Suspendedos Totales



Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 6 se observa que el porcentaje de remoción de la TSS varía entre el rango de 39.40 % a 55.31 % de remoción de sólidos suspendidos totales a una densidad de 56.7 A/m^2 para el proceso de electrocoagulación. Comparando con, (Chavalparit & Ongwandee, 2014), concluyeron que la eliminación de 55.43% de DQO, 98.4% de aceite y grasa, y 96.59% de sólidos en suspensión se obtuvo usando un pH de 6.06, un voltaje aplicado de 18.2 V y un tiempo de reacción de 23.5 minutos al usar el diseño Box-Behnken para aguas residuales de biodiesel. Mientras que, (Bukhari, 2008), fue capaz de eliminar el 95.4% de eficiencia del tratamiento de TSS con una corriente de 0.8 A y un tiempo de contacto de 5 minutos usando un electrocoagulador con electrodos de acero inoxidable. Se notó que el patrón era una coagulación de barrido por flotación donde los iones ferrosos solubles se cambiaron a iones férricos insolubles por oxidación con cloro. Además, la DBO_5 tuvo un profundo efecto en la eliminación de TSS en presencia de partículas.

4.4.4 PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE GRASAS Y ACEITES.

En el porcentaje de grasas y aceites, las burbujas que han atrapado las mili y micro gotitas de aceites y grasas, ayudaron a que estos floten, por esto es más eficiente este método, porque genera el floculante, $Al(OH)_3$ y las burbujas de H_2 (Ec. 6) que a su salida hacen flotación de TSS y AyG. Ahora, las espumas son gracias a la cantidad de proteínas que contiene el lactosuero y por el H_2 (g) se forman burbujas.

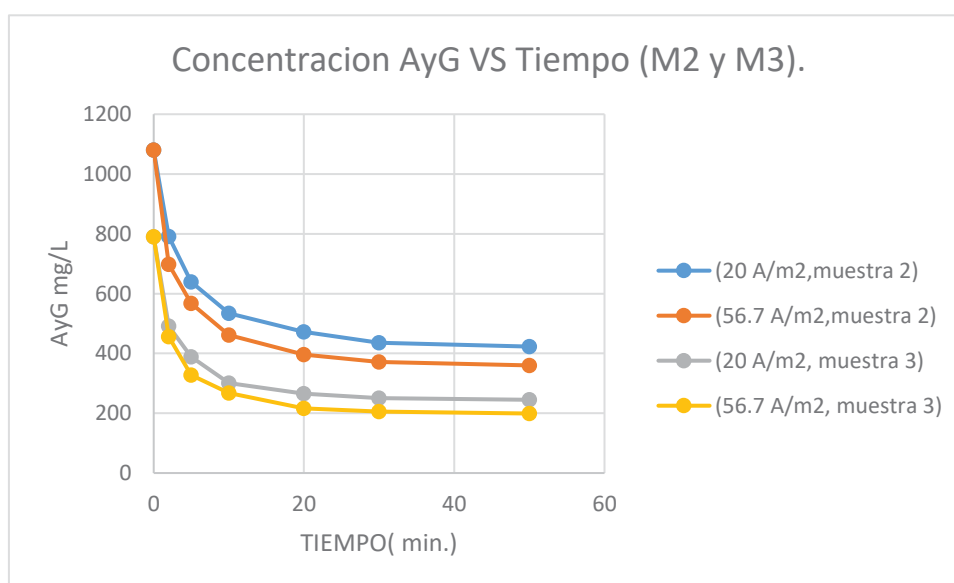
Tabla 18. Concentración y porcentaje de remoción para grasas y aceites del lactosuero “MUESTRA 1, MUESTRA 2 y MUESTRA 3”.

N°	Muestra	Tiempo (min)	Densidad De corriente (A/m ²)	Concentración Final de AyG (mg/L)	% Remoción AyG
1	Muestra 1	2	20	874	27.17
2		5	20	836	30.33
3		10	20	799	33.42
4		20	20	785	34.58
5		30	20	745	37.92
6		50	20	727	39.42
7		2	56.7	701	41.58
8		5	56.7	681	43.25
9		10	56.7	678	43.50
10		20	56.7	643	46.42
11		30	56.7	637	46.92
12		50	56.7	620	48.33
13	Muestra 2	2	20	791	26.76
14		5	20	639	40.83
15		10	20	534	50.56
16		20	20	472	56.30
17		30	20	436	59.63
18		50	20	423	60.83
19		2	56.7	698	35.37
20		5	56.7	567	47.50
21		10	56.7	461	57.31
22		20	56.7	396	63.33
23		30	56.7	372	65.56
24		50	56.7	360	66.67
25	Muestra 3	2	20	491	37.85
26		5	20	389	50.76
27		10	20	301	61.90
28		20	20	266	66.33
29		30	20	250	68.35
30		50	20	245	68.99
31		2	56.7	456	42.28
32		5	56.7	328	58.48
33		10	56.7	268	66.08
34		20	56.7	216	72.66
35		30	56.7	206	73.92
36		50	56.7	199	74.81

Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 18 la muestra 3 resulta mejores remociones de grasas y aceites a partir de una densidad de corriente de 56.7 A/m^2 , para las corridas N°34,35 y 36 obtenemos remociones de grasas y aceites de 72.66%, 73.92% y 74.81% respectivamente; así como se observa en la gráfica 7. El trabajo realizado por (Drogui, Asselin, & Benmoussa, 2009), fue capaz de eliminar el 90% de aceite y grasas utilizando arreglos de electrodos de aluminio y acero inoxidable.

Gráfica 7: Efecto de la densidad de corriente en la reducción de grasas y aceites.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 7 por esto es más eficiente este método, porque genera el floculante, $Al(OH)_3$ y las burbujas de H_2 (Ec. 6) que a su salida hacen que floten los AyG.

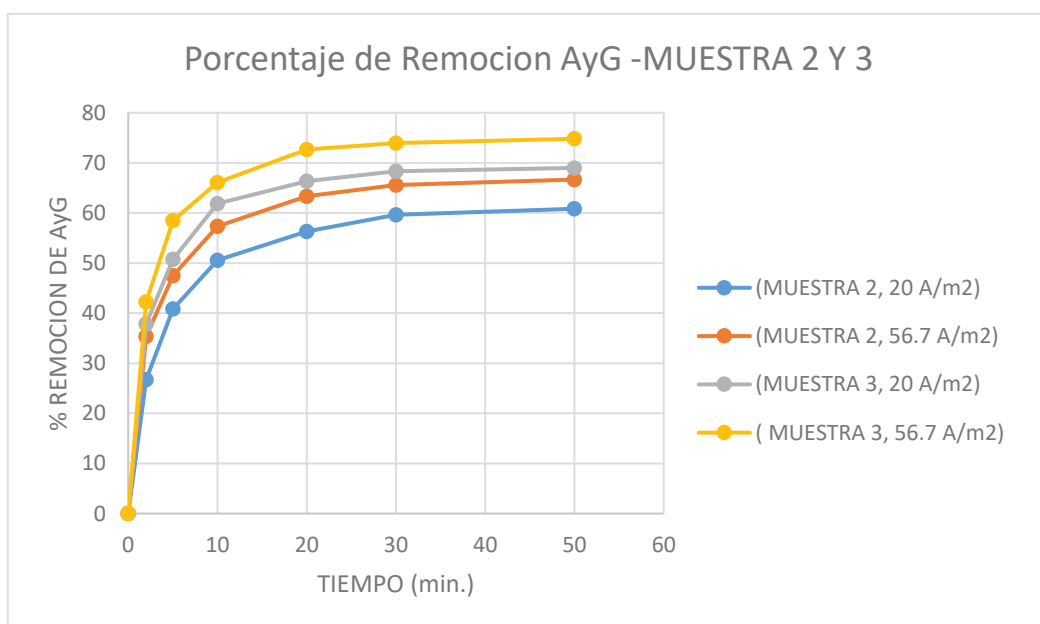
En las muestras 2 y 3 las concentraciones de grasas y aceites iniciales son 1200 mg/L a 790 mg/L . de grasas y aceites necesario para que reaccione toda la materia presente del lactosuero residual, la reducción de concentración continúa bajando según el incremento del tiempo, es por esta razón que se hace el estudio hasta 50 minutos llegando a reducirse a 199 mg/L .

En la tabla 8 del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, los Valores máximos admisibles de AyG se encuentran en el rango de 100 y comparando con nuestra concentración de AyG que es de 199 mg/L no cumple para la norma mencionada.

Con respecto a la tabla 1 de la Federación Nacional de la Industria Láctea Sevilla-España, la composición de la AyG del efluente generado concerniente a la producción de quesos es de 365 mg/L y comparando con nuestra concentración de remoción de AyG que es de 199 mg/L si cumple para la norma mencionada.

Mientras que el estudio realizado por (Asselin, Brar, & Benmoussa, Electrochemical removal of pollutants from agro-industry wastewaters, 2008), llegó a la conclusión de que el total de sólidos suspendidos (TSS) se eliminó al 89%, la turbidez del 90%, la DBO_5 del 86% y el aceite y la grasa del 99%, al completar la electrocoagulación mediante la combinación de electrodos de acero suave o aluminio para el tratamiento de las aguas residuales del matadero. Además, se identificó que el costo total del tratamiento es de 0,71 USD / m³ de efluente de matadero de aves de corral (PS) tratado, particularmente incluyendo el consumo de energía y electrodos y la eliminación de químicos y lodos.

Gráfica 8: Porcentajes de remoción de Aceites y grasas.



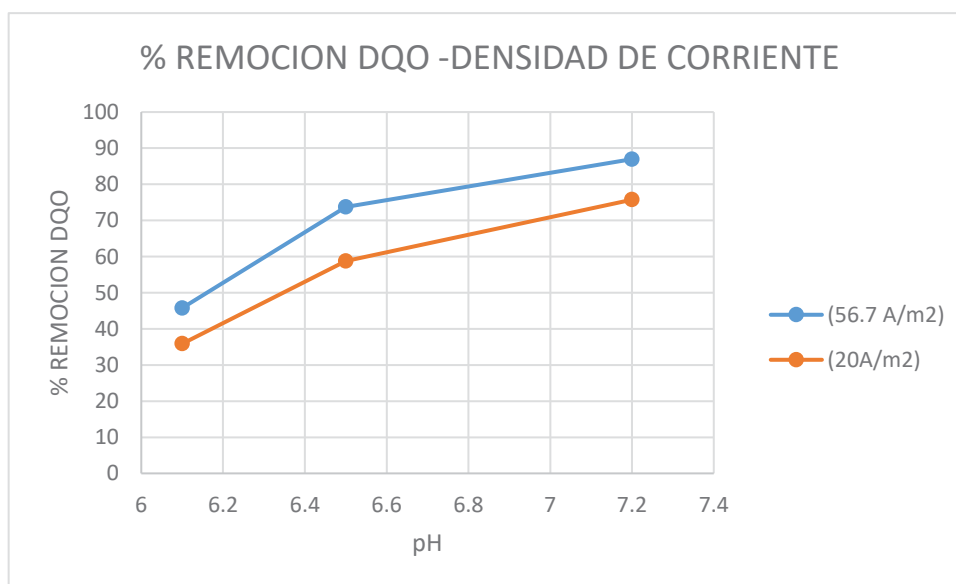
Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 8 se observa que el porcentaje de remoción de grasas y aceites varía de 27.17% a 74.81 % que es necesario para que reaccione toda la materia presente del lactosuero residual, y así cumpliendo nuestro objetivo principal a una densidad de 56.7 A/m² para el proceso de electrocoagulación.

Comparando con (Asselin & Drogui, Organics removal in oily bilgewater by electrocoagulation process, 2008), experimentó y analizó las aguas residuales de la sentina de petróleo a escala de laboratorio con electrodos de hierro y aluminio utilizando configuración bipolar (BP) y monopolar (MP). Utilizando condiciones óptimas, tratamiento de aguas residuales de sentina de petróleo mediante electrocoagulación, 93% de demanda bioquímica de oxígeno, 95,6% de aceite y grasa, 99,8% de sólidos suspendidos totales y 98,4% de turbidez.

4.5 INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE EN EL PORCENTAJE DE REMOCION DE LA DQO.

Gráfica 9: Porcentaje de remoción de DQO - Densidad de corriente.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 9 se presentan los efectos simples de pH en los dos valores de densidades de corriente evaluadas: $j_1=20 \text{ A/m}^2$, $j_2=56.7 \text{ A/m}^2$; de esta gráfica se deduce que el mejor porcentaje de remoción de DQO se obtiene a una densidad de corriente de 56.7 A/m^2 .

La densidad de corriente es el parámetro más importante para controlar la velocidad de reacción en el proceso de electrocoagulación porque determina la dosis de coagulante, ya sea en modo discontinuo o continuo. La cantidad de iones coagulados liberados desde el ánodo de sacrificio a la solución se ve directamente afectada por la densidad de corriente.

Los resultados de este estudio muestran que, con el aumento de la densidad de corriente, la eficiencia de eliminación de contaminantes aumentó. A medida que aumenta la carga, el resultado es una mayor floculación y una sedimentación más rápida de contaminantes, (Yetilmmezsoy, Ilhan, Sakar, & Hazard, 2014).

(Malakootian & Yousefi, 2011), mostró que el pH del agua residual aumentó durante el proceso de electrocoagulación y el pH aumentó más a mayor densidad de corriente. Este aumento depende de la actividad del ánodo y cátodo durante el proceso de electrocoagulación y está dominado por el cátodo. El aumento del pH se atribuye a la formación de gas hidrogeno y OH en el cátodo y la eliminación de DBO_5 , DQO, TSS aumentó con la densidad de corriente, alcanzando 97, 93, 81 y 84% de eliminación a $25 A/m^2$ con un tiempo de contacto de 50 min.

4.6 INFLUENCIA DE LA CONDUCTIVIDAD EN LA ELECTROCOAGULACIÓN DE LACTOSUERO.

Se observó una relación opuesta entre el tiempo de reacción y la conductividad de la muestra, a mayor tiempo disminuye la conductividad de la muestra tratada esto podría ser debido a la precipitación de los iones disueltos en el efluente. (ver tabla 19).

Como se observa en la gráfica 10 la variación de la conductividad se trabajó a un pH inicial de 6.1 y a distintos niveles de densidad de corriente y tiempo, obteniéndose la mayor disminución de ésta trabajando a la densidad de corriente de $56.7 A/m^2$.

