

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**

FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**“EVALUACIÓN DE REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS A
DIFERENTE DENSIDAD DE CORRIENTE Y TIEMPO DE REACCIÓN
EMPLEANDO LA ELECTROCOAGULACIÓN EN EL AGUA RESIDUAL
DEL CENTRO DE FAENAMIENTO AVÍCOLA – HUARAZ – 2022”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

TESISTA: Br. GIANCARLO ROBLES RODRÍGUEZ

ASESOR: MSc. MARTÍN MIGUEL HUAMÁN CARRANZA

HUARAZ-PERÚ

2023





**ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS, PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO**

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el auditorium de la FCAM-UNASAM, para la Ceremonia de Sustentación de la Tesis, que presenta el señor Bachiller: **GIANCARLO ROBLES RODRIGUEZ**.

Tesis Titulada: **“EVALUACIÓN DE REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS A DIFERENTE DENSIDAD DE CORRIENTE Y TIEMPO DE REACCIÓN EMPLEANDO LA ELECTROCOAGULACIÓN EN EL AGUA RESIDUAL DEL CENTRO DE FAENAMIENTO AVICOLA – HUARAZ, 2022”**

En seguida, después de haber atendida la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas lo declaramos:

A PROBADO

Con el calificativo de:

Diecisiete (17)

En consecuencia, queda en condiciones de ser **APROBADO** por el Consejo de Facultad y recibir el Título Profesional de:

INGENIERO SANITARIO

De conformidad con el Art. 113° numeral 113.9 del reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario – Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario – Rector N° 432-2016-UNASAM del 28-12-2016).

Dr. César Manuel Gregorio Dávila paredes
Presidente

Huaraz, 24 de Agosto del 2023.

Mag. Patricia Laura Gamarra Tahua
Primer Miembro

Mag. Yolaina Mali Macedo Rojas
Segundo Miembro

M.Sc. Martín Miguel Huamán Carranza
Asesor

Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM
ANEXO 1
INFORME DE SIMILITUD.

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

Presentado por:

con DNI N°:

para optar el Título Profesional de:

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11 ° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : de similitud.

Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).

Porcentaje		Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda <input checked="" type="radio"/>
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado		
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz,


Martín Miguel Huamán Carranza
INGENIERO SANITARIO
CIP N° 137506

FIRMA

Apellidos y Nombres: _____

DNI N°: _____

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

T033_70118854_T-1

AUTOR

GIANCARLO ROBLES RODRÍGUEZ

RECUENTO DE PALABRAS

13772 Words

RECUENTO DE CARACTERES

76200 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

89 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.2MB

FECHA DE ENTREGA

May 11, 2023 11:46 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 11, 2023 11:47 AM GMT-5**● 20% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 19% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de trabajos entregados
- Material citado
- Material bibliográfico



INFORME DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en la fecha, en el auditorium de la FCAM-UNASAM, en el Acto Académico de Sustentación y Defensa de Tesis del Bachiller:

GIANCARLO ROBLES RODRIGUEZ.

Tesis Titulada: “EVALUACIÓN DE REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS A DIFERENTE DENSIDAD DE CORRIENTE Y TIEMPO DE REACCIÓN EMPLEANDO LA ELECTROCOAGULACIÓN EN EL AGUA RESIDUAL DEL CENTRO DE FAENAMIENTO AVICOLA – HUARAZ, 2022” informamos que:

1. El proceso de sustentación se desarrolló en forma normal dentro de la fecha y hora programada, con la asistencia en pleno de los miembros de jurado y con la presencia del asesor.
2. El tesista ha:
 - Aprobado **sin observación**, con el calificativo (X)
 - Aprobado **con observación**, con el calificativo DIECISIETE (17)

Por consiguiente, para efectos de conformidad deberá subsanar lo siguiente:

-
-
-
-

- **Desaprobado**, con el calificativo ()

3. El Acta de Sustentación y Defensa de la Tesis se eleva a la Dirección de Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria de conformidad al Art. 68° inc. f) del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM).

Huaraz, **24** de **Agosto** del 2023.

**Dr. César Manuel Gregorio Dávila paredes
Presidente**

**Mag. Patricia Laura Gamarra Tahua
Primer Miembro**

**Mag. Yolaina Mali Macedo Rojas
Segundo Miembro**

**M.Sc. Martín Miguel Huamán Carranza
Asesor**



DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, MARTIN MIGUEL HUAMÁN CARRANZA, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería sanitaria de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo, y siendo asesor del **BR. ROBLES RODRÍGUEZ GIANCARLO** quien presentó la tesis titulada “**EVALUACIÓN DE REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS A DIFERENTE DENSIDAD DE CORRIENTE Y TIEMPO DE REACCIÓN EMPLEANDO LA ELECTROCOAGULACIÓN EN EL AGUA RESIDUAL DEL CENTRO DE FAENAMIENTO AVÍCOLA – HUARAZ – 2022**”, presentado en 96 folios, para la obtención del título profesional de Ingeniero Sanitario declaro lo siguiente:

- Se mencionó todas las fuentes empleadas en el trabajo de investigación identificando correctamente todas las citas textuales o de paréntesis provenientes de otras fuentes de acuerdo a lo establecido por las normas de elaboración de trabajos académicos.
- No se utilizó ninguna otra fuente distinta a aquellas expresamente señaladas en este trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado completa ni parcialmente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
- El trabajo fue revisado electrónicamente en el programa anti plagios cumpliendo con el grado de similitud exigida por la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo y de la evaluación de la originalidad se tiene un porcentaje de 20% de similitud.

Huaraz, 14 de setiembre 2023



Martín Miguel Huamán Carranza
INGENIERO SANITARIO
CIP N° 137586

MSc. MARTÍN MIGUEL HUAMÁN CARRANZA

DNI: 44779016

Asesor de Tesis

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, ROBLES RODRÍGUEZ GIANCARLO estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería sanitaria de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo, declaro que el trabajo académico titulado “EVALUACIÓN DE REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS A DIFERENTE DENSIDAD DE CORRIENTE Y TIEMPO DE REACCIÓN EMPLEANDO LA ELECTROCOAGULACIÓN EN EL AGUA RESIDUAL DEL CENTRO DE FAENAMIENTO AVÍCOLA – HUARAZ – 2022” presentado en 96 folios, para la obtención del título profesional de Ingeniero Sanitario, es de mi autoría.

Por lo tanto, declaro lo siguiente:

- He mencionado todas las fuentes empleadas en el presente trabajo de investigación identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes de acuerdo a lo establecido por las normas de elaboración de trabajo académico.
- No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquellas expresadamente señaladas en este trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado completa ni parcialmente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
- Soy consciente de que mi trabajo puede ser revisado electrónicamente en búsqueda de plagios.
- De encontrar uso de material intelectual ajeno sin el debido reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el procedimiento disciplinario.

Huaraz, 11 de setiembre 2023



GIANCARLO ROBLES RODRÍGUEZ

DNI: 70118854

DEDICATORIA

A Dios por la fuerza de voluntad, disciplina que me brinda para seguir un buen camino.

A mi madre Lucia Rodríguez Sáenz por creer y confiar en mí, por todo el amor, cariño y apoyo incondicional que me brindó en toda la etapa de formación y me enseñó que solo con esfuerzo y dedicación las cosas salen bien.

A mis hermanos Lady, Denis, Silvia y a mi familia que son un ejemplo de unión y superación.

A la Ciencia, por que, con cada pequeño aporte, se pueden superar grandes problemas y más aún en esta bella rama de la ingeniería sanitaria.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios siendo testigo de una excelencia académica y haber tenido el privilegio de aprender de docentes que guiado mi crecimiento intelectual.

Al Ing. Santiago Sáenz Pohl y al Ing. Martín Huamán Carranza por el apoyo constante y el asesoramiento, cuya experiencia fueron fundamentales en la culminación de este proyecto de tesis.

A Milagros Palacios Gutierrez, por su constante apoyo y paciencia, así mismo sus comentarios y sugerencias fueron esenciales para dar forma a mis ideas y mejorar la calidad de esta tesis.

A Carlos Castromonte Rodríguez que desde tempranas horas me dio conciencia a seguir una carrera profesional y por ser un ejemplo de superación.

A todos los amigos y familiares que me brindaron su apoyo, que me orientaron e influenciaron en mi formación.

¡Gracias Totales!

CONTENIDO

CARATULA.....	i
AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TESIS EN EL REPOSITORIO.....	ii
INFORME DE SIMILITUD.....	iv
REPORTE DE SIMILITUD.....	v
ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS	vi
INFORME DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS.....	vii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	viii
DECLARATORIA DE AUTORIA.....	ix
DEDICATORIA.....	x
AGRADECIMIENTO.....	xi
CONTENIDO	xii
RELACIÓN DE FIGURAS.....	xv
RELACION DE TABLAS	xvi
RELACION DE ECUACIONES	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	1
1.1.1. Objetivo General	1
1.1.2. Objetivos Específicos	1
1.2. Hipótesis.....	1
1.2.1. Hipótesis de Investigación.....	1
1.2.2. Hipótesis Nula	2
1.2.3. Hipótesis Alternativa.....	2
1.3. Variables	2

1.3.1. Variable Independiente	2
1.3.2. Variable Dependiente	2
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.1.1. Internacional.....	4
2.1.2. Nacional	5
2.1.3. Local	7
2.2. Bases Teóricas.....	8
2.2.1. Particularidades del Agua Residual Industrial	8
2.2.2. Proceso de Faenamiento en la Industria Avícola	8
2.2.3. Teoría de la Coagulación Convencional.....	9
2.2.4. Electrocoagulación	11
2.2.5. Reactor o Celda Electroquímica.....	12
2.2.6. Configuración Eléctrica Para la Electrocoagulación	14
2.2.7. Reacciones Químicas en la Celda de Electrocoagulación.....	16
2.2.8. Aplicación de la Electrolisis a una Emulsión Aceite-Agua	17
2.2.9. Formación de un lodo rico en aceite.....	19
2.2.10. Dosificación de Coagulante en la Electrocoagulación	20
2.2.11. Ventajas y Desventajas de la Electrocoagulación	20
2.2.12. Valores Máximos Admisibles.....	22
2.2.13. Componentes que Influyen la Electrocoagulación	22
2.3. Definición de Términos Básicos.....	25
III. MARCO METODOLÓGICO	27
3.1. Tipo de Investigación.....	27
3.2. Diseño de Investigación.....	27

3.2.1. Procedimiento cuasi experimental.....	27
3.3. Métodos o técnicas.....	28
3.3.1. Etapas del Proceso De La Investigación	29
3.4. Población y muestra	35
3.5. Instrumentos validados de recolección de datos	35
3.6. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información	35
3.6.1. Recopilar y Planificar.....	35
3.6.2. Refinar	36
3.6.3. Analizar	36
IV. RESULTADOS.....	37
4.1. Datos Estadísticos Descriptivos en el Afluente.....	37
4.2. Datos estadísticos en el Efluente.....	38
4.2.1. Análisis de Regresión de Superficie Respuesta	39
4.3. Graficas Factoriales para el Porcentaje de Remoción	43
4.4. Grafica de Contorno de Porcentaje de Remoción	45
4.5. Grafica de superficie de remoción vs Tiempo, Voltaje.....	46
4.6. Optimización de la Variable Respuesta	47
4.7. Análisis Estadístico del Indicador de Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	49
4.8. Análisis estadístico del indicador de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	50
4.9. Análisis Estadístico del Indicador Solidos Disueltos Totales (mg/L)	51
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
VI. CONCLUSIONES	55
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXOS	
Anexo 1: Plano de la celda de electrocoagulación	
Anexo 2: Panel Fotográfico	