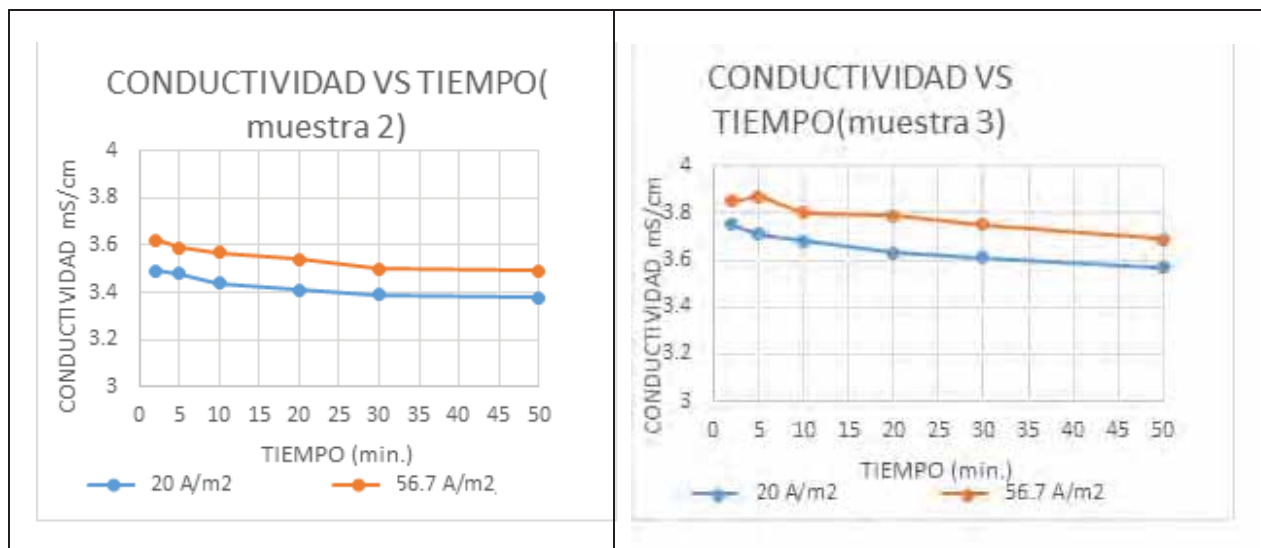
Tabla 19. *Tiempo respecto a la intensidad de corriente y conductividad de la “muestra 1, muestra 2 y muestra 3”.*

MUESTRA	Intensidad De corriente (A)	Tiempo (min)	Conductividad mS/cm
MUESTRA 1	1.2	2	3.69
		5	3.67
		10	3.66
		20	3.6
		30	3.59
		50	3.5
	3.4	2	3.64
		5	3.63
		10	3.62
		20	3.61
		30	3.59
		50	3.51

MUESTRA 2	1.2	2	3.49
		5	3.48
		10	3.44
		20	3.41
		30	3.39
		50	3.38
	3.4	2	3.62
		5	3.59
		10	3.57
		20	3.54
		30	3.5
		50	3.49
MUESTRA 3	1.2	2	3.75
		5	3.71
		10	3.68
		20	3.63
		30	3.61
		50	3.57
	3.4	2	3.85
		5	3.87
		10	3.8
		20	3.79
		30	3.75
		50	3.69

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 10: Conductividad eléctrica respecto al tiempo(min) y densidad de corriente A/m^2 (muestra 1, 2 y 3).



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Generalmente, la resistividad del electrodo es inversamente proporcional al área de la sección transversal. Un área de sección transversal más alta del electrodo proporciona una resistividad de electrodo más baja, por lo que la conductividad de la electricidad aumenta durante la reacción de electrocoagulación; así como se muestra en la gráfica 10.

4.7 INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LA ELECTROCOAGULACIÓN DE LACTOSUERO.

Un incremento de temperatura en el proceso de electrocoagulación lleva a la dispersión de los agregados formados durante el proceso.

A medida que pasaba el tiempo, se incrementaba la temperatura, porque el agua es a la misma vez conductora de electricidad y resistente a la electricidad, cuando hay resistencia al paso de los electrones, se genera incremento de la temperatura. (ver tabla 20).

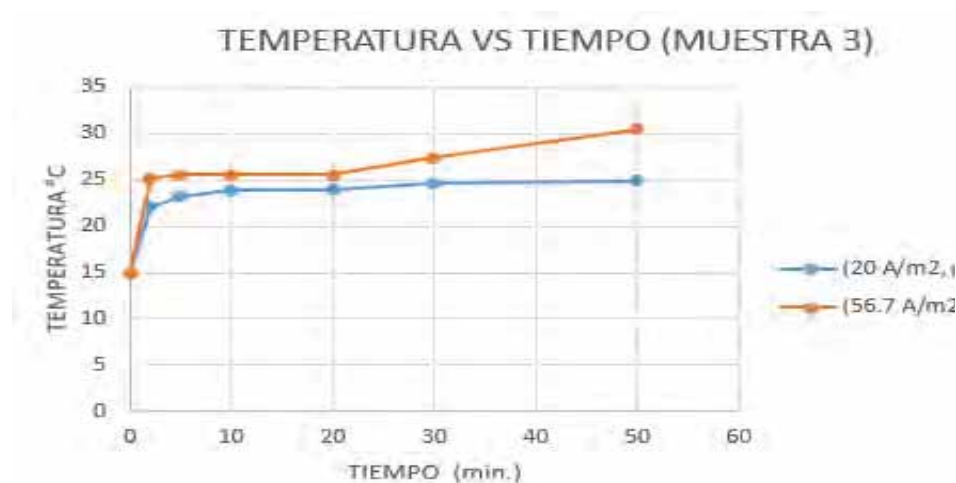
Estas mediciones se realizaron con las mejores condiciones de la tercera operación de la muestra 3.

Tabla 20. *Tiempo vs Temperatura.*

Intensidad de Corriente (A)		
Tiempo (min)	1.2 A	3.4 A
	Temperatura (C°)	Temperatura (C°)
0	15	15
2	22.1	25.2
5	23.21	25.54
10	23.87	25.6
20	24.01	25.6
30	24.6	27.4
50	24.9	30.5

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 11: *Temperatura vs tiempo.*



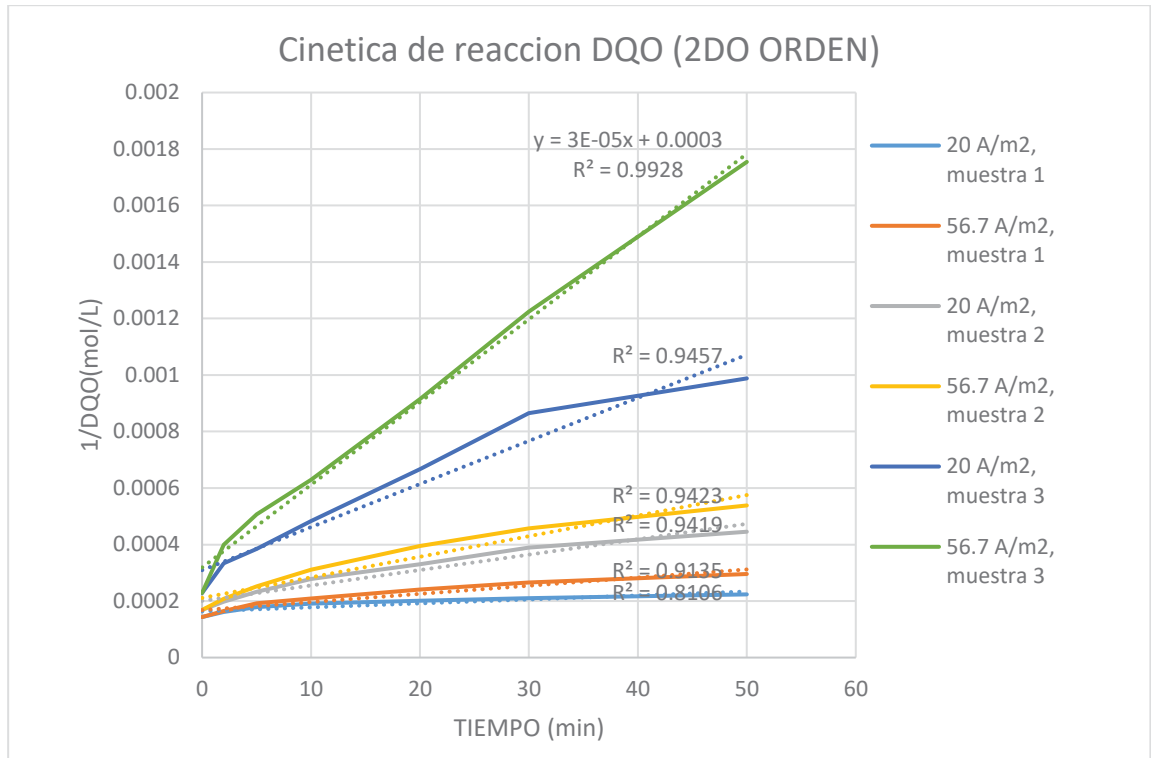
Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 11 se observa que la temperatura aumento en los tiempos de 20, 30 y 50 minutos de tratamiento, con esto se evidencia el paso de la corriente en la solución tratada también como la resistividad se opone al paso de la corriente, entonces genera liberación de calor. En términos globales: si la solución es poco conductiva, es más resistiva y por ende calentará más.

4.8 CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Los datos se ajustaron a un modelo, por medio de la asignación de la función que mejor se ajuste a una línea recta, determinando el orden de reacción a partir de la mejor correlación obtenida para los datos evaluados. La cinética de DQO que mejor se ajustó para la muestra de lactosuero fue de segundo orden, como se puede apreciar en la gráfica 12. A los 50 minutos se alcanzó una remoción **86.96 %**.

Gráfica 12: Cinética de reacción de segundo orden para la DQO del lactosuero.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Expresión:

$$-r_A = k_A C_A^2 \quad (\text{Ec. 18})$$

$$[k] = \text{dm}^3/\text{mol} \cdot \text{s}$$

$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt \quad (\text{Ec.19})$$

De la gráfica 12 se obtiene la constante de velocidad promedio de la corrida como se muestran los valores en el apéndice B, tabla 35. Obteniendo como resultado la ecuación cinética siguiente:

$$-r_A = 0.00003 C_A^2 \text{ (l/mol} \cdot \text{min.)} \quad (\text{Ec.20})$$

Ecuación promedio de la recta de ajuste del grafico 12.

$$y = 3 \times 10^{-5} X + 0.0003 \quad (\text{Ec.21})$$

Y: DQO (mg/L)

X: Tiempo(min.)

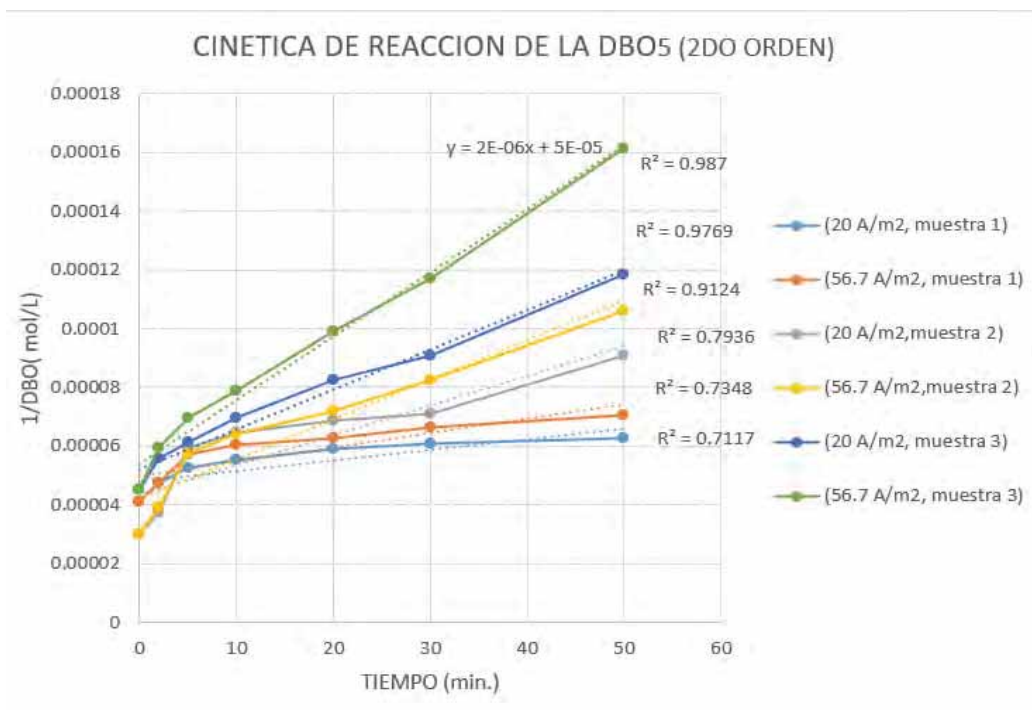
Teniendo en cuenta el promedio de la constante cinética de la reacción $3E-05$ (l/mol*min) de la ecuación 20, se puede deducir que, si la reacción mantiene el mismo comportamiento, el objetivo final fue reducir a 4370 mg/L de DQO. La DQO de lactosuero de la Empresa Ramírez se redujo hasta 570 mg/L con un porcentaje de remoción de 86.96 %.

4.8 CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5).

La cinética de DBO_5 que mejor se ajustó para la muestra del Lactosuero fue la de segundo orden, como se puede apreciar en el grafico 13.

Se muestra como a medida que transcurre el tiempo, se obtiene un mayor porcentaje de remoción de DBO_5 , con las mejores condiciones de operación. A los 50 minutos se alcanzó una remoción promedio 71.94 %, pero a medida que transcurre el tiempo de reacción se ve favorecida la eficiencia de remoción.

Gráfica 2: Cinética de reacción de segundo orden para la DBO_5 del lactosuero.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 13 se obtiene la constante de velocidad promedio de la corrida como se muestran los valores en el apéndice B, tabla 34. Obteniendo como resultado la ecuación cinética siguiente:

$$-r_A = 2E - 06 X C_A^2 \text{ (l/mol*min.)} \quad (\text{Ec.22})$$

Ecuación promedio de la recta de ajuste del grafico 13.

$$y = 2E-06 X + 5E-05 \quad (\text{Ec.23})$$

Y: DBO_5 (mg/l)

X: Tiempo(min)

Teniendo en cuenta el promedio de la constante cinética de la reacción $2E-06$ (l/mol*min) de la ecuación 22. La DBO_5 del lactosuero de la Empresa Ramírez se redujo hasta 6200 mg/L. con un porcentaje de remoción de 71.94%.

Tabla 21. Comparación de orden de reacción.

Autor	Contaminante	Método	K(l/mol.min)	Orden de reacción	Remoción
Elaboración Propia	Lactosuero Empresa Ramírez	Integral	3×10^{-5}	2(DQO)	86.96 %, 50 min
(Emamjomeh & Sivakumar, 2016)	Aguas Residuales del Matadero	Integral	2.04×10^{-4}	2(DQO)	93%, 50 min
(Thakur, Srivasta & Mall, 2009)	Efluente de biodigestor	Integral		2(DQO)	91%,70 min
(Cañizares, Martinez, Jimenez, 2008)	Efluente de Caolín	Integral		2(DQO)	61.6 %,15 min

Nota: Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- ❖ Se caracterizó fisicoquímicamente y microbiológicamente el efluente de la industria láctea “RAMIREZ”, comparándose con la norma legal del Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA de los Valores máximos admisibles para descargar al sistema de alcantarillado, obteniéndose resultados altos de contaminantes como la DBO_5 , TSS y AyG.
- ❖ Existe mayor influencia de la densidad de corriente sobre la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y Grasas y aceites para los cuales se tienen las mayores velocidades de remoción hasta los 50 min. Para Solidos Suspendidos Totales el tiempo requerido fue de 30 min.
- ❖ Los parámetros en la Electrocoagulación del lactosuero de la Empresa RAMIREZ se determinaron a una densidad de corriente de $56.7 A/m^2$, y en un tiempo de tratamiento de 50 minutos se obtienen los mejores porcentajes de remoción de la DQO de 86.96%, DBO_5 de 71.94%, ACEITES y GRASAS de 74.81% y TSS de 55.31% en un tiempo de 30 minutos.
- ❖ El tiempo de residencia para el proceso de electrocoagulación de aguas residuales de la empresa Ramírez es de 50 minutos.

RECOMENDACIONES

- ❖ En este proyecto de investigación la electrocoagulación se ensayó en reactores de régimen Batch, se sugiere que se experimente en otras configuraciones de reactores y regímenes de operación, ya que influyen fuertemente en el proceso de remoción de la carga contaminante del efluente.
- ❖ En la parte experimental se trabajó con electrodos de aluminio y acero inoxidable, se recomienda experimentar con otros materiales, y ensayar otros niveles de distanciamiento entre electrodos; ya que de optimizar este parámetro permitirá una mejor eficiencia y aprovechamiento de los electrodos.
- ❖ Evaluar la calidad y cantidad del lodo producido durante el proceso de electrocoagulación de lactosuero residual.

BIBLIOGRAFÍA

- Abaigar, L., & Humpire Coila, F. (2009). Lactosuero en la alimentacion del ganado porcino. *Depuracion de la Electrocoagulacion en el lactosuero*, 13-17.
- Acero, L. (2014). *Modelo ECR aplicado a la industria lactea*. Colombia: Universidad de la Sabana.
- Acribia, M. (2006). Reactor tipo filtro de prensa. *Biotechnologia Basica*.
- Agua, A. N. (2017). *Autoridad Nacional del agua - Gestion de calidad*. Lima-Peru: Ministerio de Agricultura y Riego.
- Aider, M., Melnikova, I., & Humpire Coila, F. (2007). *efecto del pH y timpo en la depuracion del lactosuero residual por electrocoagulacion*. Santa Fe- Argentina: Universidad Tecnologica Nacional Zeballos.
- Ali, A. (29 de Marzo de 2012). *Remocion de arsenico en agua potable a nivel domiciliar mediante oxidacion solar y coagulacion*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/2871200>
- Alvarez, F., & Zamora, M. (2015). Caracterizacion de los parametros de calidad del agua para disminuir la contaminacion durante el procesamiento de lacteos. *Agroindustrial Sciences*.
- AMBIENTAL, D. D. (2016). *“AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y PLANTA DE. CUSCO: MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ANTA*.
- Ambiental, O. d. (Abril de 2014). www.oefa.gob.pe.
- Ambiental, O. d. (2015). Organizacion d eEvaluacion Ambiental. *Planefa*.
- Amiot. (1991). *Sustancia liquida del lactosuero*.
- Amiot, J. (1991). *Ciencia y tecnologia de la leche: Principios y aplicaciones*. España: Acribia .
- Andia,c, Y., & Alcantarillado,S.D.A.P. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulacion- Floculacion. INn Tratamiento de Agua:coagulacion-floculacion*. Mexico: Sedapal.
- Animes, P. (2012). *Aplicacion de un proceso de electrocoagulacion con naranja G con electrodos de acero suave y aluminio*. Bogota.
- Apha. (2015). Standard Methods for the Examination of water an wastewater. *American Public Health Association*.
- APHA, A. (1995). Standard Methods for the Examination of Water and wastewater. *American Public Health Association. Washington*.
- Arango Ruiz, A., & Garces Giraldo, L. (18 de noviembre de 2009). *Influencia de la conductividad e la electrocoagulacion en la industria lactea*. Obtenido de Alvaro Arango Ruíz. e-mail:alarango@lasallista.edu.co.
- Arango Ruiz, A., Garces Giraldo, L., & Restrepo Mejia, A. (2012). *La electrocoagulacion: Retos y Oportunidades en el tratamiento de aguas*. Corporacion La Sallista.

- Arango, A., & Garces, L. (2007). Diseño de una celda de la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Universidad Eafit*, 43(147), 56-67.
- Arboleda Camacho, J., Herrera Lopez, P., & Peña Guzman, C. (2015). *Evaluación de un proceso de electrocoagulación en un reactor tipo batch para la remoción de cromo hexavalente (Cr+6) con electrodos de aluminio-aluminio y de hierro-aluminio en condiciones de laboratorio*. Bogotá.
- Arevalo Aranda, C. (2016). *Influencia de la densidad de corriente y tiempo de residencia en la reducción de arsénico de efluentes artificiales mediante el proceso electrocoagulación*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Arias-Hoyos, A., Hernandez Medina, J., Castro-Valencia, A., & Sanchez Peña, N. (2014). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio; uso del polvo de la semilla de la M. Oleífera como coagulante natural. *Biotechnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 29-39.
- Aristizabal, A., & Bermudez, M. (2007). *Estudio de factibilidad de un sistema de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de lavanderías industriales con fines de reúso*. Colombia -Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Arnaiz, C., Isac, L., & Lebrato, J. (2000). Tratamiento biológico de aguas residuales industriales. *Revista Tecnología del Agua*, 7P.
- Aroquiza, Q., & Marelin, V. (2018). Valores Máximos Admisibles. *VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN*, 13-21.
- Arslan, A., & Alaton, K. (2007). *Electrocoagulation of a real reactive dyebath effluent using aluminum and stainless steel electrodes*. Journal of Hazardous Materials.
- Arundel, J. (2002). *Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales*. Acribia S.A.
- Asselin, M., & Drogui, P. (2008). En *Organics removal in oily bilgewater by electrocoagulation process* (págs. 151, 446-455). J. Hazard. Mater.
- Asselin, M., Brar, S., & Benmoussa, H. (2008). Electrochemical removal of pollutants from agro-industry wastewaters. *Sep. Purif. Techno*.
- Barbosa Palomino, G. I. (2011). *Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Totorá –Ayacucho Empleando la Técnica de electrocoagulación*. Lima: Universidad Nacional del Perú.
- Barrechea, A. (15 de marzo de 2013). *Coagulación de tratamiento de agua para consumo humano*. Obtenido de <http://www.bvsatr/fulltext/tratamiento/manualt/tomo I/pdf>
- Barrera Diaz, C. (2014). *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales*. D.F. México: Reverte S.A.
- Bazrafshan, E., Moein, H., & Kord Mostafapour, F. (2013). Application of electrocoagulation process for dairy wastewater treatment. *Journal of Chemistry*, Vol.2013.
- Bernardo, H. (2013). Fundamentos de la elaboración de quesos. *ISSUU Agrícola*, 13-19.
- Bid, R. (2007). Recursos de nuevas corrientes. *Revista Española, EE.UU*, 23-29.

- Bukhari, A. (2008). Investigation of the electro-coagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater. *Bioresour. Technol.*
- Campins, M. (2010). Challenges in Central Asia Regional Cooperation. *Los retos de la cooperacion regional en Asia Central*, 15-19.
- Cañizares, C., Martinez, F., & Jimenez, C. (2008). Modeling of wastewater electrocoagulation processes: Part I. General description and application to kaolin-polluted wastewaters. *Separ. Purif. Tech.*
- Cañizares, P., & Saez, C. (2004). *Electrochemical treatment of 2,4-dinitrophenol aqueous wastes using boron-doped diamond anodes electrochimica*. EE.UU: Chemical Engineering.
- Casado, P. (1999). *Viejas Culturas Lacteas*. Cantabria: Universidad de Cantabria.
- Casado, P. (2006). *Guia Para el Análisis Químico de la Leche y los Derivados Lacteos*. Madrid: Ayala S.A.
- Castillo, M. (2001). *Prediccion del tiempo de corte en la elaboracion de queso mediante dispersion de radiacion de infrarrojo proximo*. Murcia: Universidad de Murcia. Departamento de tecnologia de alimentos, Nutricion y Bromatologia.
- Castro de Esparza, M. (1983). *Procedimientos simplificados de Analisis de Aguas Residuales*. Lima-Peru: CEPIS.
- Castro, J. (2005). *Federacion Panamericana de lecheria*. Revista virtual procesos industriales.
- Cavadrid, J. (2018). *EVALUACION DEL VETIVER(CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES) TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Buenos Aires.
- Celis, J. (2005). *Recientes aplicaciones de la depuracion de aguas residuales con plantas acuaticas*. Chile: Universidad del Bio Bio.
- Cervantes, F., Dos, A., & Van, J. (2007). Review paper on current technologies for the colourisation of textile wastewaters. *Bioresource technology*, 2369-2385.
- Chacon, F., & Huampotupa, K. (2019). Elaboracion propia. Cusco, Cusco, Peru.
- Chang, R. (2002). *Electroquimica en tratamientos de aguas residuales*. The Mc Graw- Hill Companies.
- Chavalparit, N., & Ongwandee, Y. (2014). *Diseño Box-Behnken de aguas residuales de Biodiesel*. Alemania.
- Chen, G. (2002). Investigation on the electrolysis voltage of Electrocoagulation. *Chemical Engineering Science*, 2449-2455.
- Chen, G. (2004). *Desestabilizantes de las particulas del agua residual*. Acribia S.A.
- Chimenez, A. (2006). Electrocoagulation : Retos y oportunidades en el tratamiento de aguas residuales. *P.T.*
- Collazos, C. (2000). *Biodegradabilidad anaerobia de efluentes cerveceros*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Tesis de Maestría.

- Comas, M. (2017). *Plan anual de evaluacion y fiscalizacion ambiental*. Lima: Planefa.
- Concha Reinoso, M. P. (2011). Plan de Gestión Ambiental para Producción Ecológica de Queso de la Quesería". *Queso Fresco Santa Isabel" Comunidad Santa Isabel, San Juan*.
- Conde, G. (2015). *Contaminacion del suelo y de las aguas subterranas*. Lima: Ingenieria y Gestion Ambiental.
- Cristancho, D., & Morales, N. (2010). Descripcion del Comportamiento de un prototipo para tratamiento electroquimico de aguas residuales industriales. *Academia y virtualidad. Universidad Militar Nueva Granada*, 125-136.
- del Castillo, F. (2008). *Principios de Electrodeposicion*. Guatemala: Universidad Cuautitlan.
- Delgadillo, J. (2011). *Aplicacion de Metodos electroquimicos en la remocion de materia organica en los jugos producto del beneficio del fique*. Departamento de Quimica. Union de Manizales.
- Derimel, B., & Yenigun, O. (2005). *Process Biochemistry*. Nueva Zelanda: universidad Militar Nueva Zelanda.
- Desphande, A., Satyanarayan, S., & Ramakant, S. (2010). *Treatment of high-strength pharmaceutical wastewater by electrocoagulation combined with anaerobic process*. Water Sci.Tech.
- Dockhmon, T. (2009). *Empirical evaluation of nutrient recovery wastewater treatment plant Gifhorn*. London: International Conference on Nutrient Recovery from wastewater Streams.
- Dragana I., T. (June 2016). Turbidez-Ciencia. *University of Novi Sad. Departament of Chemistry Biochemistry and Environmental Protection*.
- Drogui, P., & Arevalo Aranda, C. (2011). *Tecnologias avanzadas ene el tratamiento de aguas en electrocoagulacion en la remocion de arsenico en agua*. Chihuahua: Instituto tecnologico Superior de Cajeme.
- Drogui, P., Asselin, M., & Benmoussa, H. (2009). Electrochemical removal of organics and oil from sawmill and ship effluents. *Can. J. Civil. Eng.* .
- Echarri, L. (2007). *Poblacion, Ecologia y Ambiente*. Lima: Contaminacion del agua.
- Emamjomeh, D., & Sivakumar, A. (2016). *Electrocoagulacion de aguas residuales del matadero en un reactor monopolar*. Polonia.
- FAO. (2012). *Beneficios y riesgos potenciales del sistema de la lactoperoxidasa*. Italia: Roma,Italia.
- Federacion Nacional de la Industria Lactea, Sevilla-España. (2008). *Tratamiento de efluentes de una planta de lacteos*. España: <https://www.slideshare.net>.
- Fogler, H. (2008). *Elementos de Ingenieria de las Reacciones Quimicas*. R.F. Rivera Ed. Mexico: Pearson Educacion.

- Garces, L., & Arango, A. (2006). La electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Retos y oportunidades en el tratamiento de aguas.*, 238-247.
- García, E., Medina, I., & Huaquipaco, P. (2010). *Presencia de arsénico y coliformes en agua potable*. Mexico: Municipio de Tecuala.
- García, M., & Cabezal, L. (1994). *Ciclo hidrológico natural del agua*. Escuela Politécnica Superior.
- Ghosh, D., & Medhi, C. (2008). Treatment of fluoride containing drinking water by electrocoagulation using monopolar and bipolar electrode connections. *Chemosphere*.
- Gilpavas, R. (2005). *Cinética de Reacción*.
- Gómez, E. (2007). El reuso de aguas residuales para riego en un cultivo de maíz. *Ciencia y Producción Vegetal*.
- Grasmick, H. (2007). Separation of Pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation. *electrocoagulation*.
- Guerrero, J. R., & Ramírez, A. L. (2011). Caracterización del suero del queso blanco del combinado lácteo Santiago. *Tecnología Química*, 313-323.
- Guijarro, L. (2012). Problemas de circuitos en serie y paralelo. *IES Bahía de Algeiras*.
- Guohua, C. (2004). *Separation and purification technology*. Electrochemical technologies.
- Hamdani, M. (30 de Enero de 2017). *Efecto de PH y tiempo en la depuración de lactosuero residual por Electrocoagulación*. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu/edu/pe/hand/e/UNAP/3908>
- Hernández, J., & Marmelejo, Y. (2004). *Suero ácido*. Madrid: Instituto de Ingeniería UNAM.
- Holt, P., & Barton, G. (2002). *A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation*. Physicochemical and Engineering Aspects.
- Homsí, J., & Cárdenas, F. (2006). *caracterización de los sistemas de tratamiento de riles en la industria lechera y propuestas de mejora*. Chile: Induambiente . Universidad Austral de Chile.
- Horwitz, W. (2010). *Official Methods of Analysis of AOAC international*. The Scientific Association Dedicated to Analytical Excellence.
- Huaycani, C. (2012). *Procesos químicos de aguas residuales*. Puno: Universidad de Sevilla.
- Huerga, E. (2005). *Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de tecnologías limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes*. Valencia: Universidad de Valencia. Departamento de Biología Funcional y Antropología.
- INEN, I. E. (2011). SUERO DE LECHE LIQUIDO. *Norma Técnica Ecuatoriana*.
- Instruments, H. (2008). *Demanda química de oxígeno y materia orgánica*. Argentina.