Anexo 3: Reportes de laboratorio

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1	Análisis del consumo de agua para el proceso de producción avícola.....	9
Figura 2	Mecanismos de coagulación de partículas coloidales.....	11
Figura 3	Electrodisolución de un metal en un proceso de electrocoagulación.....	13
Figura 4	Sistema E.C. con Ánodo de Aluminio y Cátodo de Hierro.....	14
Figura 5	Unidades de Electrocoagulación de Flujos Horizontal y Vertical.....	15
Figura 6	Disposición de Electrodo en Modos Monopolar y Bipolar.....	15
Figura 7	Emulsión de aceite/agua Estabilizada por un Surfactante.....	18
Figura 8	Formación de agregados de Aceite	19
Figura 9	Valores máximos admisibles en descargas industriales.....	22
Figura 10	Depósitos de grasas en tuberías de alcantarillado sanitario	24
Figura 11	<i>Diseño Cuasi Experimental</i>	28
Figura 12	<i>Proceso de la Investigación</i>	29
Figura 13	<i>Centro de Faenamiento Avícola y el Lugar de Experimentación</i>	30
Figura 14	Distribución Volumétrica de la Celda de EC.....	31
Figura 15	Esquema del tratamiento con EC.....	32
Figura 16	Gráfica Normal de Efectos Estandarizados.....	41
Figura 17	Gráfica de residuos de la variable aleatoria	41
Figura 18	Gráfica de efectos principales para el porcentaje de remoción	44
Figura 19	Gráfica de interacción para la media del porcentaje de Remoción.....	45
Figura 20	Gráfica de contorno de porcentaje de remoción.....	45
Figura 21	Gráfica de superficie	47
Figura 22	Optimización del porcentaje de remoción de aceites y grasas.....	48
Figura 23	Comparación de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del afluente y efluente	49
Figura 24	Variación de la Temperatura $^{\circ}\text{C}$ del afluente y efluente	51
Figura 25	Comparación de SDT en el afluente y efluente	52

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de Variables	3
Tabla 2 Dimensiones de la Celda de Electrocoagulación	32
Tabla 3 Indicadores de la densidad de corriente	34
Tabla 4 Datos de la muestra madre o general en el afluente	37
Tabla 5 Estadísticos descriptivos de los parámetros en el afluente.....	37
Tabla 6 Datos de los tratamientos tomados en el efluente	38
Tabla 7 Anova o Análisis de Varianza (Andeva).....	39
Tabla 8 Resumen del modelo.....	42
Tabla 9 Coeficientes No codificados	43
Tabla 10 Predicción de respuesta múltiple.....	47
Tabla 11 Porcentaje de la remoción de la conductividad.....	49
Tabla 12 Variación de la temperatura.....	50
Tabla 13 Remoción de SDT	52

RELACIÓN DE ECUACIONES

Ecuación 1 Reacción Química del Aluminio en la Electrocoagulación.....	17
Ecuación 2 Reacción Química en el Cátodo inerte:.....	17
Ecuación 3 Oxidación del hierro en la electrolisis	18
Ecuación 4 Liberación del hidrogeno en el Cátodo.....	18
Ecuación 5 Producción de Hidróxido Férrico	19
Ecuación 6 Ecuación Optima de la Variable Respuesta	43

RESUMEN

Los efluentes residuales de los centros de faenamiento avícola, camales municipales e industrias con elevadas concentraciones de contaminantes descargan a la red de alcantarillado sanitario siendo un problema que se va agravando más en el Perú y en el mundo, ocasionando colapsos, obstrucciones y aniegos en las redes de alcantarillado siendo un peligro latente en la sociedad. El propósito principal de esta investigación fue la de evaluar la remoción de aceites y grasas aplicando el método de la electrocoagulación manejando variables independientes como la densidad de corriente y el tiempo de reacción. Los objetivos específicos estuvieron enfocados en diseñar una celda para llevar a cabo los procesos de la electrocoagulación como también cuantificar y optimizar la remoción de aceites y grasas. El estudio fue de tipo aplicado-científico con un diseño cuasi experimental ya que se realizó muestras separadas de pretest y postest para procesarlas con un método de diseño compuesto central (DCC). Los resultados mostraron dentro de los valores un máximo de 103.06 mg/L y un mínimo de 0.5 mg/L obteniendo como porcentaje de remoción 49.80% y 99.76% de aceites y grasas. De esa manera se comprobó que el método de la electrocoagulación aplicando la densidad de corriente y el tiempo de reacción si afecta en la remoción de aceites y grasas.

Palabras clave: Centro de faenamiento avícola, aniegos, electrocoagulación, aceites y grasas.

ABSTRACT

The wastewater effluents from poultry processing centers, municipal abattoirs, and industries with high concentrations of pollutants discharge into the sanitary sewer network, which is a problem that is worsening in Peru and the world, causing collapses, obstructions, and flooding in the sewer network, posing a latent danger to society. The main purpose of this research was to evaluate the removal of oils and fats by applying the electrocoagulation method, managing independent variables such as current density and reaction time. The specific objectives were focused on designing a cell to carry out the electrocoagulation processes as well as quantifying and optimizing the removal of oils and fats. The study was of an applied-scientific type with a quasi-experimental design since separate pretest and posttest samples were processed using a central composite design (DCC) method. The results showed maximum values of 103.06 mg/L and a minimum of 0.5 mg/L, achieving a removal percentage of 49.80% and 99.76% of oils and fats. Thus, it was proven that the electrocoagulation method, using current density and reaction time, does affect the removal of oils and fats.

Keywords: Poultry processing center, flooding, electrocoagulation, oils and fats.

I.INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos

1.1.1. *Objetivo General*

Evaluar la remoción de aceites y grasas manejando diferente densidad de corriente y tiempo de reacción empleando el método de la electrocoagulación en el tratamiento de las aguas residuales del centro de faenamiento avícola– Huaraz – 2022.

1.1.2. *Objetivos Específicos*

Diseñar y construir una celda de electrocoagulación a escala de laboratorio que ayude a remover y evaluar el parámetro de aceites y grasas del agua residual del centro de faenamiento avícola Huarcash.

Determinar la cantidad de aceites y grasas por medio de análisis de laboratorio en el afluente y en el efluente antes y después del tratamiento en la celda de electrocoagulación de las aguas residuales del centro de faenamiento avícola.

Optimizar la remoción de aceites y grasas evaluando la densidad de corriente y el tiempo de reacción en el tratamiento de las aguas residuales del centro de faenamiento avícola para cumplir con los valores máximos admisibles.

1.2. Hipótesis

1.2.1. *Hipótesis de Investigación*

Hi: El método de la electrocoagulación logra una remoción eficiente de aceites y grasas en el tratamiento de las aguas residuales del centro de faenamiento avícola cumpliendo así los valores máximos admisibles.

1.2.2. Hipótesis Nula

H₀: El método de la electrocoagulación no logra una remoción eficiente de aceites y grasas en el tratamiento de las aguas residuales del centro de faenamiento avícola cumpliendo así los valores máximos admisibles.

1.2.3. Hipótesis Alternativa

H_a: El método de la electrocoagulación remueve eficientemente el parámetro de aceites y grasas en el tratamiento de las aguas residuales del centro de faenamiento avícola cumpliendo así los valores máximos admisibles.

1.3. Variables

En la investigación se tiene variables operacionales y respuesta, con el objeto de evaluar la diferencia o remoción entre la entrada y salida de la variable respuesta que se realizó por el método de la EC en una celda especial tipo Bach en las aguas residuales del centro de faenamiento avícola – Huaraz – 2022.

1.3.1. Variable Independiente

Las dimensiones que tendrá la variable independiente son condiciones físicas y eléctricas analizadas en el afluente y efluente que pasa por el tratamiento de electrocoagulación teniendo 2 variables independientes,

- a. Densidad de corriente
- b. Tiempo de reacción

1.3.2. Variable Dependiente

Es una variable continua que se expresa en porcentaje de remoción entre el afluente y efluente del agua residual del centro de faenamiento avícola, las dimensiones de esta variable son condiciones físico químicas.

- a. Remoción de Aceites y grasas

Tabla 1
Operacionalización de Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN	TIPO DE DATO	MÉTODO
Densidad de corriente	El abasto de corriente al sistema de EC establece la cantidad de iones Al+3 liberados por las respectivas placas. Cuando se usa una corriente muy grande, hay una transformación de energía eléctrica en energía calórica que calienta el fluido y disminuye la eficacia.	Cantidad de corriente por unidad de área a través de un conductor. Su medida está dada por la relación entre la corriente instantánea que pasa la sección transversal de la placa y la sección de la misma.	Condición física y eléctrica	(voltaje)	V	Número Continuo	Medición in situ
				Sección transversal del conductor	m ²	Número continuo	Determinación en gabinete
Tiempo de reacción	Dimensión física que representa la sucesión de estados y reacciones por los que pasa fluido dentro de la celda de E.C.	Duración de las reacciones físico químicas de tipo magnitud escalar intensiva	Condición física	Tiempo	Min	Número continuo	Medición in situ
				Volumen	L	Número Continuo	Medición in situ
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN	TIPO DE DATO	MÉTODO
Remoción de aceites y grasas(mg/l) en las aguas residuales del camal avícola.	Concentración de carga contaminante medido en aceites y grasas que es removida del agua residual la cual será comparada con el DS N° 010-2019-VIVIENDA (VMA)	Parámetro que representa la relación entre la disminución del contaminante del afluente y influente.	Condiciones fisicoquímicas del afluente y efluente de la celda de EC	SDT	mg/L	Número Continua	APHA 2540 D (*)
				Conductividad	µS/cm	Número continuo	APHA 2510 B
				Temperatura	T°	Número continuo	APHA 2550 B (*)
				Aceites y grasas	mg/L	Número continuo	ASTM D7678-17 (TOG)

Nota: El parámetro principal de la variable dependiente aceites y grasas será realizado en un laboratorio acreditado por la INACAL



II.MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacional

Martínez (2007) en su tesis de doctorado denominado “Tratamiento de aguas residuales industriales mediante Electrocoagulación y Coagulación convencional” estudió la aplicación de los procesos de electrocoagulación en el tratamiento de efluentes acuosos contaminados con materia coloidal, soluble, o con emulsiones aceite-agua O/W empleando como material electródico el aluminio. La dirección de la investigación es descriptiva de diseño experimental. Los resultados de la tesis afirmaron que la concentración de aluminio aumenta linealmente con la carga eléctrica, por otro lado, elevados valores de densidad de corriente conllevan una menor eficacia en el proceso de electrodisolución, conjuntamente la velocidad de reacción aumenta significativamente en condiciones alcalinas mientras, la salinidad y la naturaleza de los iones que constituyen el electrolito no parecen afectar significativamente a la velocidad de electrodisolución.

Jiménez, (2018) en su tesis denominada “Reducción de DQO por tratamientos físico-químicos de coagulación-floculación y electrocoagulación en aguas residuales” determino la eficiencia de reducción de DQO mediante el tratamiento de electrocoagulación iniciando el proceso con la caracterización antes y después y corroborando el tratamiento mediante ensayos de laboratorio. Se utilizaron diseños experimentales con dos repeticiones que corresponde al Diseño Factorial Completamente Aleatorio (DFCA) también se realizó un análisis estadístico ANOVA de un solo factor. Empleando la intensidad de corriente en 10 y 30 conjuntamente con el tiempo de 30, 45 y 60 minutos se realizó los 6 tratamientos. Dando como resultado en el análisis de varianza que la intensidad, el tiempo y la relación entre los 2 son significativos teniendo una eficiencia de remoción de 94.52% con 60 minutos de reacción y 30 amperios de intensidad.



Aguilar y Sarmiento, (2020) en su tesis de grado denominado: "Diseño de un prototipo de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de las aguas residuales de industrias lácteas: caso Combilac" diseñó un prototipo de celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales vertidas por la empresa Combilac y también evaluó la eficiencia de remoción de los contaminantes presentes en el agua. El método de la tesis consistió en realizar en 3 fases: toma de muestra y análisis, construcción de un prototipo a escala de una celda de electrocoagulación y la evaluación de la eficiencia del prototipo. Este último se evaluó por medio del porcentaje de remoción de los parámetros físico-químicos generando los siguientes resultados: En DBO_5 mayor a 39%, Nitritos mayor a 3%, Fosfatos mayor a 35%, sólidos suspendidos totales mayor a 96%, sólidos sedimentables SSED el 100%, sólidos disueltos totales TDS mayor a 29%, Conductividad mayor a 69%, Turbidez mayor a 65% y un potencial de hidrogeno neutro entre. Los parámetros de tiempo de retención fueron de 42 minutos, con 15 voltios y 2 amperios.