- Jaramillo, R., & Maldonado, C. (2014). *Implementacion de una maquina de soldadura por un arco electrico para los talleres de electromecanica*. Huaquillas: Colegio de Bachillerato.
- Jelen, K., & Humpire Coila, F. (1992). *Composicion Quimica del Lactosuero*. Puno: Universidad Tecnologica Nacional del Altiplano.
- Khataee, A. (2001). Decolorization of C.I. Acid Blue 9 solution by UV/Nano-TiO₂, Fenton, Fenton - like and electrocoagulation processes. *J.Hazard Mater*, 161,1225 - 1233.
- Koby, M., Taner, O., & Bayramoglu, M. (2003). Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 163-178.
- Koparal, J. (2012). *Densidad de corriente en el proceso de electrocoagulation*. Mexico: CEPIS.
- Larue, M. (2015). *Propuesta de un sistema de tratamiento para la reutilizacion de aguas residuales generadas en el servicio del lavado del concesionario*. Chiclayo: Universidad Catolica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Lavorante, M., Chantrill, C., & Huaquipaco, P. (2010). *Eliminacion electroquimica de Arsenico para el tratamiento de agua de consumo*. Buenos Aires: Aya S.A.
- Levenspiel, O. (2010). *Ingeniería de las reacciones químicas*. Reverte.
- Linares Hernandez, I., Barrera Diaz, C., Bilyeu, B., & Juarez, P. (2010). A combined electrocoagulation–electrooxidation treatment for industrial wastewater. *J. Hazard. Mater.*
- Liviac Calderon, D. (2013). Aplicacion del reactor anaerobico de flujo de ascendente en manto de lodos al tratamiento del suero de queso a escala laboratorio. *Universidad Nacional Agraria la Molina.Facultad de ciencias.Lima*, P10 L5-T.
- LMP. (2010). limites Maximos Permisibles. *Productos Lacteos Microbiologicos*.
- Loayza Morales, C. A., Riccio Yauri, L. F., & Reyes Cortez, M. (2013). Tratamiento de Agua Residuales Textiles Laneras Industriales mediante coagulation a nivel de Laboratorio F.J.Q.U.N.C.P. *Diseño de HCL y su tratamiento en aguas residuales*.
- Luquet, A. (2015). *Generadores de la industria lactea*. Puno: Universidad de la Sabana.
- Machaca, A., & Porto Huaquipaco, H. (2010). Reduccion de la turbidez por electrocoagulation. *Evaluacion de la Remocion del Arsemico por Electrocuagulation de Aguas Mineras*, 27.
- Maghanga, J. (2009). *Electrocoagulation method for colour removal in tea effluent*. a case study of Chemomi tea factory in rift valley, Kenya. *Bulletin of the chemical society of Ethiopia*.
- Malakootian, M., & Yousefi, N. (2011). Examine la eficiencia de la electrocoagulación en la eliminación de nitrato de la solución acuosa. *J.Environ.Sci.Tech*.
- Mantel, A. (2004). Primera ley de faraday. *Tecnologia Quimica*, 30.
- Marsilli, A. (2005). Tratamiento de Aguas residuales. *Revista de Arquitectura e Ingeneiria*, 69.

- Mayta, J., & Huaquipaco, P. (2012). Remocion de cromo en aguas residuales. *Revista de la Sociedad Quimica del Peru*, 27-28.
- Megias Rivas, M. (1978). *Parametros de contaminacion en efluentes de ensilados*. Vegas,Caracas: The Mc. Graw.
- Mehmet, F. (2005). *Factores que afectan el proceso de electrocoagulacion* . Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Melchiors, M., Piovesan, M., Beceгато, V., Beceгато, V., Tambourgi, E., & Paulino, A. (2016). Treatment of wastewater from the dairy industry using electroflocculation and whey recovery. *Journal of environmental management*, 182, 574 - 580.
- Mendieta, C. (2013). *Quimica General- Celdas Electroquimicas*. Lima - Peru: Universidad Catolica del Peru.
- Merzouk, C. (2015). *Electrocoagulacion de aguas residuales sinteticas textiles con electrodos de aluminio*. Peru- Huancayo.
- Metcalf, E. (1977). *Tratamiento y depuracion de aguas residuales*. Barcelona: Labor.S.A.
- Metcalf, E. (1977). *Tratamiento y depuracion de aguas residuales*. Barcelona: Labor S.A. Barcelona.
- MINAM. (31 de 05 de 2004). D.S. N°044-98 PCM. *Sistema Peruano de Informacion Juridica*, pág. 1;2;3.
- MINAM. (2008). Normativas de la calidad del agua. *D.S. N°002*.
- MINAM, D. N. (2010). Ley General del Ambiente. *Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas y Municipales*.
- Ministerio de Energia y Minas. (Marzo de 1997). *Resolucion Directoral N° 008*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles>
- Ministerio de la Produccion. (Octubre de 2002). *DS N°003- Limites Maximos Permisibles*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles>
- Ministerio de la Produccion. (Mayo de 2008). *DS N°037- Limites Maximos Permisibles*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles>
- Ministerio del Ambiente. (22 de Noviembre de 2009). *DS N°021 Valores Maximos Abmisibles*.
- Ministerio del Ambiente. (Marzo de 2010). *DS N° 003-Limites Maximos Permisibles*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles>
- Ministerio del Ambiente. (Agosto de 2010). *DS N° 010 Limites Maximos Permisibles*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles>
- Ministerio del Ambiente. (Setiembre de 2018). *DS N°010 Limites Maximos Permisibles*. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles>
- Mohammad, M., & Piña, S. (2011). Revision de variables de diseño y condiciones de operacion de electrocoagulacion. *Revista Mexicana de Ingenieria Quimica*, 257- 271.

- Mollah, H., & Humpire, F. (2010). *Reactor electroquimico de una celda electroquimica*. Puno.
- Morales, F. (2015). *Situacion Problematica en torno al agua residual*. Puno: Universidad del Altiplano.
- Morante, C. (2002). *Influencia en la densidad de corriente y tiempo de residencia en la reduccion del arsenico mediante el proceso de la electrofloculacion*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Mujica, M. d. (2019). *Servicios en analisis de agua de alimentos y monitoreo ambiental*. Cusco: LAASA LAB.
- Murillo, C. (2016). *Agua Residual Industrial generada por procesos de cromato*. Argentina.
- Nemerow, D. (2006). *Composicion de la demanda quimica de oxigeno*. Labor S.A.
- Normalizacion, I. E. (2011). *Suero de Leche Liquido*. Quito - Ecuador: Norma Tecnica Ecuatoriana NTE INEN 2594.
- Norusis, M. (1999). *SPSS for Windows*. Professional Statistics Release.
- Ocaña, J. (2011). *Biodigestor Anaerobico de Laboratorio. (doctoral dissertation, tesis de grado)*. España: Escuela Politecnica Superior de la Universidad Carlos tercero de Madrid.
- Ocde, M. (2016). Evaluacion de desempeño Ambiental. *Naciones Unidas*.
- Ocola, J., & Laqui, W. (2017). Fuentes contaminantes en la cuenca del lago Titicaca. *Ministerio de Agricultura y Riego*.
- Olmez Mercado, I., Gonzales Silva, G., & Valencia Hurtado, S. (2013). Renoval of nickel and cod present in wastewaters from automotive industry by electrocoagulation. *Revista EIA.*, 13-21.
- Olsen, E. (1986). *Medicion de la turbidez en la calidad del agua*. Ecuador: Instituto tecnologico Superior.
- Orozco, A. (2015). *Estudios sobre la influencia sobre la esfericidad de las particulas de lecho fluidizado trifasico*. Medellin: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Orozco, Z. (2006). *Depuracion biotecnologica del suero lacteo empleando un sistema continuo mixto*. Universidad Tecnologica de la Mixteca.
- Paredes, J., & Ramos, R. (2014). Reactores discontinuos secuenciales: Una tecnologia versatil en el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingenieria Neogranadina.*, 24(1),8.
- Peña, S., & Garcia, J. (2015). *Analisis de la electrocoagulation como tecnologia eficiente para los tratamientos de agua residuales en la industria textil*. Bogota: Universidad de la Sabana.
- Perez Prado, J. L., & Rodriguez Flores, R. (2018). *remocion de la DQO y DBO del lactosuero Acido mediante la celda de electrocoagulation*. Huancayo.
- Perez, J., & Humpire Coila, F. (2015). *Tratamiento de aguas residuales de la Industria textil mediante procesos electroquimicos*. Quito: Facultad de Ingenieria Qumica.

- Pintado, P. (2012). *Elaboracion de manjar utilizando suero de queseria a diferentes niveles como sustituto de la leche en el canton*. Pastaza - Ecuador: Puyo.
- Poma Javier, J., & Quispe Sanca, P. (2016). *Remocion de contaminantes de aguas residuales urbanas por el metodo de electrocoagulacion*. Huancayo.
- Prieto, F. (2012). *Tiempo de residencia en los procesos de coagulacion*. Puno: Universidad Nacional del Centro del Peru.
- Ramalho, K., & Cardenas, F. (1996). *Determinacion de la factibilidad de utilizar sistemas de lodos activados para la depuracion de aguas residuales*. Quito: Universidad Politecnica Salesiana.
- Ramirez, C. (2012). *Produccion de Queso*. Cusco.
- Ramirez, V. (2009). *produccion de queso en la industria lactea*. Celarayn .Leon .
- Ramon, G. (2016). *Diseños experimentales Apuntes de clase del curso Seminario*. Investigativo VI.
- Riera, J., Sancedo, R., & Lopez, P. (2004). *Quimica y Bioquimica de los elementos*. Universidad de Barcelona.
- Rift Vallery, C. (2010). *Electrocoagulacion de pigmentos de color de te de fenol oxidado que fueron ionizados de hierro*. Buenos Aires.
- Rodriguez, C., & Morales, Y. (2013). Aguas residuales y sus consecuencias en el Peru. *Facultad de la USIL*, 09-25.
- Romero , T., Santiso, P., & Gonzales, O. (2014). Caracterizacion de Aguas Residuales de la Empresa Procesadora de Alimentos PRODAL. *INGENIERIA HIGRAULICA Y AMBIENTAL*,25(3), 88-100.
- Sandoval, M. (2007). *Tratamiento de aguas residuales*. Lima: Evaluacion del desempeño de humedales.
- Saravanan. (2015). *Acid blue 113 con electrocoagulacion de concentraciones de electrolitos*. Colombia.
- Sciences, U. o. (July 2012). Kinetic study of slaugh terhouse waste water treatment by electrocoagulation using Fe electrodes. *Waster Science & Technology*.
- Scott, C. (1979). Electroquimica. *Revista de quimica teorica Aplicada*, 26-34.
- Scott, H. (2016). *Elementos de Ingenieria de las Reacciones Quimicas*. States United: Prentice Hall.
- Shafaei, A. (2010). Removal of Mn⁺² ions from sythetic wastewater by electrocoagulation process. *Desalination*, Vol. 260, n° 1-3, p. 2328.
- Siawa, F. (2000). *Celda de electrofloculacion*. El Salvador: Universidad del Salvador.
- Tetra Park Processing System. (2012). *Composicion del Lactosuero*. Peru.

- Thakur, C., Srivastava, V., & Mall, I. (2009). Electrochemical treatment of a distillery wastewater: Parametric and residue disposal study. *Chem. Eng. J.*
- Torabiana, J. (2000). *Remocion de fluoruro de las aguas residuales*. Chihuahua: Instituto tecnologico superior de Cajeme.
- Veisseyre, R. (1988). *Lactologia Tecnica*. Argentina, pag. 186-189: 3era. Acribia S.A.
- Villena, J. (2003). Fuente de agua y contaminacion fisicoquimica. *Academia Nacional de Medicina*.
- VIVIENDA, M. D. (2009). Valores maximos admisibles. (págs. 10-15). PERU: VMA de las descargas de aguas residuales no Domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario D.S. N°021 - 2009.
- Vymazal, C. (2010). *Diseño e implementacion de una planta piloto para el tratamiento de efluentes liquidos generados en los laboratorios*. Quito: Escuela Politecnica Nacional .
- Yetilmezsoy, K., Ilhan, F., Sakar, S., & Hazard, J. (2014). Descolorización y reducción de DQO de las aguas residuales de estiércol de aves de corral pretratadas por UASB mediante un proceso de electrocoagulación: un estudio posterior al tratamiento. *J.Hazard Mater.*
- Yilmaz, F. (2008). *Selecion de electrodos en un proceso de electrocoagulacion*. Puno: Tratamiento de aguas residuales.
- Yousuf, C. (2001). Formacion dle hidroxido ferrico. *Journal of Engineering and technology*, 10-19.
- Zaroual Cañizares, P., Martinez, F., & Saez , C. (2009). La electrocoagulacion una alternativa al proceso convencional de coagulacion de aguas residuales. *Afinidad* 66, 539.
- Zhu, e. (2013). *Electrocoagulacion de aguas residuales de campos petroleros*. Argentina.
- Zumdahl, J., & Burgos, A. (2000). *Ficha tecnica de procesos unitarios de plantas de tratamiento de efluentes liquidos*. Brasil: Universidad de Oruña.

APENDICE

APENDICE A

A.1. TOMA DE MUESTRAS DEL LACTOSUERO PARA SU CARACTERIZACION DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.

En la imagen 1 y 2 se tomó las muestras que se realizó de acuerdo al protocolo de monitoreo ambiental de efluentes líquidos (APHA, 2005) ANEXO A.



Imagen 1: Toma de muestras de la Industria Láctea



Imagen 2: lactosuero

En la imagen 3 se muestra los instrumentos para la lectura de los parámetros en campo al momento de tomar las muestras según el Protocolo de monitoreo ambiental de efluentes líquidos (APHA, 2005) ANEXO A.