2.1.2. Nacional

Morales, (2018) en su tesis titulada: "Remoción de aceites y grasas de un efluente industrial del sector lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio" realizó el tratamiento de las aguas residuales no domesticas de la empresa Gloria S.A ubicada en Huachipa. En su tesis se usó el método de la electrocoagulación con electrodos de aluminio en un reactor de 5 litros en donde se tomó 3 muestras en intervalos de 5 minutos a 3 diferentes densidades de corriente las restantes variables de manipulación concluyentes en la parte experimental son la disposición de las placas de aluminio, las dimensiones y las separaciones entre las placas, de tal manera que se utilicen óptimamente y así conseguir el mejor resultado. Posteriormente del proceso, los resultados medios de los parámetros físicos fueron: potencial de Hidrogeno que estaba en el rango de 7.07 a 8.01, la temperatura con una variación entre 29 y 30.5 °C, turbiedad 357 NTU y (SST) de 32.2 mg/L. El porcentaje de remoción de Aceites y grasas



se encuentra entre 65.89% y 70.30% a 25 minutos de tiempo de reacción y la remoción en cuanto a la DQO fue de un 72.20% a 75.38%.

Quispe, (2015) en su tesis denominada “Electrocoagulación en la remoción de mercurio de las aguas residuales en el centro poblado la Rinconada- Puno” evaluó la remoción de mercurio utilizando la electrocoagulación de las aguas residuales procedentes de la Rinconada. Los ensayos se llevaron a cabo utilizando diferente muestra de las actividades mineras realizadas. El diseño fue un experimento compuesto central con variables como la D.C (J) de 3.31 y 6.61 mA/cm², concentración de cloruro de sodio de 1 y 3 g/L y tiempo de reacción de 15 y 30 minutos. El potencial de hidrogeno se mantuvo constante durante el tratamiento por electrocoagulación. Los ensayos se realizaron por porciones en una celda con capacidad de 1 litro, con placas de aluminio de separaciones cada 2 centímetros, acomodados de forma impar y paralela, los cuales se vincularon a una batería de poder para la modificación de la corriente y diferencia de potencial. En cuanto a los resultados se obtuvieron altos porcentajes de remoción de mercurio hasta del 97.00% (0.018 mg/L) y 94.93% (0.026 mg/L) en las muestras de agua residual M-1 y M-2 respectivamente a una densidad de corriente de 6.61 mA/cm², concentración de NaCl de 3 g/L y 30 minutos de tratamiento.

Choque, (2019) en su tesis denominado “Tratamiento de aguas residuales en la industria textil, por el método de Electrocoagulación” analizó mediante experimentación las eficiencias del tratamiento de aguas residuales de la industria textil por el método no convencional de Electrocoagulación a diferentes niveles de Amperaje y Caudal. Se siguió una metodología experimental, realizando la caracterización, tratamiento y análisis de la muestra antes y después del empleo de la E.C. Se manipuló placas de hierro en forma rectangular a una separación de 2 cm entre ellas, evitando la formación de espumas. Se utilizó un valor inicial de 9,12 y 15 voltios con 0.22, 0.27, 0.32 L/min de caudal de entrada. La celda de E.C. se dividió en “zona de bomba”, “zona de reacción” y “zona de flotación de espumas y sedimentación”. Los resultados indican que se removió un 54.1%



de DQO a una D.C. optima de 57.2 A/m² y el tiempo de retención hidráulica optima fue de 50 minutos generando los mejores niveles de remoción.

2.1.3. Local

Aguilar y Palian, (2020) en su tesis de grado titulado “Influencia de la densidad de corriente y del tiempo de residencia en la remoción de fosfatos de una solución sintética por Electrocoagulación, utilizando electrodos de aluminio a nivel laboratorio” determinó la influencia de la densidad de corriente y el tiempo de residencia en la remoción de fosfatos utilizando electrodos de aluminio. El tiempo de reacción fue de 10, 35 y 60 minutos, la densidad de corriente fue de 1.321964, 3.965893, 6.609822 mA/cm², el agua residual a tratar fue una solución sintética elaborada en el laboratorio. Los resultados obtenidos indican que se removió 85.9% de los contaminantes en DQO y se determinó que la D.C. y tiempo de reacción optima fue de 1,32 mA/cm² y 10 minutos. El amperaje optimo es 5 A, El mejor tiempo del proceso es de 15 minutos y un potencial de hidrogeno del efluente es de 7,12. Por otro lado, la remoción de fosfatos no es significativa de acuerdo con el estudio de la varianza ya que la remoción está en el orden del 40% al 60 % de remoción.

Rojas Monar, (2017) en su tesis de grado denominado “Reducción de la DQO del agua del río Lacramarca mediante el proceso de electrocoagulación, Chimbote-2017” demostró la reducción del contaminante en estudio mediante el proceso de electrocoagulación según el tiempo utilizado (1 hora, 2 horas, 3 horas y 4 horas) y el voltaje (5V, 6V, 7V y 8V) con separación de placas de 2 cm entre ellas y celda de dimensiones 19cm x 10.5cm x 15cm. Como ensayo inicial se realizaron tres muestras de agua del río Lacramarca en la que se consiguieron los siguientes resultados: La primera muestra con 1750.52 mg/l, la segunda muestra 1842.9 mg/l y la tercera muestra con 1898.1 mg/l. La mayor remoción en el tratamiento fue de 89.5% logrado en el primer tratamiento manejando 4 horas y una energía de trabajo de 8V, en el tratamiento 2 el



porcentaje de remoción fue de 91.3% siendo el mayor utilizando 4 horas y una energía de trabajo de 8V y en la muestra 3 se obtuvo el mejor porcentaje de remoción de 92.9% utilizando 4 horas y una energía de trabajo de 8V; infiriendo que, a mayor tiempo y mayor voltaje, el porcentaje de remoción de la DQO será mayor.

2.2. Bases Teóricas

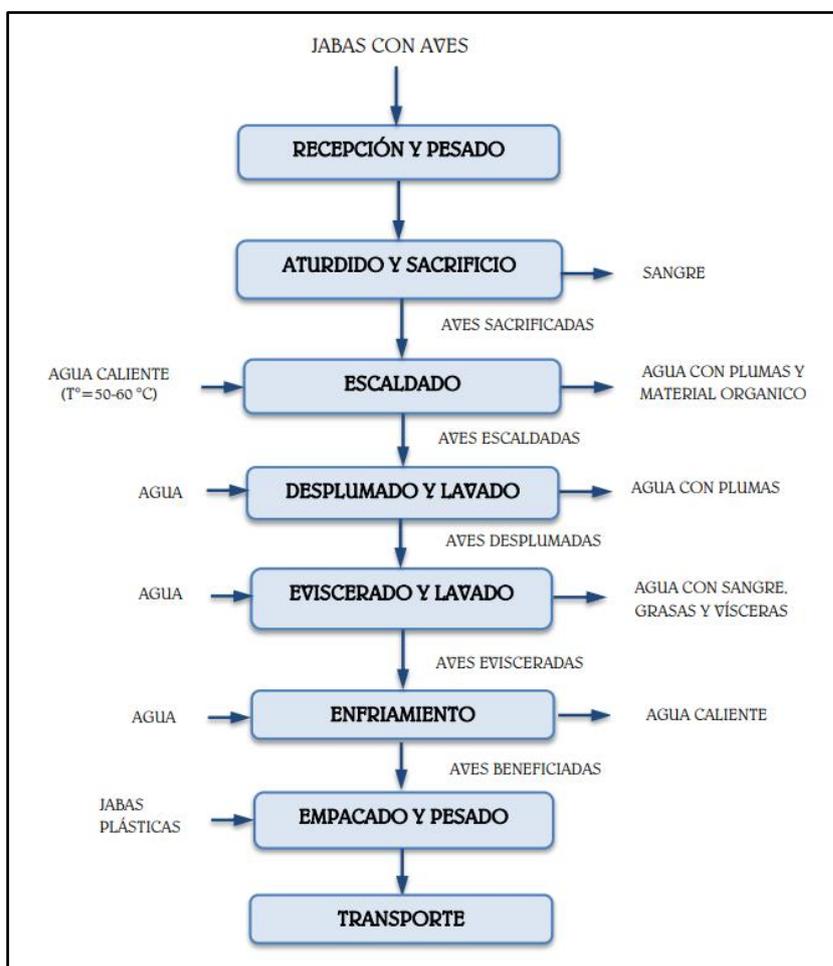
2.2.1. Particularidades del Agua Residual Industrial

Según Martínez (2007) los efluentes de las industrias son acuosos contaminados con materia coloidal, soluble, o con emulsiones agua y aceite O/W. Por otro lado, Villegas (1997) menciona que los efluentes residuales industriales son los provenientes de una fábrica o empresa que produce cualquier clase de material o artículo sometido a una compra y venta en el mercado y son diferentes de los fluidos de suministros utilizados por el establecimiento en sus procesos de producción, aquí pueden incluirse algunas corrientes generadas en el comercio y los hospitales o similares.

2.2.2. Proceso de Faenamiento en la Industria Avícola

El faenamiento de avícola involucra una serie de pasos que conllevan en procesar un pollo vivo en un pollo faenado listo para su cocción, este pollo faenado puede venderse por partes, fileteado, entero, molido o cortado en presas, por otro lado, el objetivo principal del faenamiento de pollo de carne, es el producir carne de consumo humano, sin embargo, el proceso genera subproductos comestibles y no comestibles, que son utilizados para la fabricación de: embutidos, alimentos balanceados para mascotas, abonos orgánicos, biogás Cruz, (2016). En la siguiente figura podemos observar el análisis del proceso de producción y el uso de agua para el faenamiento.

Figura 1

Análisis del consumo de agua para el proceso de producción avícola

Fuente: Acosta, (2016, pág. 40) Propuesta de un sistema de tratamiento de efluentes para la obtención de agua reutilizable en el centro de beneficio avícola Andy SRL.

2.2.3. Teoría de la Coagulación Convencional

Según Cánepa et al., (2004), el agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles; entre estas últimas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad, así mismo menciona que, esta carga superficial origina la atracción de iones de signo

contrario presentes en el seno de la disolución, que se concentran alrededor de las partículas, dando lugar a la formación de una capa difusa de iones, que provoca que las fuerzas de repulsión entre las partículas predominen sobre las fuerzas de atracción.

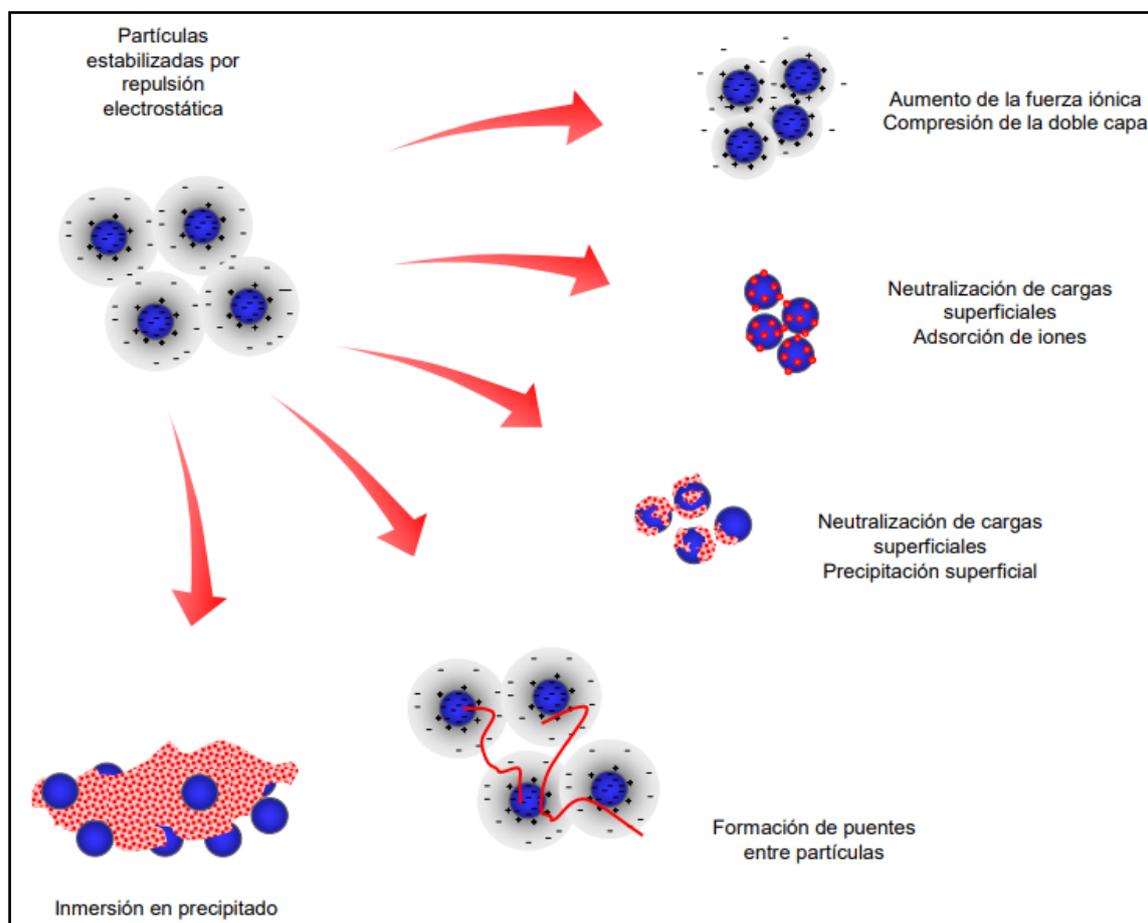
Martínez (2007)