Se observa en la imagen 4 las muestras del lactosuero así mismo el rotulado de frasco. El lactosuero siempre se recolectó en horas de la mañana y su utilización fue inmediata.



Fotografía 3: *Caracterización del lactosuero*



Imagen 4: *Muestra de lactosuero*

Tabla 22. Etiqueta del rotulado de frasco para toma de muestras.

ETIQUETA DE MUESTREO DEL LACTOSUERO		
CÓDIGO: A-1	FECHA: 19/ 12/2019	HORA: 9:30 a.m.
LUGAR: Industria Láctea Ramírez		
TIPO DE MUESTRA: lactosuero	TEMPERATURA (°C): 15	
CONDUCTIVIDAD (mS/cm): 3.583	pH: 6.2	
RESPONSABLES: Fany Marcia Chacón Bacilio y Cinthia Karen Huampotupa Champi		

Nota: Fuente: Elaboración propia.

A.2. IMÁGENES DEL LACTOSUERO ANTES, DURANTE Y DESPUES DEL TRATAMIENTO POR ELECTROCOAGULACIÓN.

En la imagen 5 al ser conectado a la fuente de poder automáticamente se forma burbujas y se forma una nata en la superficie de la celda. En la imagen 6 y 7 se observa el lactosuero que está siendo tratado, generándose una gran cantidad de espuma de lodos durante la electrocoagulación del lactosuero; en la imagen 7 se observa el lactosuero tratado (con una coloración clara).



Imagen 5: *Lactosuero inicial*

Imagen 6: *Lactosuero en Tratamiento*

Imagen 7: *lactosuero final*

Tabla 23. *Intensidad y Tiempo.*

VARIABLES INDEPENDIENTES	NIVELES					
	Intensidad de corriente (A)	1.2	3.4	-	-	-
Tiempo (min) (cinetica)	2	5	10	20	30	50

Nota: Fuente: Elaboración propia.



Imagen 8: *Muestras de lactosuero tratados con respecto al tiempo y a diferentes intensidades de corriente*

En la imagen 8 se muestra el lactosuero tratado a diferentes tiempos observándose la aclaración de color según el tiempo.

Acero
Inoxidable
Aluminio



Imagen 9: *Electrodos de aluminio y de acero inoxidable antes del tratamiento.*

Imagen 10: *Electrodos de aluminio y de acero después del tratamiento*

En las imágenes 9 y 10 se muestra las placas antes y después del tratamiento, donde se puede ver las placas de aluminio con un desgaste y las placas de acero intactas.

En su forma más simple de un reactor de electrocoagulación cuando se conectan a una fuente de poder, el material del que está hecho el ánodo se corroe electroquímicamente debido a la oxidación, mientras que el cátodo es sujeto de pasivación,; (Arango Ruiz, Garces Giraldo, & Restrepo Mejia, 2012); (Acero, 2014).

A.3. IMAGENES DEL ARMADO DE LA CELDA, TOMA DE MUESTRAS, OPERACIÓN, ANÁLISIS DE DBO₅, DQO Y TSS.



Imagen 11: *Celda con electrodos separados a 1cm.*



Imagen 12: Pruebas preliminares con agua residual y lactosuero.



Imagen 13: Operación del sistema de electrocoagulación del lactosuero



Imagen 14: Toma de temperatura en la electrocoagulación



Imagen 15: Electrocoagulación a 1.2 A y 50 min



Imagen 16: Electrocoagulación a 3.4 A y 50 min



Imagen 17: *Medición de pH del lactosuero con el pH metro.*



Imagen 18: *Medición de la conductividad en la Electrocoagulación.*



Imagen 19: *Placas de aluminio y acero Inoxidable después del tratamiento.*



Imagen 20: *lactosuero inicial y lactosuero después de la electrocoagulación.*



Imagen 21: *Filtros con muestras para los TSS*



Imagen 22: *Filtros en el desecador para su Posterior peso*



Imagen 23: *Peso de filtros en la balanza.*



Imagen 24: *Picnómetro para aceites y grasas.*



Imagen 25: *Muestras de lactosuero en la incubación para la obtención de la DBO₅*



Imagen 26: *Viales con reactivos para DQO.*

Imagen 27: *Reactor HI 839800 para viales con 2ml de lactosuero.*



Imagen 28: *Fotómetro Multiparámetro Completo con DQO. Modelo HI83099 Marca: HANNA INSTRUMENTS. DQO: 570 mg/L.*

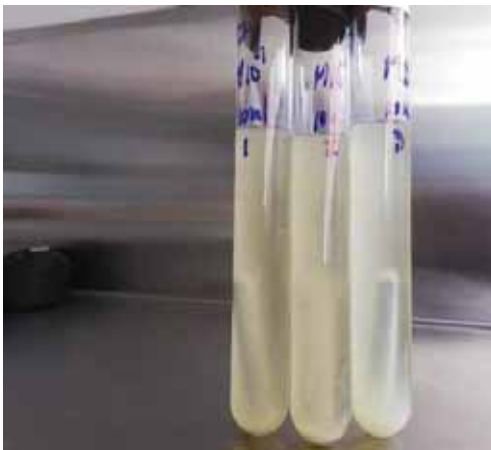


Imagen 29: *Muestras de lactosuero para su análisis microbiológico.*



Imagen 30: *Muestras microbiológicas para su respectivo análisis.*

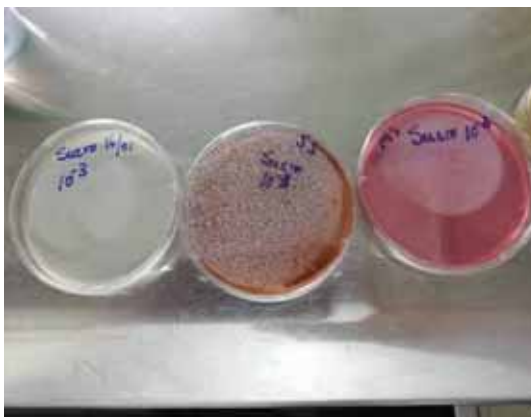


Imagen 31: *Análisis microbiológico recuento de levaduras UFC/mL del lactosuero*



Imagen 32: *Recuento de Salmonella sp UFC/mL del lactosuero.*



Imagen 33: Recuento de mohos UFC/mL del Lactosuero.

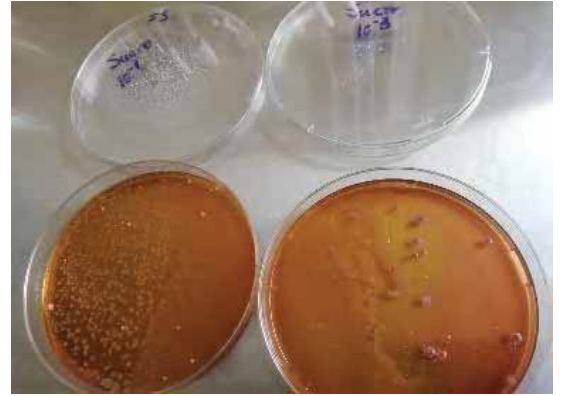


Imagen 34: Coliformes /mL (44.5 °C) del Lactosuero.



Imagen 35: Numeración microorganismos Aerobios Mesófilos UFC/ml.



Imagen 36: Lactosuero para coliformes totales.

APENDICE B

B.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL LACTOSUERO TRATADAS MEDIANTE ELECTROCOAGLACION A DIFERENTES DENSIDADES Y TIEMPOS.

Tabla 24. Resultados Experimentales para 20 A/m², 1.2 A y 5 minutos.

En la tabla 24 se muestran los resultados de lactosuero de la Empresa Ramírez tratadas a 20 A/m², 1.2 A y 5 minutos.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	Unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	21.01	19.50	23.21
DBO ₅	mg/L	19017	16800	16300
DQO	mg/L	5600	3800	2600
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	3.67	3.48	3.71
SOLIDOS TOTALES	mg/L	6099.34	5971.81	6145.17
ACEITES Y GRASAS	mg/L	856.6	589.3	289.2

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Resultados Experimentales para 20 A/m², 1.2 A y 10 minutos.

En la tabla 25 se muestran los resultados de lactosuero de la Empresa Ramírez tratadas a 20 A/m², 1.2 A y 10 minutos.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	Unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	21.9	19.67	23.87
DBO ₅	mg/L	18000	15490	14350
DQO	mg/L	5230	2835	2070
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	3.66	3.44	3.68
SOLIDOS TOTALES	mg/L	5978.9	5798.39	5976.99
ACEITES Y GRASAS	mg/L	799.1	564.5	178.9

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Resultados Experimentales para 20 A/m² , 1.2 A y 20 minutos.

En la tabla 26 se muestran los resultados de lactosuero de la Empresa Ramírez tratadas a 20 A/m², 1.2 A y 20 minutos.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	Unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	22.6	19.8	24.01
DBO ₅	mg/L	16987	14532	12147
DQO	mg/L	4961	2765	1700
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	3.679	3.41	3.63
SOLIDOS TOTALES	mg/L	5678.3	5432.8	5762.1
ACEITES Y GRASAS	mg/L	785.4	504.8	266.9

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Resultados Experimentales para 20 A/m², 1.2 A y 30 minutos.

En la tabla 27 se muestran los resultados de lactosuero de la Empresa Ramírez tratadas a 20 A/m², 1.2 A y 30 minutos.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	Unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	22.9	20.00	24.6
DBO ₅	m/L	16465	14123	10985
DQO	mg/L	4748	2569	1456
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	3.59	3.39	3.61
SOLIDOS TOTALES	mg/L	5673.2	5123.1	5548.76
ACEITES Y GRASAS	mg/L	745.1	496.8	250.6

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Resultados Experimentales para 20 A/m², 1.2 A y 50 minutos.

En la tabla 28 se muestran los resultados de lactosuero de la Empresa Ramírez tratadas a 20 A/m², 1.2 A y 50 minutos.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	Unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	23.00	20.03	24.9
DBO ₅	mg/L	15993	11007	8435
DQO	mg/L	4470	2445	1060
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	3.5	3.38	3.57
SOLIDOS TOTALES	mg/L	5534.1	4563	5423.16
ACEITES Y GRASAS	mg/L	727.3	423.7	245.9

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Resultados Experimentales para 56.7 A/m², 3.4 A y 2 minutos.

En la tabla 29 se muestran los resultados de lactosuero de la Empresa Ramírez tratadas a 56.7 A/m², 3.4 A y 2 minutos.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	Unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	23.9	20.09	25.2
DBO ₅	mg/L	21000	25610	16850
DQO	mg/L	6050	4800	2500
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	3.64	3.62	3.85
SOLIDOS TOTALES	mg/L	6089.09	5123.7	5671.87
ACEITES Y GRASAS	mg/L	701,3	489.1	321.3

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Resultados Experimentales para 56.7 A/m², 3.4 A y 5 minutos

En la tabla 30 se muestran los resultados de lactosuero de la Empresa Ramírez tratadas a 56.7 A/m², 3.4 A y 5 minutos.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	Unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	23.9	20.1	25.54
DBO ₅	mg/L	17498	17350	14320
DQO	mg/L	5200	3550	1973
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	3.63	3.59	3.87
SOLIDOS TOTALES	mg/L	5991.98	4899.32	5347.1
ACEITES Y GRASAS	mg/L	681.5	437.0	298.4

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Resultados Experimentales para 56.7 A/m², 3.4 A y 10 minutos.

En la tabla 31 se muestran los resultados de lactosuero de la Empresa Ramírez tratadas a 56.7 A/m², 3.4 A y 10 minutos.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	Unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	24.00	20.3	25.6
DBO ₅	mg/L	16500	15600	12650
DQO	mg/L	4970	2396	1590
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	3.62	3.57	3.8
SOLIDOS TOTALES	mg/L	5798.53	4789.45	5012.4
ACEITES Y GRASAS	mg/L	678.3	401.1	278.2

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. *Resultados Experimentales para 56.7 A/m², 3.4 A y 20 minutos*

En la tabla 32 se muestran los resultados de lactosuero de la Empresa Ramírez tratadas a 56.7 A/m², 3.4 A y 20 minutos.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	Unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	24.6	21.8	27.4
DBO ₅	mg/L	15978	13860	10107
DQO	mg/L	4560	2134	1093
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	3.61	3.54	3.693
SOLIDOS TOTALES	mg/L	5342.71	4321.8	4976.18
ACEITES Y GRASAS	mg/L	643.4	386.1	256.2

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. *Resultados Experimentales para 56.7 A/m², 3.4 A y 30 minutos.*

En la tabla 33 se muestran los resultados de lactosuero de la Empresa Ramírez tratadas a 56.7 A/m², 3.4 A y 30 minutos.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
pH	Unidad	6.1	6.5	7.2
TEMPERATURA	°C	25.3	22.7	30.5
DBO ₅	mg/L	15014	12100	8549
DQO	mg/L	3960	1976	817
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/cm	3.59	3.5	3.79
SOLIDOS TOTALES	mg/L	4721.81	3929	4854.1
ACEITES Y GRASAS	mg/L	637.3	372.9	236.7

Nota: Fuente: Elaboración propia.

B.2. DETERMINACIÓN CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5) Y DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).

En el APENDICE B.1. Se determinó el orden de reacción para la DBO_5 y DQO.

Así mismo se hicieron evaluaciones del comportamiento de la cinético de degradación de la DBO_5 y DQO para una reacción de primer orden y segundo orden (ver APENDICE B.2.)

B.2.1. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5) PARA SEGUNDO ORDEN DE REACCIÓN.

Expresión:

$$-r_A = k_A C_A^2 \quad (\text{Ec. 18})$$

$$[k] = \text{dm}^3 / \text{mol} * \text{S}$$

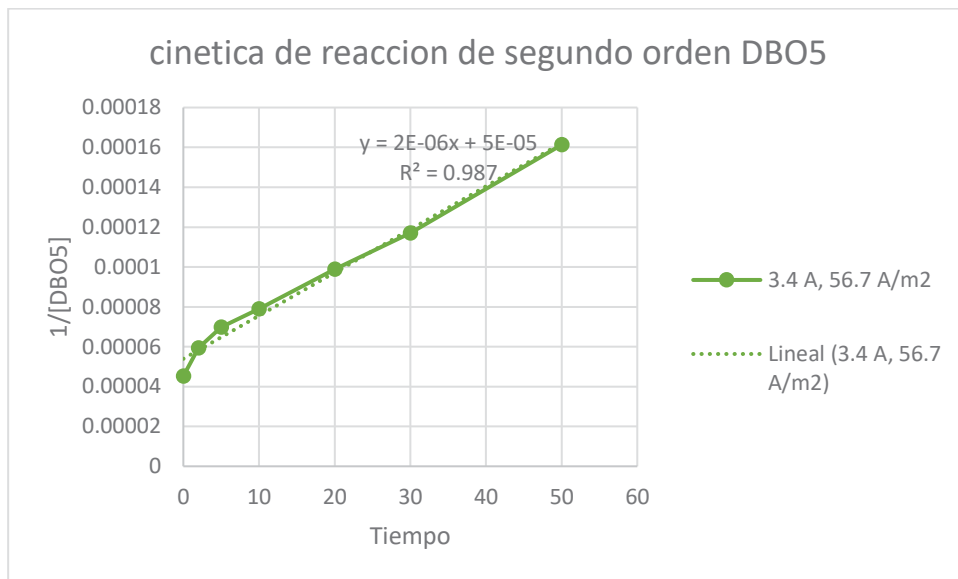
$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt \quad (\text{Ec.19})$$

Tabla 34. Cálculos para obtención de la constante de equilibrio K y segundo orden de reacción de la DBO_5 .

t (min)	$[DBO_5]$ (mg/L)	$1/[DBO_5]$ (L/mol)	K (L/mol.min)	K(dm ³ /mol.s)
0	22100	4.52489E-05	2.16347E-06	3.60579E-08
2	16850	5.93472E-05		
5	14320	6.98324E-05		
10	12650	7.90514E-05		
20	10107	9.89413E-05		
30	8549	0.000116973		
50	6200	0.00016129		

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 14: Relación de concentración con respecto al tiempo segundo orden de la DBO_5 .



Nota: Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 14 se obtiene la constante de velocidad

Obteniendo como resultado la ecuación cinética siguiente:

$$-r_A = 0.0198C_A^2 \text{ (l/mol*min)} \quad \text{Ec.22}$$

Al graficar $1/[A]_0$ en función al tiempo, se obtiene una línea recta por lo tanto la cinética de reacción es de segundo orden.

B.2.2. CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) PARA UN SEGUNDO ORDEN DE REACCIÓN.

Expresión:

$$-r_A = k_A C_A^2 \quad \text{(Ec. 18)}$$

$$[k] = \text{dm}^3 / \text{mol} * \text{S}$$

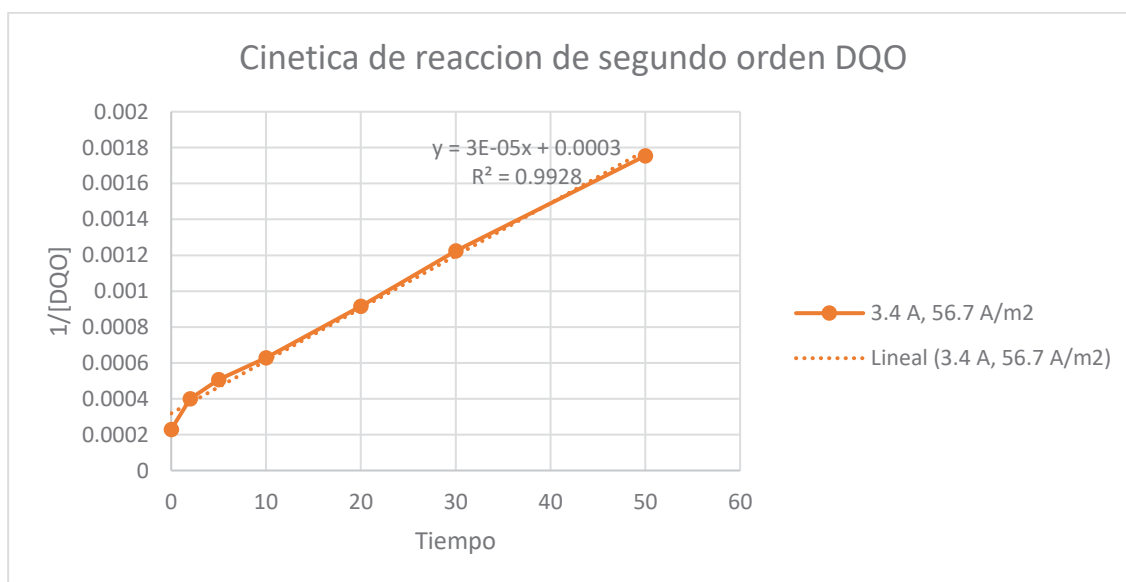
$$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt \quad \text{(Ec.19)}$$

Tabla 35. Cálculos para obtención de la constante de equilibrio K y segundo orden de reacción de la DQO.

t (min)	[DQO](mg/L)	1/[DQO](L/mol)	K (L/mol.min)	K(dm ³ /mol.s)
0	4370	0.00022883	3E-05	4.88E-07
2	2500	0.0004		
3	1973	0.00050684		
10	1590	0.00062893		
20	1093	0.00091491		
30	817	0.00122399		
50	570	0.00175439		

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 15: Relación de concentración con respecto al tiempo de la DQO de segundo orden.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 15 se obtiene la constante de velocidad

Obteniendo como resultado la ecuación cinética siguiente:

$$-r_A = 3E - 05C_A^2 \text{ (l/mol*min)} \quad (\text{Ec.20})$$

Al graficar $1/[A]_0$ en función al tiempo, se obtiene una línea recta por lo tanto la cinética de reacción es de segundo orden.

B.2.3 CINÉTICA DE DEGRADACIÓN PARA LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5) PARA UNA REACCIÓN DE PRIMER ORDEN

Expresión:

$$-r_A = k_A C_A \quad (\text{Ec. 24})$$

$$[k] = 1/s$$

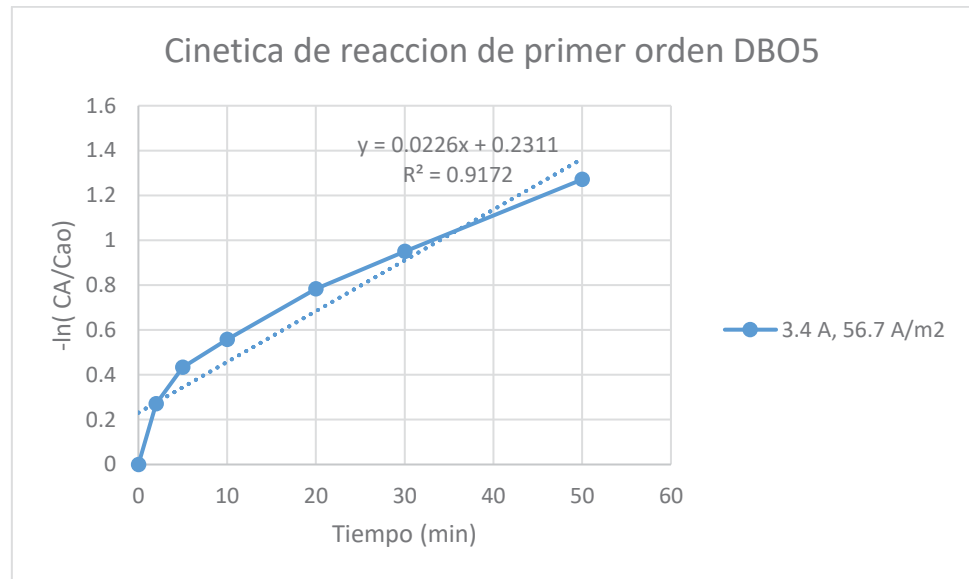
$$\ln[A] = \ln[A]_0 - kt \quad (\text{Ec. 25})$$

Tabla 36. Cálculos para obtención de la constante de equilibrio K y primer orden de reacción de la DBO_5 .

t (min)	[DBO_5](mg/L)	$\ln[DBO_5]/[DBO_5]_0$ (L/mol)	K (L/mol.min)	K(dm ³ /mol.s)
0	22100	0	0.0226	3.76E-04
2	16850	0.27122695		
5	14320	0.43392045		
10	12650	0.55792039		
20	10107	0.78234936		
30	8549	0.94976329		
50	6200	1.27102832		

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 16: Relación de concentración con respecto al tiempo de la DBO_5 de primer orden. (Elaboración propia).



Nota: Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 16 se obtiene la constante de velocidad

Obteniendo como resultado la ecuación cinética siguiente:

$$-r_A = 0.0226C_A \text{ (1/min)} \quad (\text{Ec.26})$$

B.2.4 CINÉTICA DE DEGRADACIÓN PARA LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) PARA UNA REACCIÓN DE PRIMER ORDEN

Expresión: (Ec. 24)

$$-r_A = k_A C_A \quad (\text{Ec. 24})$$

$$[k] = 1/s$$

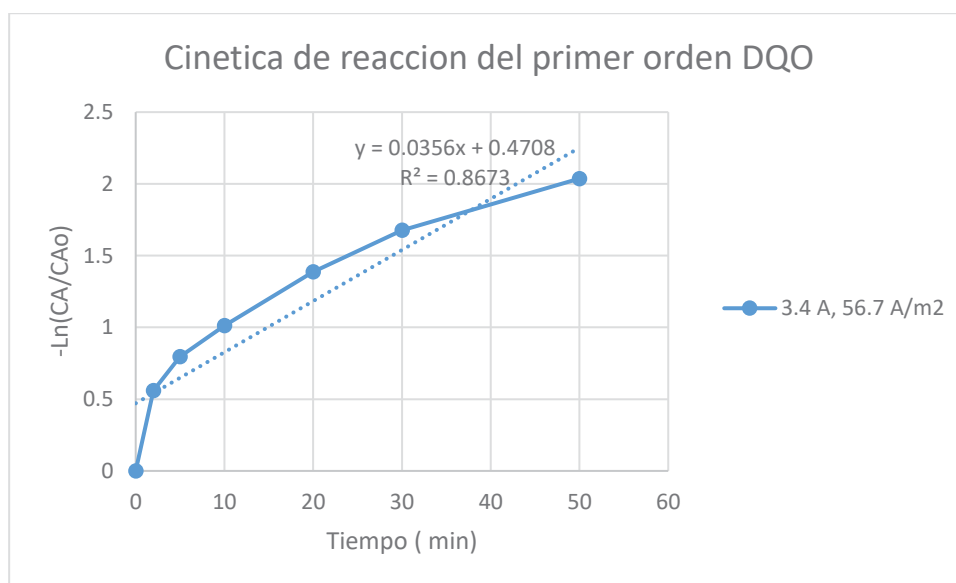
$$\ln[A] = \ln[A]_0 - kt \quad (\text{Ec. 25})$$

Tabla 37. Cálculos para obtención de la constante de equilibrio K y primer orden de reacción de la DQO.

t (min)	[DQO](mg/L)	$-\ln[DQO]/[DQO]_0$ (L/mol)	K (L/mol.min)	K(dm ³ /mol.s)
0	4370	0	0.0356	5.93E-04
2	2500	0.55847228		
5	1973	0.79520778		
10	1590	1.01102899		
20	1093	1.3858368		
30	817	1.67687919		
50	570	2.03688193		

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 17: Relación de concentración con respecto al tiempo de la DQO de primer orden.



. Nota: Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica 17 se obtiene la constante de velocidad

Obteniendo como resultado la ecuación cinética siguiente:

$$-r_A = 0.0356 \text{ (1/min.)} \quad (\text{Ec.27})$$

ANEXO A. CARACTERIZACIÓN FÍSICA-QUÍMICA DE LA MUESTRA.

A.1. REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5).

Método de análisis de DBO_5 Winkler, Método estándar.

PRINCIPIO DE LA DETERMINACIÓN DE LA DBO_5

El método consistió en llenar con muestra hasta rebosar los frascos Winkler e incubar. El oxígeno disuelto se midió antes y después de la incubación a la temperatura establecida durante 5 días. La DBO_5 se calculó mediante la diferencia entre el OD inicial y final. Las diluciones que dan lugar a un OD residual de al menos 2mg/L después de 5 días de incubación producen los resultados más fiables. La dilución se llevó a cabo con agua suplementada con todos los minerales inorgánicos para el crecimiento microbiano y regulada a un valor fisiológico de pH. Se suministró oxígeno saturando el agua de dilución con aire. Los microorganismos se incorporaron inoculando el agua de dilución con el contaminante apropiado (casi siempre aguas negras, aguas negras tratadas, o en algunos casos microorganismos aclimatados al substrato de interés en particular).

En aguas superficiales, la descomposición de la materia orgánica tiende a usar Oxígeno disuelto y formar bióxido de carbono. Esta demanda bioquímica de oxígeno, de acuerdo a como la define la American Public Health Association, es como sigue: “el oxígeno expresado en p.p.m. requerido durante la estabilización de materia orgánica capaz de descomponerse por acción bacteriana aeróbica”.

La demanda bioquímica del oxígeno es una prueba de gran valor en el análisis de los efluentes de aguas negras o muy contaminadas. En los procesos naturales de purificación de ríos y corrientes, las aguas negras y otras sustancias orgánicas se oxidan debido a la acción bacteriana, utilizando el oxígeno disuelto del agua. En esta forma, las aguas negras que penetran en una corriente eliminan el oxígeno disuelto, cuando la contaminación es excesiva, dará como resultado la destrucción de la vida vegetal y animal. La DBO_5 es la única prueba que indica directamente la cantidad de oxígeno que consumirán los procesos naturales para estabilizar la materia orgánica.

PROCEDIMIENTO

1. Se hizo tres diluciones de la muestra en frascos de Winkler de acuerdo a la calidad del agua residual (OD).
2. El frasco se llenó hasta la mitad con agua de dilución, se agregó con una pipeta la cantidad de muestra deseada.

3. Se preparó una botella adicional con agua de dilución (blanco).
4. Se llenó el frasco hasta el cuello con el agua de dilución.
5. Para sembrar, se midió el oxígeno disuelto del blanco.
6. Los frascos con las diluciones de la muestra y un blanco se metieron a la estufa 20 °C durante cinco días, después del tiempo transcurrido se midió OD.

A.2. REMOCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO). HI93754B-MR

Antes de empezar a utilizar el kit de reactivo se leyó cuidadosamente todas las instrucciones y las Hojas de Normas de Seguridad e Higiene (HSDS). Preste especial atención a todas las advertencias, precauciones y notas.

El método EPA 410.4 aprobado para la determinación de la DQO requiere el uso de sulfato de mercurio. El sulfato de mercurio está presente en los viales de reactivo de la EPA para mitigar la interferencia de cloruros en la medición de la muestra. Este es un requerimiento común en las plantas de tratamiento de agua y en las instalaciones alimentarias que suelen tener concentraciones más altas de cloruro en su efluente. Cuando se utilizan los reactivos que siguen el método EPA, es importante que los viales usados se cataloguen como residuos peligrosos, ya que los desechos de mercurio necesitan reciclarse.