En consecuencia, definen a la coagulación como un proceso que consiste en desestabilizar las partículas para que se unan y formen sólidos de mayor tamaño, lo que aumenta la velocidad de sedimentación y permite su tratamiento mediante decantación, este proceso es complejo y se compone de múltiples procesos sencillos. Andía, (2000)

En efecto, en el estudio de nos explica que existen 4 mecanismos diferentes de desestabilización que son: La compresión de la capa difusa, Adsorción y neutralización de la carga, Inmersión dentro de un precipitado y Adsorción que permita un enlace de tipo puente entre las partículas. Martínez (2007)

Por otro lado, Snel y Arboleda, (1982) denominaron coagulación al proceso de desestabilización y posterior agregación de partículas en suspensión coloidal presentes en el agua, para potenciar la etapa de decantación o espesado en la que esas partículas deben separarse del agua, por otro lado, la desestabilización se consigue neutralizando sus cargas eléctricas, con lo que dejan de actuar las fuerzas de repulsión, su potencial Zeta se anula y los coloides tienden a agregarse por acción de masas tienden a agregarse por acción de masas por lo tanto, el objetivo de la coagulación como proceso previo a la decantación es cambiar las propiedades de los elementos insolubles de modo que sean más fácilmente propiedades de los elementos insolubles, de modo que sean más fácilmente separables.

Figura 2

Mecanismos de coagulación de partículas coloidales

Fuente: Martínez (2007, pág. 20)

2.2.4. Electrocoagulación

Martínez (2007) menciona que la electrocoagulación (E.C.) es una transformación electroquímica en el que los compuestos del ánodo son utilizados para agrupar la materia coloidal en aguas residuales o romper una emulsión, permitiendo su separación por técnicas convencionales, el proceso utiliza materiales anódicos como electrodos de Fe y Al, y al aplicar diferente pH se generan iones en disolución posibilitando la separación del líquido y el sólido mediante técnicas de depuración como la decantación y/o flotación; así mismo, la transformación electroquímica de desestabilización de un coloide o emulsión es parecida a un proceso químico típico de coagulación (o de ruptura de emulsión), ambos procesos tienen por objetivo la desestabilización de los coloides, o de las

microgotas de aceite contenidas en un agua, y se diferencian en el modo de adición del reactivo: en coagulación convencional el reactivo se añade como sal y en electrocoagulación se genera a partir de un metal.

2.2.5. Reactor o Celda Electroquímica

Se usa un dispositivo electroquímico que está compuesto principalmente por un contenedor en el cual se sumergen los electrodos: el ánodo o electrodo activo y el cátodo, y una fuente de energía a la cual se conectan los electrodos. Martínez (2007).

El reactor utilizado para realizar la electrocoagulación en una operación por batch, en su forma más simple, está formado por una celda electroquímica con un ánodo y un cátodo dispuestos en forma vertical y conectados a una fuente de energía externa; el material anódico se corroe eléctricamente debido a la oxidación, mientras que el cátodo permanece pasivo. Arango, (2005)

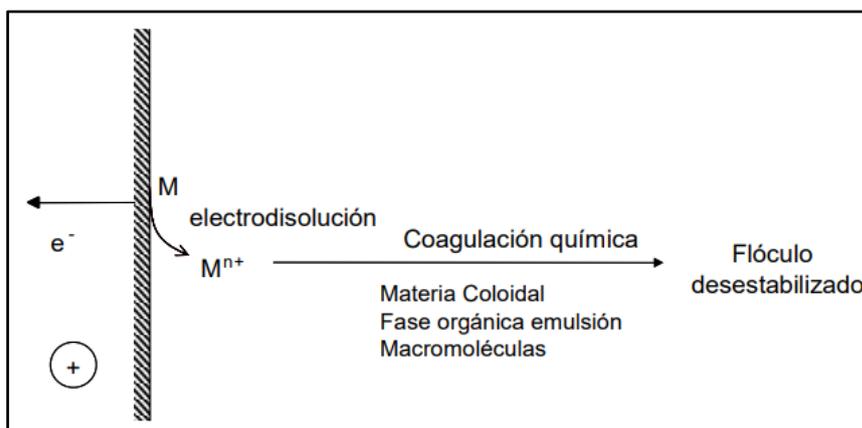
Cuando se establece una diferencia de potencial entre los electrodos de la celda, se inician los procesos de reducción en el cátodo, que normalmente implica la transformación de protones de agua en hidrógeno, y los procesos de oxidación en el ánodo, que producen el ion Al^{+3} si el ánodo es de aluminio, o el Fe^{+3} si el ánodo es de hierro, además de los coagulantes, en la celda electroquímica se producen otros procesos importantes en el proceso de coagulación. Martínez (2007)

En la proximidad del ánodo se genera oxígeno por oxidación del agua, lo que conduce a la formación de iones H^+ atraídos hacia el cátodo, por otro lado, en el cátodo, la reducción del agua da lugar a la formación de iones hidroxilo (OH^-) atraídos hacia el ánodo, consecuentemente, los iones de aluminio o hierro se hidratan rápidamente y dan lugar a la formación de hidróxidos insolubles del metal que retienen los contaminantes Hierro o Aluminio, así como de hidroxocomplejos cargados que permiten la coagulación por neutralización de cargas. Mollah et. al, (2004)

La evolución de gases electródicos dentro de una celda electroquímica produce una mezcla suave que favorece la floculación, y el campo eléctrico generado por las placas facilita el movimiento de los coloides, concediendo así que choquen entre sí, sin necesidad de agitación mecánica, este proceso se conoce como electrofloculación y disminuyendo los costos de mantenimiento del proceso al no tener elementos móviles, así mismo, se puede realizar en un espacio reducido los mismos procesos que en los procesos convencionales que ocurren en volúmenes mucho mayores. Koren y Syversen, (1995)

Figura 3

Electrodisolución de un metal en un proceso de electrocoagulación

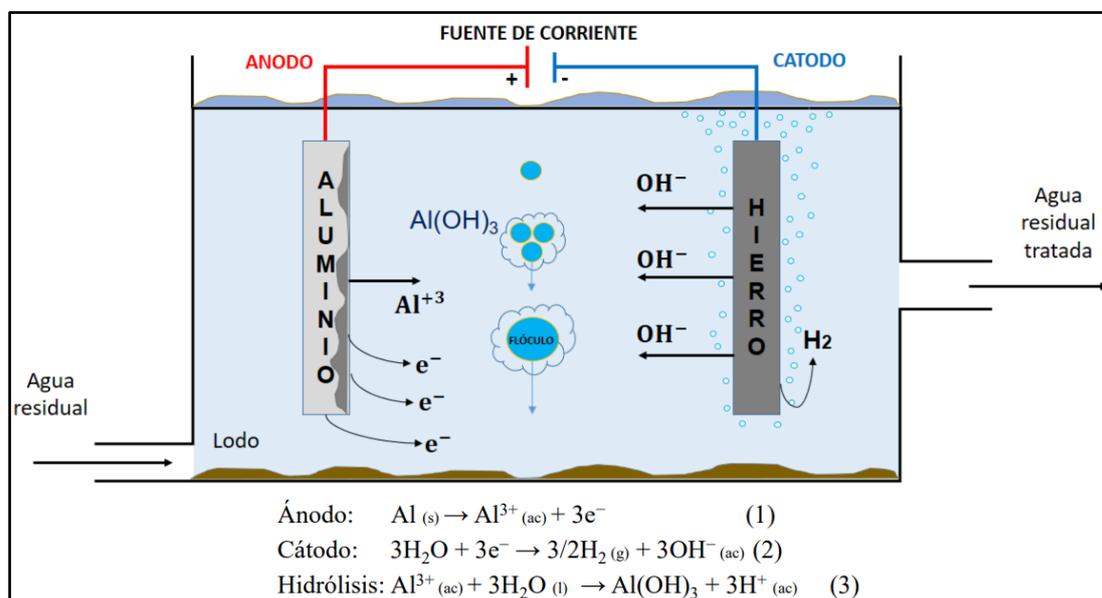


Fuente: Martínez (2007) Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional.

Si bien no existen balances económicos exhaustivos, en bibliografía se afirma que los costes operativos de los procesos de electrocoagulación son más bajos que los correspondientes a los tratamientos físico-químicos convencionales, aunque la inversión necesaria es algo superior. Martínez (2007, pág. 27)

Figura 4

Sistema E.C. con Ánodo de Aluminio y Cátodo de Hierro



Fuente: Silis Cano et. al, (2017) en sus tesis "Un proceso integrado de fitomediación de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales industriales mixtas"

2.2.6. Configuración Eléctrica Para la Electrocoagulación

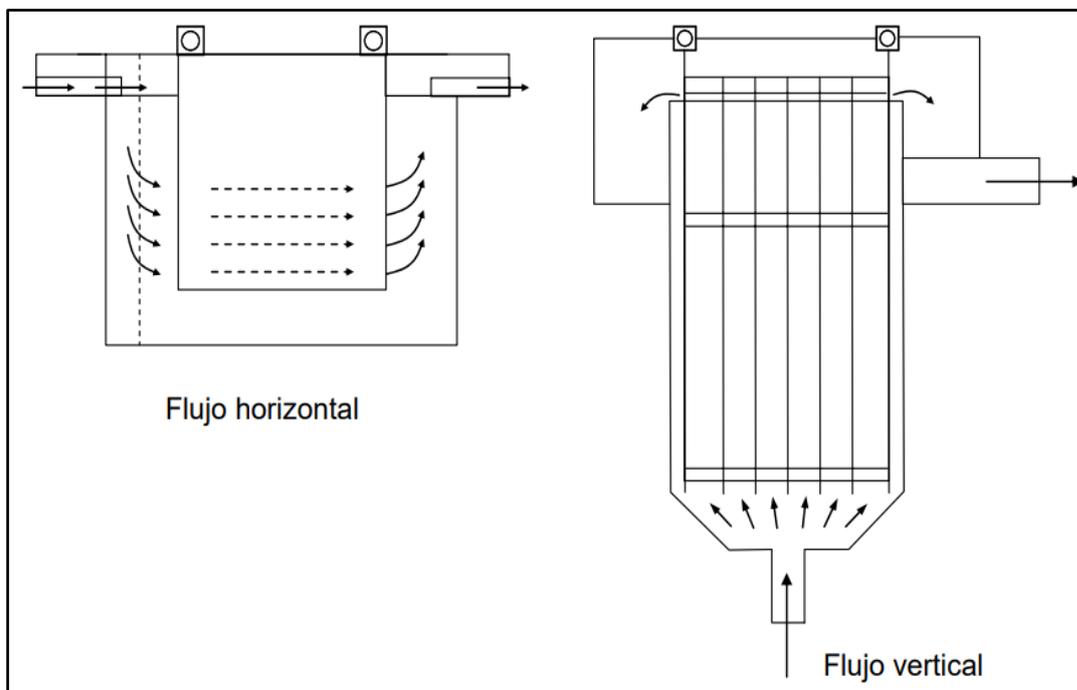
En la investigación de Martínez (2007) menciona que un reactor o celda de EC se puede clasificar en unidades de flujo horizontal y vertical, configuración que puede ser aprovechada por el oxígeno, también existen de varios canales o un único canal teniendo ventajas en la disposición del electrodo ya que puede ayudar al fenómeno de pasivación de las placas de Al y Fe, dichas configuraciones se observan en la Figura 5.