- Se precalentó el Reactor de Hanna a 150 °C (302°F). Para un correcto uso del reactor se siguió el Manual de Instrucciones del Reactor.
- Se abrió la tapa de 2 viales del reactivo



Imagen 37: *Viales DQO HI93754B-25.*

- Se añadió exactamente 2,0 mL de muestra a un vial (vial muestra), y 2,0 mL de agua destilada al otro vial (vial del blanco), mientras se mantenía los viales con un ángulo de 45 grados; se cerró la tapa fuertemente y se mezcló invirtiendo cada vial un par de veces. Atención: como los viales se calientan durante el mezclado, se manipulo con cuidado.

Tabla 38. *Rango de los viales*

RANGO	RANGO DE LOS VIALES	COLOR DE LOS VIALES	MUESTRA
0 – 150 mg/ L.	HI 93754A-25	Rojo	2.0 MI
0 – 1500 mg/ L.	HI 93754B-25	Blanco	2.0 MI
0 - 1500 mg/ L.	HI 93754C-25	Verde	0.2 MI

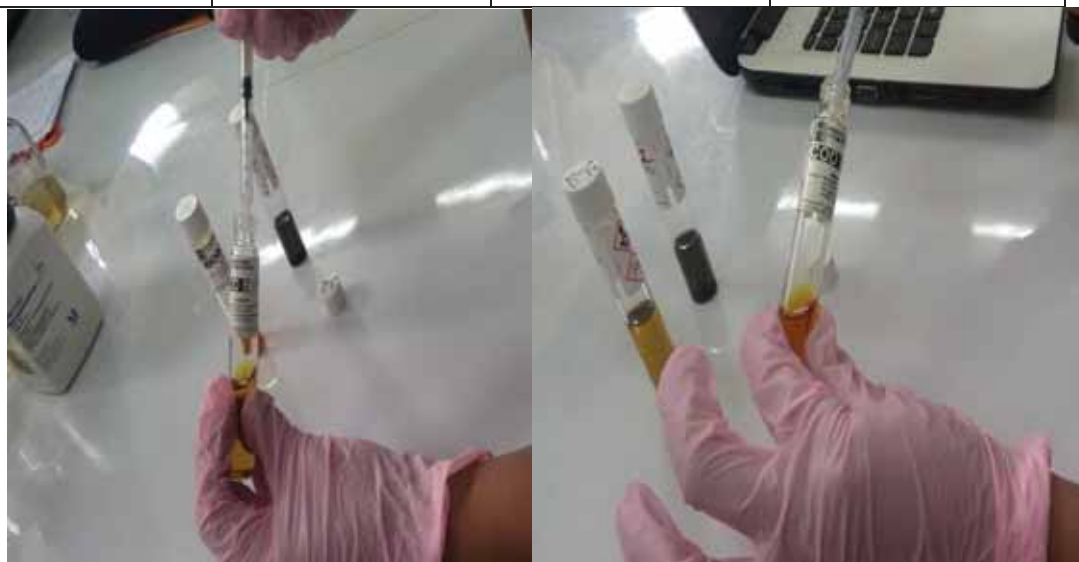


Imagen 38: *Viales blanco y la muestra CON LACTOSUERO.*



Imagen 39: *Viales HANNA INSTRUMENTS.*



Imagen 40: *Termo reactor Modelo HI839800-02*

Marca: HANNA INSTRUMENTS.

- Al final del período de digestión se desconectó el reactor. Se esperó durante 20 minutos para dejar que la temperatura de los viales baje hasta 120°C.

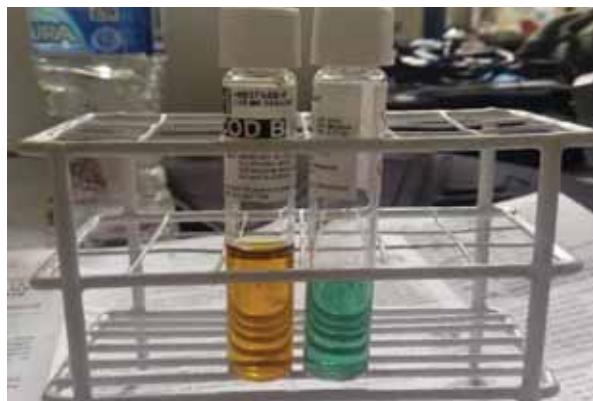


Imagen 41: *Viales invertidos para su enfriamiento.*

- Se dejó los viales en la gradilla para su posterior enfriamiento a temperatura ambiente.
- Por último, se determinó la demanda química de oxígeno en mg/L insertando al MD 600 para su respectiva lectura.

A.3. REMOCION DE SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Sólidos suspendidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que se quedaron en el recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en una estufa a temperatura definida.

La mayor parte de los contaminantes de aguas son sólidos, disueltos o suspendidos. En un concepto general, los sólidos se definen como materia que permanece como residuo después de someterse a evaporación de una muestra de agua a una temperatura de 105 ° C.

$$\text{Sólidos Totales: } ST = SST + SDT = STV + STF \quad (\text{Ec. 28})$$

$$\text{Sólidos Totales Fijos: } STF = ST - STV \quad (\text{Ec. 29})$$

$$\text{Sólidos Totales Volátiles: } STV \quad (\text{Ec. 30})$$

$$\text{Sólidos Suspendido Totales: } SST = SSV + SSF \quad (\text{Ec. 31})$$

PROCEDIMIENTO

1. Sólidos Suspendedos Totales

- 1.1. Se pesó la cápsula de porcelana previamente puesta a peso constante W1.
- 1.2. Se agregó 25 mL. de muestra de agua residual.
- 1.3. Se evaporo a sequedad la muestra (en baño maría para no perder los sólidos, en la evaporación, en forma directa).
- 1.4. Se colocó la cápsula de porcelana en la estufa por 15 min. A una temperatura de 105 °C.
- 1.5. Se colocó la cápsula en el desecador a temperatura ambiente y se determinó su peso hasta alcanzar peso constante. Se registró como peso W2.
- 1.6. Se colocó la cápsula de porcelana en la mufla a 600°C por 20 min., y se dejó enfriar la mufla a aproximadamente a 400°C, para abrirla.
- 1.7. Se repitió los pasos 1.4 y 1.5. Se registró como peso W3.

A.4 BASE DE CALCULO PARA LLEGAR A LOS LMP DE DQO, DBO_5 , TSS Y AyG

N°	MUESTRAS	PARAMETRO				CONCENTRACION				% REMOCION			
		T(min)	Conduc. (mS/cm)	pH	Temperatura °C	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	TSS (mg/L)	AG (mg/L)	DQO	DBO ₅	TSS	AG
06	MUESTRA 2	0						8120				0	
07		2						6087.12				25.04	
08		30						4563				43.80	
09		2						5123.7				36.90	
10		30						3630				55.29	
11	MUESTRA 3	0	3.79	7.2	15	4370	22100		0	0	0	0	0
12		2	3.75	7.2	22.1	3000	17900		308	31.35	19.00		61.01
13		50	3.57	7.2	24.9	1060	8435		245	75.74	61.83		68.98
14		2	3.85	7.2	25.2	2500	16850		321	42.79	23.75		59.36
15		50	3.69	7.2	30.5	570	6200		220	86.96	71.95		72.15
16		60	3.67	7.2	30.5	490	5123		189	88.79	76.81		76.07
17		90	3.64	7.2	30.9	467	3146		134	89.31	85.76		83.03
18		102	3.59	7.2	31.3	451	976		90	89.68	95.58		88.60
	VMA			6-9	<35	1000	500		100				100

Nota: Fuente: (Arango Ruiz & Garces Giraldo, 2009), (Bukhari, 2008).

ANEXO B. NORMATIVAS

Dentro de la norma legal peruana se tiene normados los estándares nacionales de calidad ambiental para agua, con el objetivo de establecer el nivel de concentración como sustancias o parámetros físicos, químicos y microbiológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. A continuación, se presentan estos valores en función de la aplicación que se le vaya a dar al agua. (MINAM, Normativas de la calidad del agua, 2008).

Normas de Calidad del Agua.

Las Normas de Calidad de Agua en el país son fijados por el Ministerio del Ambiente MINAM teniendo en cuenta que los límites que se establecen en cada caso, sean factibles de ser alcanzados con los recursos locales disponibles para tal fin.

Ley de Recursos Hídricos N° 29338.

Promulgado el 30 de Marzo de 2009, en El Título III USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, se tiene los siguientes artículos relacionados con el uso de agua:

Artículo 35: Clases de usos de agua y orden de prioridad, reconoce las siguientes clases de uso de agua:

1. Uso primario
2. Uso poblacional
3. Uso productivo.

Artículo 36. Uso primario del agua.

Consiste en la utilización directa y efectiva de la misma, en las fuentes naturales y cauces públicos del agua, con el fin de satisfacer necesidades primarias humanas.

Artículo 39. Uso poblacional del agua.

Consiste en la captación del agua de una fuente o red pública, debidamente tratada, con el fin de satisfacer las necesidades humanas básicas.

Artículo 42. Uso productivo del agua.

Consiste en la utilización de la misma en procesos de producción o previos a los mismos.

El Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos (Decreto Supremo N° 001-2010-AG) Aprobado el 24 de marzo 2010 en el artículo 106, sobre la Clasificación de los Cuerpos de Aguas, señala que la Autoridad Nacional del Agua clasifica los cuerpos de agua, tomando como base la implementación progresiva de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua (ECA- Agua), de acuerdo con los usos actuales y potenciales a que se destina el agua.

Que, por Decreto Supremo N° 044-98-PCM se aprobó el Reglamento Nacional para la Aprobación de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, el mismo que establece que el estudio para definir la propuesta de LMP será desarrollado por el Sector asignado en el Programa Anual de Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles, y sometido a consulta pública para su posterior aprobación mediante Decreto Supremo con el voto aprobatorio del Consejo de Ministros.

Artículo 2.- Glosario de Términos.

Para los efectos de la presente norma se considera:

a. **Valores Máximo Admisible (VMA):** Es la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente.

Dependiendo del parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresado en máximos, mínimos o rangos.

Artículo 8.- Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA).

Las empresas que en cumplimiento de lo dispuesto en el presente Decreto Supremo y que como resultado de la evaluación de su DAP deban ejecutar un PAMA u otras medidas de adecuación ambiental, están obligadas a presentar informes semestrales al Ministerio de la Producción, dando cuenta de los monitoreos efectuados y del cumplimiento de sus

obligaciones de adecuación ambiental. El Ministerio de la Producción en función a la complejidad de los distintos casos, determinará el plazo para la formulación y presentación de los respectivos PAMA.

Artículo 9.- Micro y Pequeña Empresa Industrial.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 8 del Decreto Supremo N° 019-97-ITINCI, la micro y pequeña empresa industrial está obligada a cumplir lo dispuesto en la presente norma, pudiendo hacerlo en forma colectiva por grupo de actividad industrial, por concentración geográfica u otros criterios similares, previa conformidad expresa del Ministerio de la Producción.

Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA).- Programa que contiene las acciones, políticas e inversiones necesarias para reducir prioritariamente la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes que ingresan al sistema o infraestructura de disposición de residuos o que se viertan o emitan al ambiente; realizar acciones de reciclaje y reutilización de bienes como medios para reducir los niveles de acumulación de desechos y prevenir la contaminación ambiental; y reducir o eliminar las emisiones o vertimientos para poder cumplir con los patrones ambientales establecidos por la Autoridad Competente.

Programa de Seguimiento y Control.- Es el muestreo sistemático y permanente con métodos y tecnología, adecuada al medio en que se realiza el Programa, para determinar la presencia y concentración de contaminantes emitidos o vertidos en el ambiente con fines de prevención, monitoreo, seguimiento y control y para la verificación del cumplimiento de las metas contenidas en la Declaración de Impacto Ambiental, Estudio de Impacto Ambiental o Programa de Adecuación y Manejo Ambiental y la legislación ambiental vigente.

Protocolo de Monitoreo. - Ordena serie de pasos o acciones de estricto cumplimiento, necesarios para evaluar una situación específica y obtener la información lograda a través del muestreo.

Reciclaje o Reutilización. - Incorporación de residuos, insumos o productos finales a procesos de producción diseñados para eliminar o minimizar sus efectos contaminantes.

Residuos Peligrosos. - Son aquellos residuos que, en función a sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y patogenicidad pueden

presentar riesgo a la salud pública o causar efectos adversos al ambiente, por lo que deben ser depositados de manera controlada. No incluyen los residuos radioactivos.

Tabla 39. *Valores promedios de los residuales acuosos de la industria láctea – Argentina.*

CONSTITUYENTE	RANGO
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	450 – 4800
DQO (mg O ₂ /L)	675 – 7200
Sólidos en Suspensión (mg/L)	24 – 5700
Solidos Totales (mg/L)	135 – 8500
Ph	5.3 – 9.4
Grasas (mg/L)	35 – 500
Proteínas (mg/L)	210 – 560
Carbohidratos (mg/L)	252 – 930
Fosforo (mg/L)	11 – 160

Nota: (Veisseyre, 1988).

En la tabla 39 se pueden observar los valores promedios de vertidos acuosos de la industria láctea. “De acuerdo a la tabla las aguas residuales provenientes de la industria láctea son ricos en carga orgánica, solidos, grasas, proteínas y carbohidratos. (Veisseyre, 1988).

- Para la industria láctea no hay Norma Peruana que regule la emisión de efluentes líquidos para la industria alimentaria y por eso se tomaron otras normas como referencia.

B.1 NORMA TECNICA NTE INEN 2594:2011

6. REQUISITOS

6.1 Requisitos físicos y químicos

6.1.1 El suero de leche líquido ensayado de acuerdo con las normas correspondientes debe cumplir con lo establecido en la tabla 1.

TABLA 1. Requisitos físico-químicos del suero de leche líquido

Requisitos	Suero de leche dulce		Suero de leche ácido		Método de ensayo
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	
Acidez (TIT)	—	± 0	—	+ 2	AOAC 984.12
Viscosidad (mPa·s)	0.8	—	5.0	—	NTE INEN 12
Grasa (g/100g)	—	0.3	—	0.3	NTE INEN 12
Densidad (g/cm³)	—	0.7	—	0.7	NTE INEN 12
Almidón (mg/100g)	—	0.16	0.03	—	NTE INEN 12
pH	0.8	6.4	5.3	4.6	AOAC 933.41

Nota: El suero de leche dulce es el que se obtiene al eliminar la lactosa del suero de leche.

6.1.2 **Requisitos microbiológicos:** El suero de leche líquido ensayado de acuerdo con las normas correspondientes debe cumplir con lo establecido en la tabla 2.