Los reactores se pueden clasificar en monopolares y bipolares, según el tipo de conexión eléctrica y la configuración bipolar funciona con un voltaje mayor, pero a una menor intensidad en comparación con la monopolar; Las celdas bipolares tienen la ventaja de su sencilla disposición, ya que solo se requiere la conexión de dos electrodos, sin embargo, un elevado potencial entre electrodos puede causar que parte de la corriente fluya a través de la disolución, generando un "bypass de corriente" en los

electrodos bipolares, lo que resulta en pérdidas de corriente. Chen, (2003). Véase en la Figura 6.

Figura 5

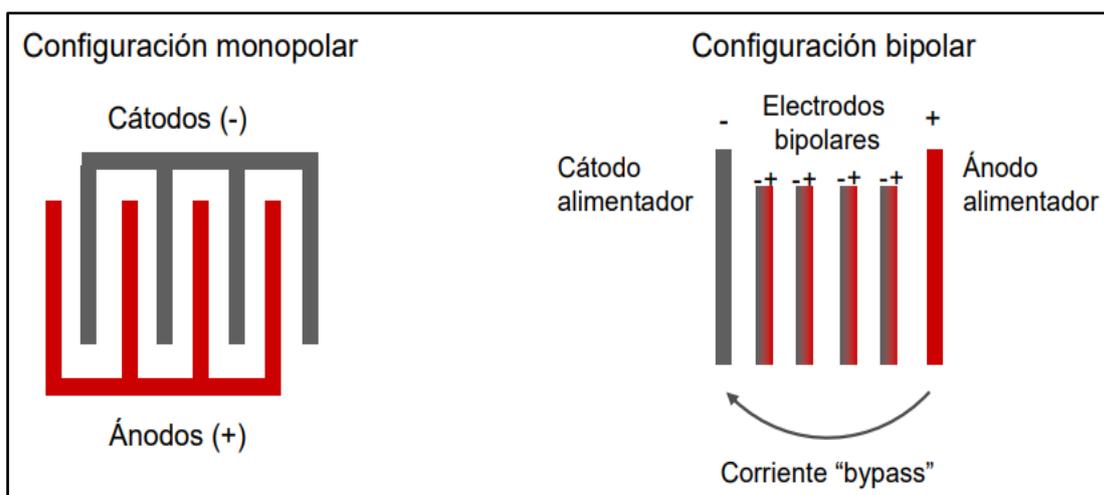
Unidades de Electrocoagulación de Flujos Horizontal y Vertical



Fuente: Chen, (2003) Electrochemical technologies in wastewater treatment.

Figura 6

Disposición de Electrodo en Modos Monopolar y Bipolar.



Nota: Fuente: Martínez (2007, pág. 32) Tratamiento de agua residual industrial

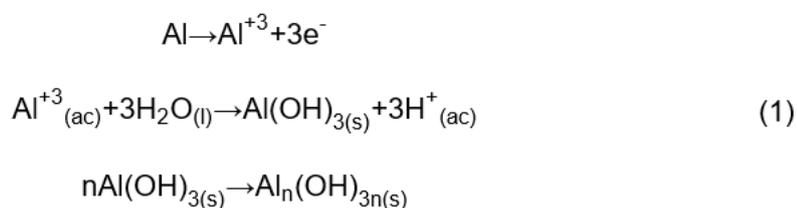
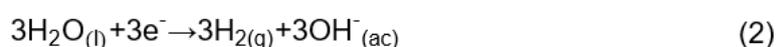
2.2.7. Reacciones Químicas en la Celda de Electrocoagulación

Las siguientes reacciones separadas son causadas por la diferencia de potencial aplicado a los ánodos o placas metálicos durante el proceso.

- a. Hidrolisis a hierro polimérico o hidróxido de aluminio. “Estos hidróxidos poliméricos son excelentes coagulantes, que posteriormente dan origen a la coagulación, la cual ocurre cuando cationes metálicos generados en el ánodo son combinados con partículas negativas; ocasionando que la repulsión electrostática entre estas partículas disminuya, en la medida que la atracción de Van Der Waals predomine; causando la coagulación”. Chen, (2003)
- b. Reducción catódica de las impurezas presentes en el agua residual. Arango y Gárces, (2007)
- c. Electroflotación de las partículas coaguladas debido a las burbujas de O₂ y H₂ producidas en los electrodos. Martínez (2007)
- d. Reducción de los iones metálicos en el cátodo. Martínez (2007)
- e. Al momento que el potencial es aplicado desde la fuente externa de energía, el electrodo que cumple la función de ánodo sufre una oxidación, mientras que el cátodo es sometido a reducción. Martínez (2007)

En el estudio de Arango y Gárces (2007) cuando el aluminio actúa como ánodo se han propuesto dos mecanismos que explican la formación in situ de dos posibles coagulantes las cuales generan reacciones expresadas en ecuaciones generales del proceso.

Así mismo, ocurre para el electrodo de hierro formando coagulantes in situ como hidróxido ferroso o hidróxido férrico. Mollah et. al (2001)

Ecuación 1**Reacción Química del Aluminio en la Electrocoagulación****Ecuación 2****Reacción Química en el Cátodo inerte:**

Los iones Al^{+3} en combinación con los OH^- reaccionan para formar algunas especies monoméricas como $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}_2(\text{OH})_2^+$, y otras poliméricas, tales como $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$, $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$, y $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$, que por procesos de precipitación forman el $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}^+$, como se muestra en la reacción de ánodo.

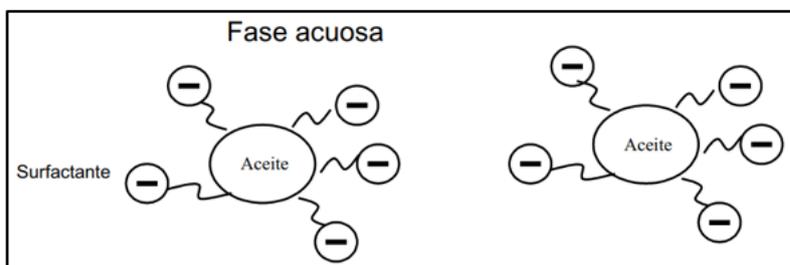
Restrepo et. al (2006).

El $\text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})}^+$ 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. Restrepo et. al (2006)

2.2.8. Aplicación de la Electrolisis a una Emulsión Aceite-Agua

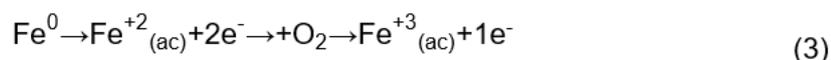
En la investigación de Arango y Gárces (2007) nos menciona que, una emulsión es una dispersión en la cual el aceite constituye la fase dispersa y el agua forma la fase continua además los grupos aniónicos en la molécula de surfactante previene la agregación y coagulación de las gotas de aceite vía repulsión electrostática.

Figura 7

Emulsión de aceite/agua Estabilizada por un Surfactante

Fuente: Arango y Gárces (2007) La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales.

En la electrólisis, si se usa un ánodo de sacrificio de hierro (Fe), ocurre una oxidación del Fe a Fe⁺², el cual luego es oxidado a iones Fe⁺³.

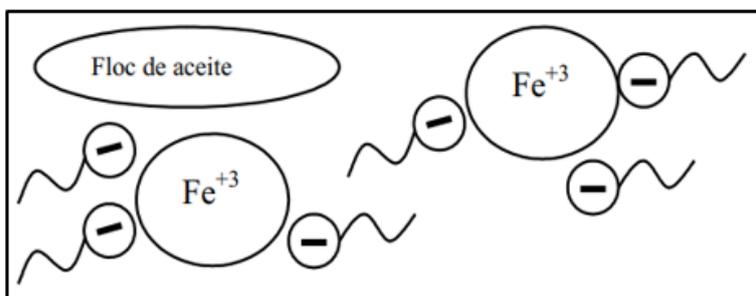
Ecuación 3**Oxidación del hierro en la electrólisis**

Mediante la electrólisis, se produce un aumento en la fuerza iónica del medio, y los cationes electrogenerados, los cuales tienen una alta carga de +3, neutralizan de manera efectiva la superficie cargada de las moléculas de surfactante. Además, durante este proceso se libera hidrógeno en el cátodo. Arango y Gárces (2007)

Ecuación 4**Liberación del hidrogeno en el Cátodo**

El pH del medio aumenta como consecuencia del electrólisis. El resultado de la reacción, ecuaciones 1 y 2, es que la emulsión es desestabilizada y las partículas de aceite coloidal comienzan a agregarse. Arango y Gárces (2007)

Figura 8

Formación de agregados de Aceite

Fuente: Arango y Gárces (2007) La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales.

2.2.9. Formación de un lodo rico en aceite

En la investigación de Arango & Gárces (2007) la reacción entre el Fe^{+3} formado electroquímicamente y los OH^- formados en el cátodo produce hidróxido férrico, según la siguiente reacción:

Ecuación 5**Producción de Hidróxido Férrico**

Las gotas de aceite desestabilizadas flotan en el hidróxido férrico formado, llegando a la superficie donde es removido con facilidad por una operación de desnatado con un sistema patentado para la electrocoagulación que utiliza un electrodo de hierro como electrodo de sacrificio opera a 20 voltios con un rango de corriente de 15 - 35 amperios, así mismo, el agua residual requiere suficiente conductividad para la operación de la celda y para prevenir neutralidad del material del electrodo. Arango & Gárces (2007)

2.2.10. Dosificación de Coagulante en la Electrocoagulación

En los procesos de electrocoagulación los electrodos (ánodos) más utilizados son de aluminio o hierro donde son electroquímicamente oxidados produciendo los coagulantes iónicos de Al^{+3} y Fe^{+3} (o Fe^{+2}) respectivamente. Harif et. al (2012)

En la electrocoagulación, los electrodos de la celda electroquímica son conectados a una fuente de poder eléctrica utilizando la ley de Faraday pueden emplearse para describir la relación entre la densidad de corriente y la cantidad de electrodo disuelto en la solución Eilen et. al (1984)

2.2.11. Ventajas y Desventajas de la Electrocoagulación

Entre las principales ventajas y desventajas de la electrocoagulación tenemos;

- Requiere equipos relativamente simples, fáciles de utilizar. Chen (2003)
- Las aguas residuales tratadas por electrocoagulación dan un agua sabrosa, clara, descolorida e inodora. Chen (2003)
- El lodo formado tiende a ser fácilmente manejable y fácil de desecar, porque se compone principalmente de óxidos/hidróxidos metálicos. Chen (2003)
- Los flocs formados son similares a los flocs producidos por coagulación química, excepto que los primeros tienden a ser mucho más largos, contienen menos agua superficial, son ácido-resistentes y son más estables, por ello pueden ser separados más rápido por filtración. Chen (2003)
- Produce efluentes con menos contenido de sólidos disueltos totales (SDT) comparados con tratamientos químicos, además, si se reutiliza el agua, el bajo nivel de SDT contribuye a un costo inferior en la recuperación del agua. Piña et. al (2011)
- Remueve las partículas coloidales más pequeñas, debido a que el campo eléctrico aplicado incrementa su movimiento facilitando la coagulación. Piña et. al (2011)

- Se evita el uso de agentes químicos, eliminando así el problema de neutralizar el exceso de químicos y la posibilidad de una contaminación secundaria provocada por los mismos, cuando la coagulación química es utilizada. Piña et. al (2011)
- Las burbujas de gas producidas durante la electrólisis pueden transportar los contaminantes a la superficie de la solución, donde estos pueden ser más fácilmente concentrados, colectados y removidos. Piña et. al (2011)
- Los procesos electrolíticos en la celda son controlados eléctricamente sin dispositivos mecánicos lo que requiere menos mantenimiento. Chen (2003)
- Puede utilizarse convenientemente en áreas rurales donde no se dispone de electricidad, puesto que un panel solar unido a la unidad puede ser suficiente para realizar el proceso. Chen (2003)

Las principales desventajas del proceso de EC

- Los “electrodos de sacrificio” se disuelven en la corriente residual como resultado de la oxidación y necesitan ser reemplazados regularmente. Mollah et. al (2001)
- El uso de electricidad puede ser costoso en muchos lugares. Mollah et. al (2001)
- Una película impermeable de óxido se puede formar en el cátodo conduciendo a la pérdida de la eficiencia de la unidad de electrocoagulación. Mollah et. al (2001)
- Se requiere alta conductividad de la suspensión de las aguas residuales. Mollah et. al (2001)
- El hidróxido gelatinoso puede tender a solubilizarse en algunos casos. Mollah et. al (2001)

2.2.12. Valores Máximos Admisibles

El Decreto Supremo N° 010-2019-Vivienda que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, establece parámetros que regulan el procedimiento para controlar las descargas no domésticas preservando las instalaciones, infraestructura sanitaria, máquinas y equipos de los servicios de alcantarillado sanitario e incentiva el tratamiento de las aguas residuales garantizando la sostenibilidad y disminuyendo el riesgo sobre el personal del prestador de servicios de saneamiento que este al contacto de las aguas residuales industriales según el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. MVCS, (2019)

Figura 9

Valores máximos admisibles en descargas industriales

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

2.2.13. Componentes que Influyen la Electrocoagulación

Entre los principales parámetros tenemos:

2.2.13.1. Densidad de corriente

Al utilizar una corriente excesivamente alta en el proceso de electrocoagulación, existe una alta posibilidad de que la energía eléctrica se pierda transfiriéndose al agua, por lo tanto, una densidad de corriente excesiva resultaría en una disminución significativa en la eficiencia de la corriente, la cantidad de iones está determinada por la corriente inducida aplicada a los

electrodos, es decir, para garantizar una eficiencia de remoción, es necesario seleccionar una densidad de corriente adecuada y combinarla con otros parámetros que afecten el mencionado proceso. Chen (2003)

2.2.13.2. Temperatura

El tamaño de los poros del gel de hidróxido de aluminio se reduce al aumentar la temperatura, lo cual conduce a la formación de flóculos más compactos capaces de adherirse mejor a la superficie del electrodo. Al igual que ocurre con la eficiencia actual, el consumo de energía alcanza su máximo a una temperatura ligeramente inferior, específicamente a 35 °C, cuando se trata de aguas residuales que contienen aceite. En consecuencia, una temperatura más alta provoca una mayor conductividad y, por lo tanto, un mayor consumo de energía. Chen (2003)

2.2.13.3. Conductividad

La contribución iónica del cloruro de sodio en la realización de la carga eléctrica reduce considerablemente el efecto negativo que tienen otros aniones tales como HCO₃ y SO₄ ya que estos aniones son los que hacen precipitar a los cationes Ca y Mg causantes de la dureza del agua las cuales crean una película aislante en la superficie de las placas disminuyendo la eficiencia de remoción. Chen (2003)

2.2.13.4. Potencial de Hidrogeno (pH)

La eficiencia del tratamiento está en función a la naturaleza de los contaminantes por lo tanto la mejor remoción encontrada es cerca al pH neutro, así mismo, cuando se tiene un efluente básico y/o ácido el tratamiento con electrocoagulación ayuda a estabilizar a un pH neutro siendo esta una de las ventajas de este tratamiento, en consecuencia, el aumento de pH en condiciones ácidas se atribuye al desprendimiento de hidrogeno en el cátodo, así mismo el aumento de pH se cree que es debido a la liberación de CO₂ e OH. Chen (2003)



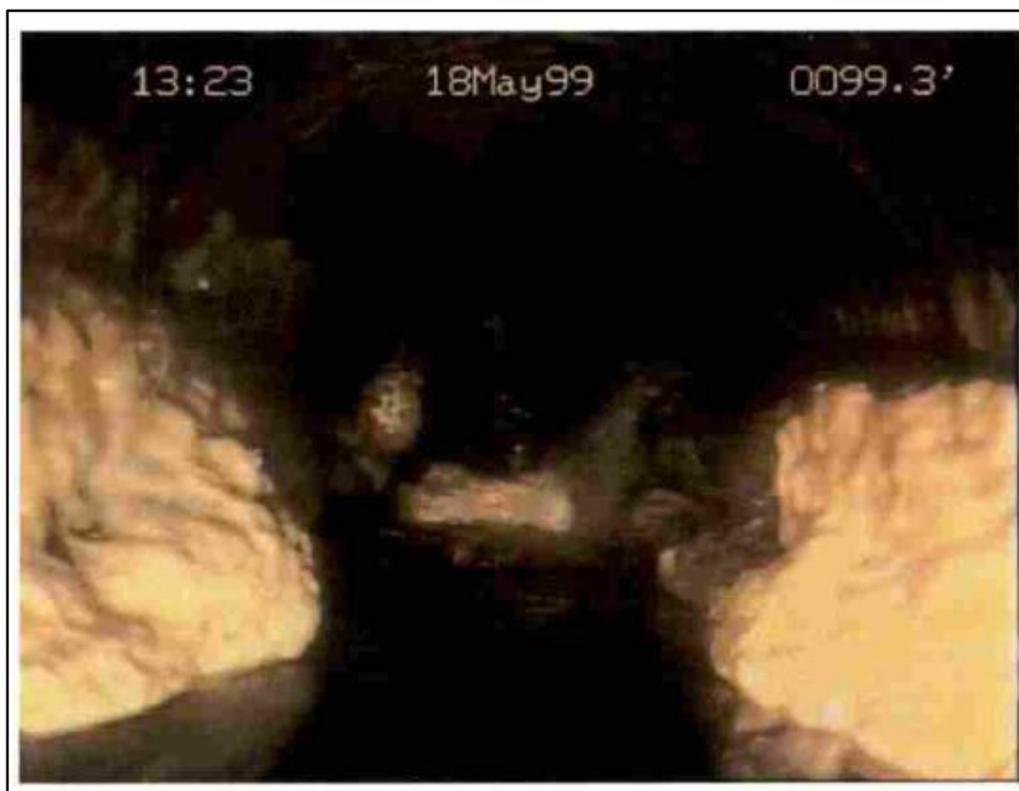
2.2.14. Depósitos

Los defectos de operación y mantenimiento que pueden ocurrir en las redes de alcantarillado sanitario comprende en familias como los depósitos, raíces, infiltración obstáculos, alimañas y otros. NASSCO, (2019)

La acumulación de aceites y grasas producen depósitos que son encontrados en las tuberías pudiendo causar flujos turbulentos y bloqueos parciales que resultan en una reducción de la capacidad hidráulica. NASSCO, (2019)

Figura 10

Depósitos de grasas en tuberías de alcantarillado sanitario



Fuente: NASSCO, (2019) Defectos operacionales

2.3. Definición de Términos Básicos

Se definirán términos de los parámetros que afectan a la electrocoagulación

- **Adsorción:** La adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de un material, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen. Myers (2004)
- **Ánodo:** Es el polo positivo de un terminal conductor o un electrodo en un proceso electroquímico que toma electrones de los aniones en la solución y está conectado al terminal positivo de la fuente de corriente directa Lee (2005).
- **Conductividad:** Un incremento en la conductividad eléctrica genera a su vez un incremento en la densidad de corriente, así mismo, el cloruro de sodio (NaCl) es habitualmente empleado para incrementar la conductividad de las aguas o aguas residuales para ser tratados. Kabdash et al., (2012)
- **Cátodo:** Es el polo negativo de un terminal conductor en un proceso electroquímico y está conectado al terminal negativo de la fuente de corriente directa. Lee (2005).
- **Centro de faenamiento:** Es el establecimiento autorizado por SENASA, con características sanitarias apropiadas en los cuales se realizan actividades de faenado de aves según el Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú. SENASA (2008)
- **Corriente:** Es la cantidad de carga que atraviesa una sección del hilo conductor en la unidad de tiempo, así mismo, en electricidad es el flujo de iones eléctricos que atraviesa un circuito, expresado como amperios Lee (2005).
- **Electrodo:** Es un material conductor para pasar una corriente eléctrica en una solución por adición de electrones o extrayendo electrones de iones en la solución Lee (2005)
- **Emulsión:** Dispersión de un líquido en otro no miscible por ejemplo la emulsión de aceite en agua según la Real Academia Española. RAE (2022)

- **Efecto potencial de hidrogeno:** El pH del efluente después del tratamiento de la electrocoagulación aumentará para efluentes ácidos, pero disminuirá para efluente alcalinos, es una de las ventajas de este proceso es decir el aumento de pH a condiciones ácidas es atribuido a la evolución del hidrógeno en los cátodos. Chen (2003)
- **Laboratorio acreditado:** Laboratorio que ha obtenido el Certificado de Acreditación otorgado por el INACAL, para realizar el análisis de aguas residuales
- **Temperatura:** La temperatura no ha sido muy investigado, pero se ha encontrado que la eficiencia de la corriente se incrementa inicialmente hasta llegar a 60 °C, punto donde se hace máxima para luego decrecer. Chen (2003)
- **Tipo de electrodo:** En la mayoría de los estudios reportados en la literatura científica, el aluminio (Al), fierro (Fe), acero dulce y electrodos de acero inoxidable se han utilizado como materiales para los electrodos. Kabdash et. al (2012)
- **Tensión eléctrica:** Es el trabajo que se debe realizar para llevar una carga desde un punto hasta otro, dentro de un campo eléctrico. En el Sistema Internacional es expresado en unidades de voltios. Lee (2005).
- **Flocs:** Es un conglomerado de partículas sólidas que se genera a través de los procesos de coagulación y floculación que está constituido en primer lugar por los sólidos que se separan del agua, así como también por los sólidos que aporta el coagulante, más aún, en procesos de flotación con aire, la incorporación de microburbujas también hace parte del floc. Gil (2021)

III.MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación

Según Hernández, Fernandez & Baptista (2010), el tipo de investigación según el propósito es aplicada - científica ya que tiene fines predictivos y con la medición de las variables se podrá pronosticar la eficiencia de reducción de contaminantes en el agua residual del centro de faenamiento avícola en cualquier etapa del tratamiento.

Según el nivel de profundización es una investigación correlacional – descriptiva ya que estudia ambas variables por separado y también la relación que existe entre estas, describiendo también el fenómeno que ocurre.

Según el tipo de datos empleados tiene un enfoque de investigación cuantitativa ya que ahonda en los fenómenos a través de la recopilación de datos además utiliza herramientas matemáticas, muestreo y el tratamiento estadístico para medirlos, esto permite hacer conclusiones generalizadas que pueden ser proyectadas en el tiempo. Hernández, Fernandez & Baptista (2010)

3.2. Diseño de Investigación

El diseño de investigación será cuasi experimental ya que el agua residual se someterá a tratamiento por electrocoagulación para la evaluación de la remoción de aceites y grasas, donde se realizarán modificaciones durante el experimento respecto a las variables independientes que son la densidad de corriente y el tiempo de reacción en las aguas residuales del centro de faenamiento avícola.

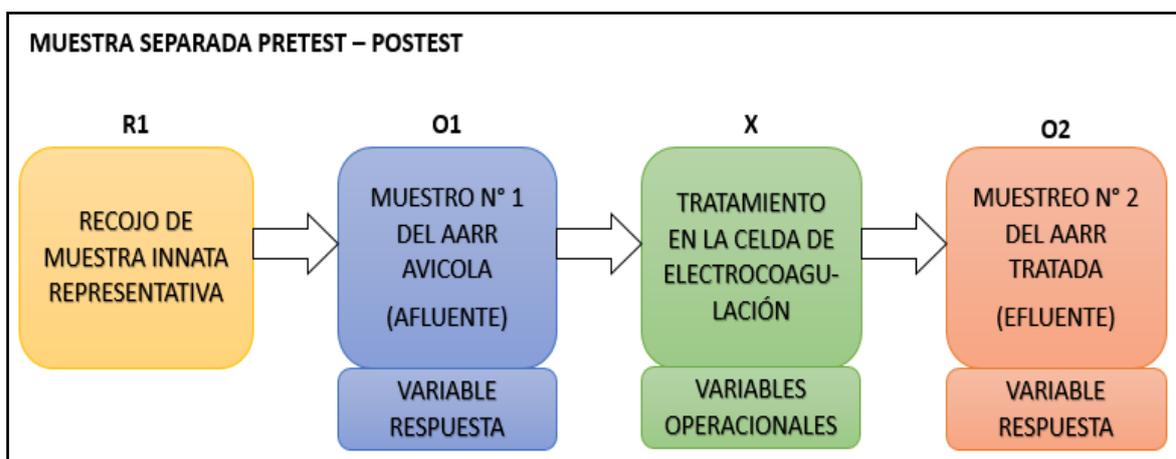
3.2.1. Procedimiento cuasi experimental

- ✓ Recojo de la muestra de agua del centro de faenamiento avícola donde no se aplica el proceso aleatorio del recojo de muestras (R1)
- ✓ Se tomó la muestra del agua residual procedente del camal avícola. Obs. 1 (O1)
- ✓ Se realizó la construcción de la celda de electrocoagulación. Objeto.