TABLA 2. Requisitos microbiológicos para el suero de leche líquido.

Requisito	n	m	M	c	Método de ensayo
Recuento de microorganismos aerobios viables (log)	5	30 000	100 000	1	NTE INEN 1039-A
Recuento de Escherichia coli (log)	5	< 10	—	0	NTE INEN 1039-B
Recuento de Salmonella (log)	5	< 10	100	1	NTE INEN 1039-C
Salmonella (CFU)	1	ausente	—	0	NTE INEN 1039-D
Examen de Listeria monocitogenes (CFU)	5	ausente	—	0	ISO 11291-1

Donde:

- n = Número de muestras a examinar.
- m = índice máximo permisible para identificar nivel de buena calidad.
- M = índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad.
- c = Número de muestras permisibles con resultados entre m y M.

6.1.3 **Aditivos:** Se permite el uso de los aditivos enlistados en la NTE INEN 2074.

6.1.4 **Contaminantes:** El límite máximo no debe superar lo establecido en el Código Alimentario: CODEX STAN 193-1995, en su última edición.

6.2 **Requisitos complementarios:** El suero de leche líquido debe mantenerse a cubierto de luz en el almacenamiento, y distribución a una temperatura de 4 °C ± 2 °C y su transporte debe ser realizado en condiciones idóneas que garanticen el mantenimiento del producto.

7. INSPECCIÓN

7.1 **Muestreo:** El muestreo debe realizarse de acuerdo con lo establecido en la NTE INEN 4.

7.2 **Aceptación o rechazo:** Se acepta o rechaza al cumplir con los requisitos establecidos en esta norma; caso contrario se rechaza.

7.2.1 El producto rechazado debe identificarse claramente para evitar el mal uso.

Nota: (INEN, 2011).

ANEXO C. INFORME DE MONITOREO DEL LABORATORIO ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS (LAASA LAB)



LAASA LAB

INFORME N° 002 AM- LAASA LAB 2020

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

SOLICITANTES: CHACON BASILIO, Fany Marcia,
HUAMPOTUPA CHAMPI Cirithia Karen.

TEMA: "ELECTROCOAGULACION DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA LACTEA RAMREZ - COMPONE -ANTA - CUSCO".
FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA
UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

Muestra 1 = SUERO DE LECHE

DATOS DE LA MUESTRA

Lugar de Muestreo: Muestra entregada en Laboratorio
 Distrito: Compone – Empresa Ramrez.
 Provincia: Anta.
 Departamento: Cusco.
 Fecha de muestreo: 15/01/2020

RESULTADOS

N° Ref. Laboratorio	Punto de muestreo	Numeración Microorg. Aerobios Mesofilos (UFC/ml)	H.M.P. Coliformes/ml			Recuento de Saposasilla sp (UFC/ml)	Recuento de Levaduras (UFC/ml)	Recuento de Mohos (UFC/ml)
			Coli Totales (35 °C)	Coli Termotolerantes (35 °C)	E. coli (44,5 °C)			
M 1 – 19 ^a	Suero de leche	9 250	240 000	210 000	40	34 000	4 000	300
M 1 – 12 ^a	Suero de leche	500	100 000	90 000	0	8 000	1 100	90
Limites máximos permisibles		32 000		100	<10	Ausencia	10	10

METODO DE ENSAYO	ITE EN 3525 – 5 – 8 – 10 – 14 – 25 Método Estandarizado de Fermentación de Tubo Método de Coliformes. El valor "3", es el número más que especifica el método: (cero)
DOCUMENTO DE LA REFERENCIA	Norma NTE Norma Técnica Ecuatoriana) EN 2524 (2011), para suero de leche. Equivalo: Los recuentos de Coliformes totales, Norma Mexicana PROY-IMZ-F-721-COFICALE (2012), para leche y productos lácteos.

De acuerdo a los resultados de análisis y en el marco del documento de referencia, la muestra no cumple con los ECAs (Estándares de calidad) establecidos.

Cusco, 22 de enero del 2020.
WCYM

María Del Carmen Villar Sánchez
 BIOLDOO
 C-0-P-0234

**LAASA LAB**

FAC. INGENIERIA

INFORME N° 002 AM- LAASA LAB 2020
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

SOLICITANTES: CHACON BASILIO, Fany María.
 HUAMPOTUPA CHAMPI Cinthia Karen.

TESIS: "ELECTROCOAGULACION DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA LACTEA RAMIREZ – COMPONE -ANTA –CUSCO".
 FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA
 UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

Muestra 1 : SUERO DE LECHE

DATOS DE LA MUESTRA

Lugar de Muestreo : Muestra entregada en Laboratorio
 Distrito : Compone – Empresa Ramirez.
 Provincia : Anta.
 Departamento : Cusco.
 Fecha de muestreo : 15/01/2020

RESULTADOS

N° Ref Laboratorio	Punto de muestreo	Numeración Microorg. Aerobios Mesofilos UFC/ml	N.M.P. Coliformes/ml			Recuento de Salmonela UFC/ml	Recuento de Lecadura x UFC/ml	Recuento de Mohos UFC/ml
			Colif. Totales /ml (35°C)	Colif. Termotolerantes/ml (35°C)	E. Coli /ml (44.5 °C)			
M1-10 ⁻¹	Suero de leche	7130	80000	1080	0	110	190	59
M1-10 ⁻²	Suero de leche	390	700	220	0	-	50	10
Límites Máximos Permisibles		30000	< 20	100	< 10	Ausencia	10	10

METODO DE ENSAYO	NTE INEN 1529 5-8-10-14-15 Método Estandarizado de Fermentación de Tubo Múltiple de Coliformes El valor "< 3", es el mínimo valor que especifica el método.(cero)
DOCUMENTO DE LA REFERENCIA	Norma NTE (Norma Técnica Ecuatoriana) INEN 2495(2011), para suero de leche líquido. Los recuentos de Coliformes Totales, Norma mexicana PROY-NMX-F-721-COFOCALEC (2012), para leche y productos lácteos.

De acuerdo a los resultados de análisis y en el marco del documento de referencia, la muestra después de Electrocoagulación cumple, menos los coliformes totales y termotolerantes con los ECAs (estándares) de establecidos:

Cusco, 11 de febrero del 2020.
 MCYM

María Del Carmen Pérez Pineda
 BIÓLOGO
 C. B. P. 6299

ANEXO D. RESUMEN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN DE ELECTROCOAGULACIÓN DE LACTOSUERO DE LA EMPRESA RAMIREZ.

Nº	MUESTRAS	PARAMETRO						CONCENTRACION				% REMOCION			
		T(mi n)	Dist (cm)	Dens. (A/m ²)	Conduc. (mS/cm)	pH	Temperat ura °C	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	TSS (mg/L)	AG (mg/L)	DQO	DBO5	TSS	AG
1	MUESTRA 1	0	1	20	3.81	6.1	15	6970	24400	8472.8	1080	0	0	0	0
2		2	1	20	3.69	6.1	20.3	6200	21115	6213.67	874	11.05	13.46	26.66	27.16
3		50	1	20	3.5	6.1	23.0	4470	15993	5534.1	727	35.85	34.45	34.68	39.41
4		2	1	56.7	3.64	6.1	23.9	6065	21000	6089.69	701	13.20	13.93	28.13	41.58
5		50	1	56.7	3.51	6.1	25.8	3780	14180	4526.84	620	45.77	41.88	46.57	48.33
6	MUESTRA 2	0	1	20	3.87	6.5	15.1	5930	33100	8120	1200	0	0	0	0
7		2	1	20	3.49	6.5	16.8	5930	26890	6087.12	591	14.84	18.76	25.04	45.27
8		50	1	20	3.38	6.5	20.03	5050	11007	4563	423	58.77	66.74	43.80	60.83
9		2	1	56.7	3.62	6.5	20.9	2445	25610	5123.7	489	19.06	22.62	36.90	54.72
10		50	1	56.7	3.49	6.5	23.1	4800	9450	3630	360	73.74	71.45	55.29	66.66
11	MUESTRA 3	0	1	20	3.79	7.2	15	4370	22100			0	0	0	0
12		2	1	20	3.75	7.2	22.1	3000	17900		308	31.35	19.00		61.01
13		50	1	20	3.57	7.2	24.9	1060	8435		245	75.74	61.83		68.98
14		2	1	56.7	3.85	7.2	25.2	2500	16850		321	42.79	23.75		59.36
15		50	1	56.7	3.69	7.2	30.5	570	6200		220	86.96	71.95		72.15

Nota: Fuente: Elaboración propia.

❖ Los mejores resultados de porcentajes de remoción se dan en la tercera muestra del lactosuero residual para el tratamiento por electrocoagulación en un reactor monopolar Batch a un tiempo corto 30 minutos se lograron las mejores remociones de TSS y en caso de la DQO, DBO_5 , GRASAS Y ACEITES se observó que la remoción continúa en función al tiempo, por esta razón necesita más tiempo por ende a los 50 minutos se obtuvo las mejores remociones.

❖ Las concentraciones iniciales de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Sólidos Suspendedos Totales (TSS) y Grasas y Aceites de la tercera muestra es baja a comparación con la primera y segunda muestra realizada, siendo el más eficiente para esta tecnología; mostrando mejores resultados de porcentajes de remoción de DQO, DBO_5 , TSS y GRASAS Y ACEITES.

ANEXO E. RESUMEN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN DE ELECTROCOAGULACIÓN ENCONTRADOS EN LA LITERATURA.

TITULO	AUTOR	COMENTARIOS
Eliminación de cromo hexavalente con electrodos de acero inoxidable con electrocoagulación	(Olmez Mercado, Gonzales Silva, & Valencia Hurtado, 2013)	Se realizó el proceso Electrocoagulación con 7,4 A de corriente y 33,6 mm. de concentración de electrolito (NaCl), un tiempo de aplicación de 70 minutos y $FeSO_4 \times 7H_2O$ como tratamiento completo podría llevar a cabo un tratamiento completo.
Eliminación del cromo (III) mediante el proceso de electrocoagulación.	(Zaroual Cañizares, Martinez, & Saez, 2009)	Llegó a la conclusión de que el 91% de eficiencia de eliminación era capaz de tratar el cromo (III) con ánodos de aluminio para la electrocoagulación. Además, se estableció un modelo matemático utilizando un diseño compuesto central, con un pH de 4,23, un potencial eléctrico de 9,14 V, un tiempo de reacción de 10 minutos y una temperatura de 27,5 ° C. La eficiencia del tratamiento del 91% podría completarse con un consumo de energía de 3.536 kWh / m ³
Diseño de una celda de Electrocoagulación.	(Arango Ruiz & Garces Giraldo, 2009)	El estudio del comportamiento de Electrocoagulación de las aguas residuales de la industria láctea. Para la separación entre electrodos de 10 mm con electrodo de sacrificio de hierro, presenta una mejor remoción para un tiempo de 15 minutos.
Influencia de la conductividad eléctrica en la electrocoagulación de aguas residuales de la Industria láctea.	(Arango Ruiz & Garces Giraldo, 2009)	El porcentaje de remoción de DQO se favoreció con el aumento de la densidad de corriente de 32.42 a 43.23 A/m ² y un tiempo de tratamiento de 15 minutos. Respecto a la conductividad del medio acuoso, se observó también un aumento de la remoción al aumentar este

		<p>parámetro de 1.5 a 2.5 S/cm, pero cuando se aumentó hasta 3.5 S/cm lo que se observó fue una disminución en la remoción. Esto indica que un aumento de la conductividad por encima de 2.5 S/cm deja de ser efectivo para la eficiencia en la remoción de DQO.</p>
<p>Electrocoagulación pigmentos color de té de fenol.</p>	<p>(Maghanga, 2009)</p>	<p>Capaces de reducir la DQO en un 96.6%, la DBO₅ en un 84.0% y la conductividad en un 31.5% y aumentar el pH en un 10.32. Los parámetros óptimos fueron potencial eléctrico de 24 V, distancia entre electrodos de 5 mm, relación de volumen de efluente de 18,2 m³ y un pH de 6.</p>
<p>Tratamiento de aguas residuales domésticas</p>	<p>(Aider, Melnikova, & Humpire Coila, 2007)</p>	<p>Estudió los procesos de electrocoagulación por electroflotación y observó que se podía lograr una alta eliminación de DQO; sin embargo, los sólidos suspendidos y la eliminación del color no fueron propicios para el tratamiento secundario de aguas residuales; no obstante, la electrocoagulación podría usarse para el tratamiento de aguas residuales domésticas municipales descentralizadas a pequeña escala.</p>
<p>Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación.</p>	<p>(Poma Javier & Quispe Sanca, 2016)</p>	<p>La densidad de corriente óptima del proceso es 32,72 A/m², con un área total de contacto de 0,08253 m² y 2,7 A. El tiempo de residencia es 20 minutos, con una distancia entre electrodos de 1 cm. Los porcentajes de remoción de los indicadores de los contaminantes de las aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación son 85,9% para DBO₅, 75,3% para DQO, 93,8 % para aceites y grasas, 89,5% para conductividad eléctrica, 79,6% para turbiedad, 95,3% para sólidos totales, 91,0% para sólidos suspendidos, 91,3%</p>

		para sólidos disueltos, 70,3% para dureza total, 91,3% para dureza cálcica, 91,9% para cloruros, 100,0% para coliformes totales y 98,9% para escherichia coli.
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas con electrocoagulación con electrodos de hierro-hierro.	(Cavadid, 2018)	Se eliminó el 95.4% de eficiencia del tratamiento de TSS con una corriente de 0.8 A y un tiempo de contacto de 5 minutos usando un electrocoagulador con electrodos de acero inoxidable. Además, la DBO_5 tuvo un profundo efecto en la eliminación de TSS en presencia de partículas.
Tratamiento del molino de aceite de palma en la Provincia de Chumporn.	(Arboleda Camacho, Herrera Lopez, & Peña Guzman, 2015)	Determinó que la electrocoagulación es capaz de reducir la turbidez, la acidez, la DBO_5 , la DQO y los metales pesados dentro del efluente del molino de aceite de palma de la provincia de Chumporn en Tailandia utilizando electrodos de aluminio y NaCl como electrolito.
Remoción de DQO y DBO_5 del lactosuero acido mediante la celda de electrocoagulación	(Perez Prado & Rodriguez Flores, 2018)	Se caracterizó el lactosuero y se obtuvo los siguientes resultados de DQO igual a 2748.3 mg/L, DBO_5 igual a 1992.4 mg/L, el pH de 4.9 la conductividad eléctrica de 29000.7 μ S/cm. Se evaluó la tensión de corriente con relación a la remoción alcanzada de 82.91 % de DQO y el 85.61% DBO_5 .