- ✓ Se vertió los 7.5 litros a la celda de electrocoagulación tipo Bach, pasando anteriormente por un cribado para retener los sólidos de mayor tamaño que puedan afectar al proceso.
- ✓ Se encendió la fuente de poder y regulará la fuente a trabajar.
- ✓ Se realizará el número de experimentos evaluando las variables independientes para que el experimento tenga un nivel de confianza aceptable. Tratamiento (X)
- ✓ Se apagará la fuente de energía al concluir el experimento.
- ✓ Se tomará la muestra para ser examinado y medido en el laboratorio. Obs. 2 (O2)

Figura 11

Diseño Cuasi Experimental



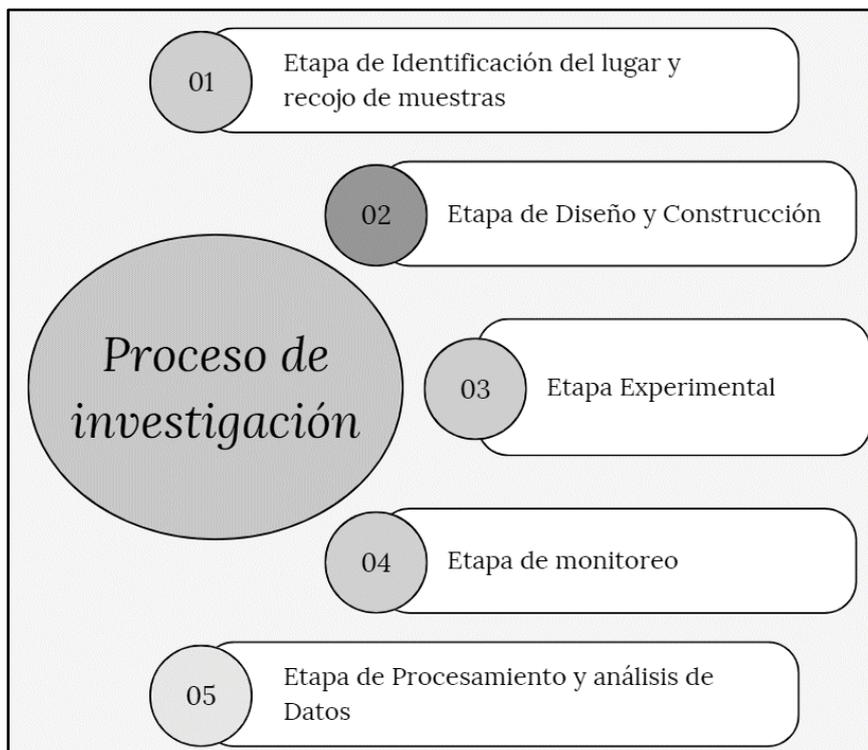
3.3. Métodos o técnicas

El trabajo de investigación es de método deductivo porque se traduce especialmente en el análisis de los principios generales de un argumento específico: ya comprobado y verificado que el principio es válido, se procede a emplearlo a contextos específicos; La ventaja del método estadístico empleado es que la comprobación de la hipótesis es más sencilla, pues ofrece la posibilidad de explicar las relaciones causales entre los conceptos y las variables así mismo se pueden generalizar los resultados de la investigación hasta cierto punto. Narvaez, (2022)

3.3.1. Etapas del Proceso De La Investigación

Figura 12

Proceso de la Investigación



3.3.1.1. Etapa de Identificación del Lugar Y Recojo De Muestras.

La identificación del lugar para la toma de muestras fue el centro de faenamiento avícola denominado "Pollos Frescos" y "Avícola Huarcash" en el Jr. Huascarán 346 Huaraz – Huaraz - Ancash. El lugar donde se realizó la investigación es en una instalación propia ubicada a 6 cuadras (600 metros aprox. del punto de recolección de muestras.

Figura 13

Centro de Faenamiento Avícola y el Lugar de Experimentación



3.3.1.2. Etapa de Diseño y Construcción

a. Descripción General del Sistema.

Se compone de un pretratamiento que son rejillas primarias para evitar el paso de plumas y/o algún otro sólido considerable al siguiente tratamiento que es la celda de Electrocoagulación, por lo tanto, se consideró construir una celda a escala de 7 litros de volumen con material acrílico de 3 mm de espesor con un orificio de entrada y 3 de salida para las espumas y sobrenadantes, agua tratada y purga de sedimentos y lodos. Y para esta investigación los electrodos a utilizar fue placas de aluminio.

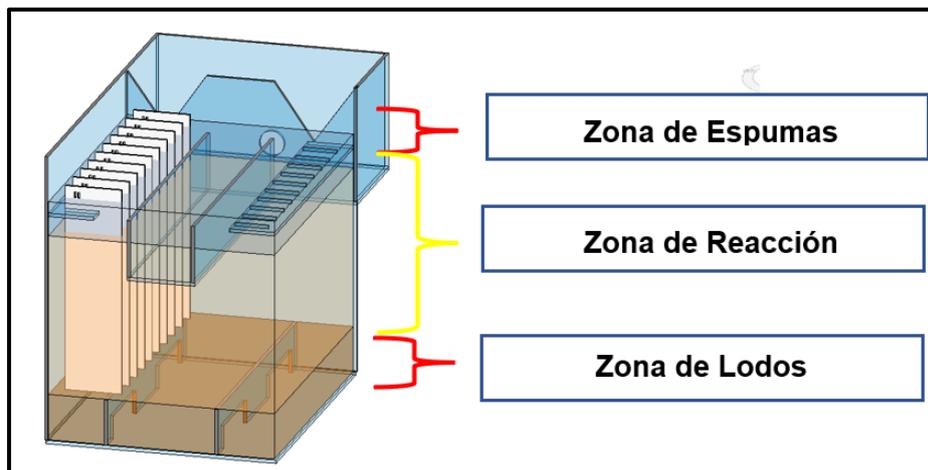
b. Características de la Celda de Electrocoagulación.

Para el diseño de la celda de EC se consideró una distribución volumétrica dividida en 3 zonas. La primera es la zona de reacciones electroquímicas donde se encuentran los electrodos de aluminio denominada "Zona de reacción", la siguiente es la zona superior donde ocurre la formación de espumas o lodos de flotación denominado "zona de espumas" y la última es la zona inferior donde ocurre la precipitación de

las partículas de mayor tamaño que se han floculado, llamada “zona de lodos”.

Figura 14

Distribución Volumétrica de la Celda de EC.



Así mismo, el material de la celda EC es metacrilato de metilo conocido también como acrílico con espesor de 3 milímetros teniendo ventajas como el peso ligero, resistencia a caídas, transparente para observar las reacciones de las zonas de la celda descritas anteriormente. Cada placa de aluminio está separada por 22 milímetros, teniendo 10 placas en la izquierda y derecha, así mismo se consideró que el electrodo fuera de aluminio ya que se tuvo disponibilidad de este material y según (Chen, 2003) se reportaron buena remoción de contaminantes siendo el más empleado en el proceso.

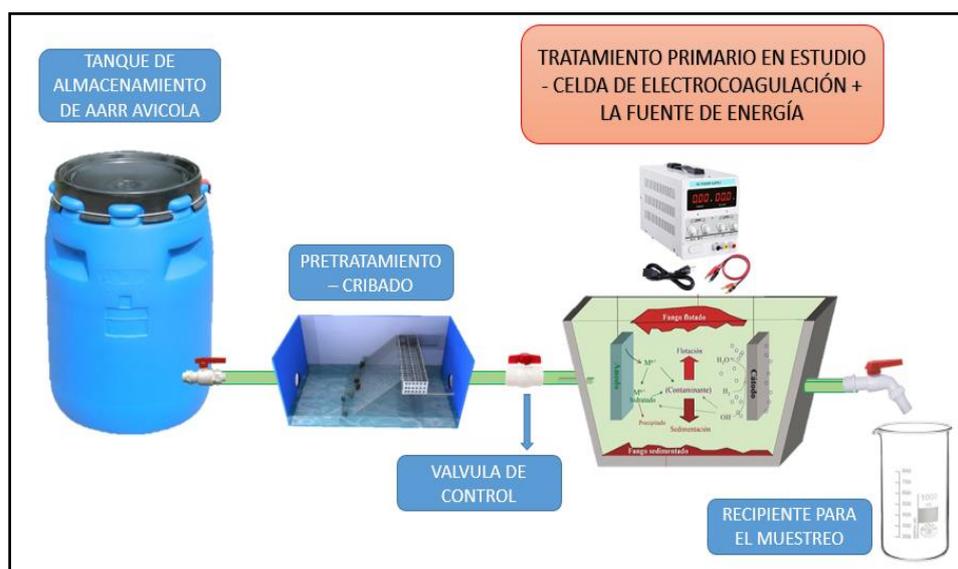
El volumen de la celda de EC es de 7.5 litros ya que con dicho volumen se pudo construir la unidad con dimensiones considerables pudiendo apreciar mejor las reacciones que suceden dentro, así mismo, se pudo sacar la cantidad de muestra necesaria para poder analizarla en el laboratorio, véase la siguiente tabla.

Tabla 2

Dimensiones de la Celda de Electrocoagulación

Características	unidades	medidas
Largo	cm	25
Ancho	cm	20
Altura	cm	15
Volumen.EC	Cm ³	7500
Placa de electrodo de Aluminio		
Largo	cm	15
Ancho	cm	5
Área total	Cm ²	150

Figura 15

Esquema del tratamiento con EC**3.3.1.3. Etapa Experimental****a. Duración de la Investigación.**

La parte experimental empezó con la instalación de la celda de electrocoagulación el día 25 de febrero de 2023 donde se ejecutó un ensayo piloto para verificar que la estructura de material acrílico soporte la presión del agua, observando también las deficiencias al momento de que

el agua ingresó empujando las placas de aluminio, procediendo a realizar los ajustes necesarios para que en las pruebas experimentales no ocurran errores que afecten negativamente a los resultados. Por otro lado, se coordinó con el laboratorio SAG S.A.C para analizar los parámetros de control. La etapa experimental concluyó el 4 de abril del 2023.

3.3.1.4. Etapa de Monitoreo

a. Puntos de Monitoreo.

Se realizaron pruebas en orden aleatorias de acuerdo al diseño de experimento Análisis de Superficie Respuesta. La cantidad de puntos de muestreo fue un total de 18, las cuales 4 puntos fueron de las muestras madre, 4 muestreos fueron puntos extremos, 4 muestreos de puntos axiales y 6 muestreos de puntos centrales. Las muestras para el análisis se tomaron en la tubería de salida de la celda de EC ubicada en la parte frontal de la zona de reacción, así mismo, se tomaron 2 muestras por día generalmente de mañana y de tarde.

b. Parámetros analizados en gabinete y laboratorio.

En gabinete o “campo” se analizaron con el medidor marca “Rag Technology” calibrado, los parámetros de:

- Temperatura (°C)
- Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- SDT (mg/L)

En el laboratorio SAG S.A.C se llevaron las muestras en botellas de color ámbar de 1.25 litros, para analizar el parámetro de Aceites y Grasas (mg/L), acreditado por INACAL con el método ASTM D7678 – 17.

3.3.1.5. Etapa de Procesamiento y Análisis de Datos

a. **Procesamiento Estadístico.** Ya obtenidos los datos de laboratorio, se procedió a procesar en el software Excel 2016, separando los análisis de las muestras madre ya que con los datos de esta se realizó el cálculo del porcentaje de remoción. Posteriormente el análisis de datos se efectuó en el software Minitab 19, procesando la estadística de diseño de experimentos DOE, regresión de superficie respuesta, graficas factoriales para la variable respuesta, grafica de contorno, grafica de superficie respuesta, grafica de contorno para la eficiencia y optimización de la variable respuesta. La conversión del indicador voltaje a densidad de corriente se encuentra en la siguiente tabla.

Tabla 3

Indicadores de la densidad de corriente

Voltaje (V)	Vatios (W)	Amperaje (A)	Área de conductividad (m ²)	Densidad de Corriente (A/m ²)
3.5	3.4986	1.00	0.294	3.4
3.5	3.4986	1.00	0.294	3.4
27.5	274.89	10.00	0.294	34
27.5	274.89	10.00	0.294	34
9.5	30.86265	3.25	0.294	11.05
21.5	166.55835	7.75	0.294	26.35
15.5	85.2159	5.50	0.294	18.7
15.5	85.2159	5.50	0.294	18.7
15.5	85.2159	5.50	0.294	18.7
15.5	85.2159	5.50	0.294	18.7
15.5	85.2159	5.50	0.294	18.7
15.5	85.2159	5.50	0.294	18.7
15.5	85.2159	5.50	0.294	18.7
15.5	85.2159	5.50	0.294	18.7

3.4. Población y muestra

La población será el agua residual proveniente de la descarga de la empresa avícola de la cual tiene un volumen de producción de 5 m³/d y la muestra será el agua residual del tratamiento que se dará en la celda de electrocoagulación con capacidad de 7.5 litros obtenido en el efluente.

3.5. Instrumentos validados de recolección de datos

Para la recolección de datos se realizará por la medición de las variables independiente in situ mediante equipos calibrados, procediendo a un llenado de fichas de recolección de datos donde se llenará los parámetros que se requiera y que interfieran en la investigación como el volumen voltaje, tiempo, temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales. La variable respuesta que es aceites y grasas en su validación y confiabilidad de los instrumentos a utilizar serán avalados por el laboratorio de ensayo acreditado por INACAL con registro TL – 829 denominado Servicios Analíticos Generales S.A.C.

3.6. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información

La recolección de datos cuantitativos se hizo utilizando el software Excel 2016, tomando las observaciones necesarias para el procesamiento. Para el análisis estadístico se aplicó el software Minitab 19, la aplicación de un diseño de experimentos (DOE) y el método de superficie respuesta en específico el diseño central compuesto (DCC) nos permite realizar el análisis estadístico con 2 o más variables controlables en este caso la densidad de corriente (A/m²) y tiempo de reacción (min) sobre una variable respuesta que es el porcentaje de remoción de aceites y grasas (mg/L). Las siguientes etapas se realizaron para procesar la recopilación de datos, en consecuencia, se llevaron a cabo las siguientes fases.

3.6.1. Recopilar y Planificar

Ya en funcionamiento la celda de electrocoagulación se procedió a apuntar las reacciones y fenómenos que ocurrían dentro de la celda de EC recopilándolos

directamente en una hoja de Excel y por medio de fotografías, procediendo a muestrear con el equipo al agua tratada del efluente. Terminado los muestreos del día, se planificaba el lavado de la celda, lavado del equipo de medición in situ, lavado de las placas de aluminio, la unidad de rejillas finas, y coordinación con el laboratorio el recojo de muestras que se hacían en el día.

3.6.2. Refinar

Ya recopilados los datos en campo y laboratorio se procedió a ingresar al Minitab 19 para su procesamiento estadístico, obteniendo resultados favorables y significativos, teniendo un valor p elevado en los bloques y en la cuadrática de un parámetro se tuvo que refinar exceptuando dicho término para evitar agrandar el error puro.

3.6.3. Analizar

Ya ajustado el modelo a un diseño de superficie respuesta se realizó el análisis de la gráfica factorial para la variable respuesta, gráfica de contorno o curvas, gráfica de superficie respuesta, gráfica de eficiencia y gráfica de optimización de la variable respuesta en el software minitab19.

IV.RESULTADOS

4.1. Datos Estadísticos Descriptivos en el Afluyente

Tabla 4

Datos de la muestra madre o general en el afluyente

Bloques	Código	Muestras		A&G (mg/L)	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	SDT (mg/L)
		Voltaje	Tiempo				
	Punto 1	-	-	187.08	24	1110	550
Muestra	Punto 2	-	-	204.57	23.7	1020	583
Madre	Punto 17	-	-	219.2	24.1	1095	587
	Punto 18	-	-	210.42	24.7	1140	509

Nota: Los puntos 1 y 2 encabezan el bloque 1 y los puntos 17 y 18 encabezan el bloque 2

La tabla 4 evidencia los resultados de los ensayos de laboratorio en 4 muestras representativas tanque madre o solución principal, Se dividieron en 2 bloques debido a la cantidad de agua residual del faenamiento avícola requerida para el experimento. Los resultados generados presentan los siguientes valores para la variable respuesta que es aceites y grasas: 187.08 mg/L, 204.57 mg/L, 219.2 mg/L y 210.42 mg/L.

Tabla 5

Estadísticos descriptivos de los parámetros en el afluyente

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Análisis AyG	205.3	13.56	183.97	187.08	191.5	207.5	217	219.2
Temp. (°C)	24.13	0.419	0.176	23.7	23.78	24.05	24.55	24.7
Conductividad (µS/cm)	1091	51.1	2606.3	1020	1039	1102.5	1133	1140
SDT (mg/L)	557.3	36.2	1309.6	509	519.3	566.5	586	587

Nota: Q1 y Q3, son el primer y tercer cuartil estadístico.

La tabla 5, muestra los resultados de los indicadores respuesta en el afluyente del experimento en base a 4 muestras del agua representativa del centro de faenamiento avícola. El parámetro de aceites y grasas mostró valores mínimos y máximos de (187.08 y 219.20) mg/L con un promedio de 205.32 mg/L, dato que se empleó para determinar la



eficiencia de remoción. La temperatura en el afluente mostro valores mínimos y máximos de (23.70 a 24.70) °C con un promedio de 24.125 °C. La conductividad en el afluente mostro valores mínimos y máximos entre (1020.5 y 1140.0) $\mu\text{S/cm}$, con un promedio de 1091.3 $\mu\text{S/cm}$ y por ultimo los sólidos disueltos totales que mostro valores mínimos y máximos de (509.0 a 587.0) mg/L con una media de 557.3 mg/L.

4.2. Datos estadísticos en el Efluente

Los resultados de los ensayos de las muestras enviadas al laboratorio para cada tratamiento realizado de forma aleatoria de acuerdo al diseño de experimento para así evitar los errores en la varianza y los errores puros.

Tabla 6

Datos de los tratamientos tomados en el efluente

Bloques	Código	Muestras		A&G (mg/L)	Temp. (°C)	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	SDT (mg/L)
		D.C.(A/m ²)	Tiempo(min)				
Bloque 1	Punto 5	3.4	1	103.06	24.5	955	510
	Punto 6	3.4	20	67.87	27.3	942	470
	Punto 3	34.0	1	59.17	24	804	386
	Punto 4	34.0	20	0.5	32.5	699	359
	Punto 8	26.35	10	32.46	26.7	713	357
	Punto 7	11.05	10	2.83	26.9	744	372
	Punto 9	18.7	5	47.84	26.1	840	413
Bloque 2	Punto 10	18.7	15	5.39	27	810	392
	Punto 13	18.7	10	21.25	26.5	832	410
	Punto 12	18.7	10	18.8	26.4	821	425
	Punto 11	18.7	10	22.03	26.1	839	417
	Punto 14	18.7	10	19.86	26.7	812	404
	Punto 16	18.7	10	21.93	25.9	802	397
	Punto 15	18.7	10	23.06	26.6	831	421

Nota: Se separo en 2 bloques debido a que se recogió 2 veces la muestra madre.

4.2.1. Análisis de Regresión de Superficie Respuesta

Pertenece a un diseño compuesto central compuesto aplicado a un diseño factorial 2^k agregándole pruebas centrales y axiales. Como datos de entrada se tiene 2 factores o indicadores en estudio. Se realizaron 14 tratamientos que serán completamente aleatorios. La corrida del diseño en superficie respuesta en el paquete estadístico evidenció la siguiente tabla.

Tabla 7

Anova o Análisis de Varianza (Andeva)

Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
Modelo	5	2469.94	493.988	88.65	0.000
Bloques	1	4.55	4.552	0.82	0.393
Lineal	2	1538	769.002	138	0.000
D.C.	1	839	838.997	150.56	0.000
Tiempo	1	699.01	699.006	125.44	0.000
Cuadrado	1	543.93	543.926	97.61	0.000
Tiempo*Tiempo	1	543.93	543.926	97.61	0.000
Interacción de 2 factores	1	32.89	32.89	5.9	0.041
DC*Tiempo	1	32.89	32.89	5.9	0.041
Error	8	44.58	5.573		
Falta de ajuste	4	41.99	10.497	16.19	0.01
Error puro	4	2.59	0.648		
Total	13	2514.52			

Del análisis de la varianza de la variable respuesta de la tabla 7 en el caso de aceites y grasas podemos deducir que el modelo con GL^{-1} igual a 5 presenta un valor p de 0.000 siendo estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95% rechazando H_0 , infiriendo que el modelo se ajusta a la media del porcentaje de remoción de aceites y grasas. Así mismo, la variable densidad de corriente con un valor de p de 0.000 es estadísticamente significativo con un nivel de confianza al 95% infiriendo que la

D.C. (A/m^2) sí influye de manera importante en la media del porcentaje de remoción de aceites y grasas. Lo mismo para el tiempo de reacción (min.) que presenta un valor de p de 0.000 a un nivel de confianza al 95% rechazando H_0 e infiriendo que sí influye de manera significativa en la media del porcentaje de remoción de aceites y grasas.

En cuanto al efecto cuadrático se tiene que el tiempo de reacción al cuadrado con un valor de p de 0.000 con un nivel de confianza del 95 % rechazando H_0 , podemos inferir que es importante en la media del porcentaje de remoción de aceites y grasas. Esto no se puede decir del efecto cuadrático de la densidad de corriente ya que para ajustar más la varianza se tuvo que sacar de la ecuación de regresión ya que tenía un valor p mayor a 0.05 afirmando la hipótesis nula siendo insignificante para la investigación.

Con respecto a la interacción de los 2 indicadores independientes que son la densidad de corriente y tiempo de reacción que presentan un valor p de 0.042 rechazando H_0 , con un nivel de confianza al 95% podemos inferir que sí influye significativamente en la media del porcentaje de remoción de aceites y grasas.

En la Figura 16 se puede inferir que el efecto lineal que son la D.C. (A/m^2) y el tiempo de reacción (min.), el efecto cuadrático que es tiempo por tiempo y el efecto interactivo D.C. por tiempo entre los indicadores independientes son significativos al 95% en la media del porcentaje de remoción de aceites y grasas en el agua residual del centro de faenamiento avícola de acuerdo a un efecto estandarizado.

Figura 16

Gráfica Normal de Efectos Estandarizados

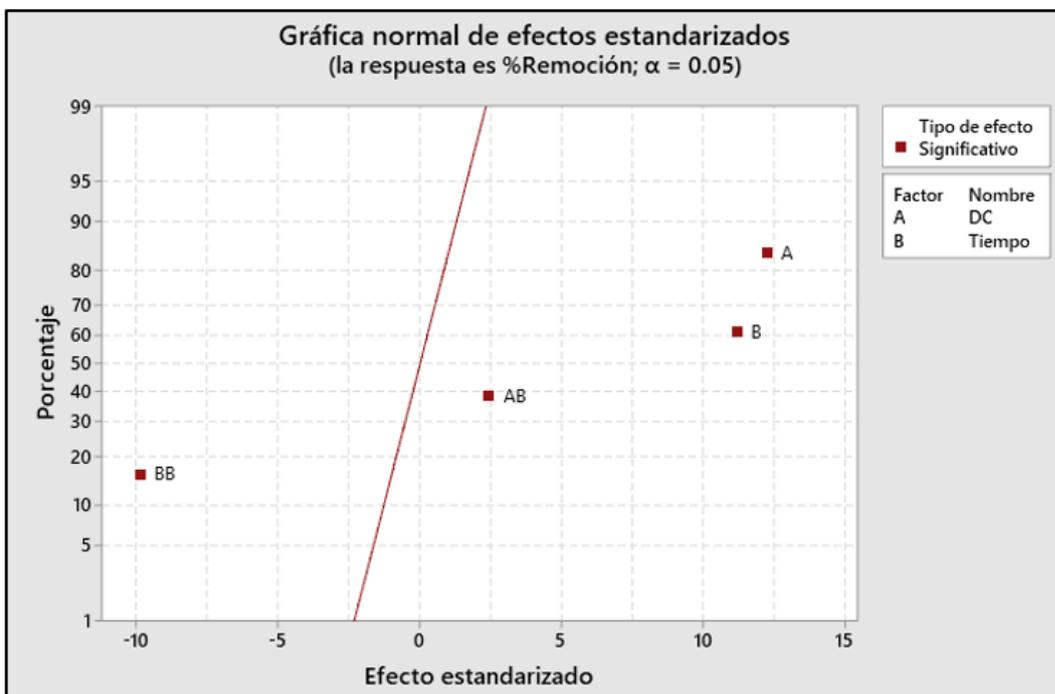
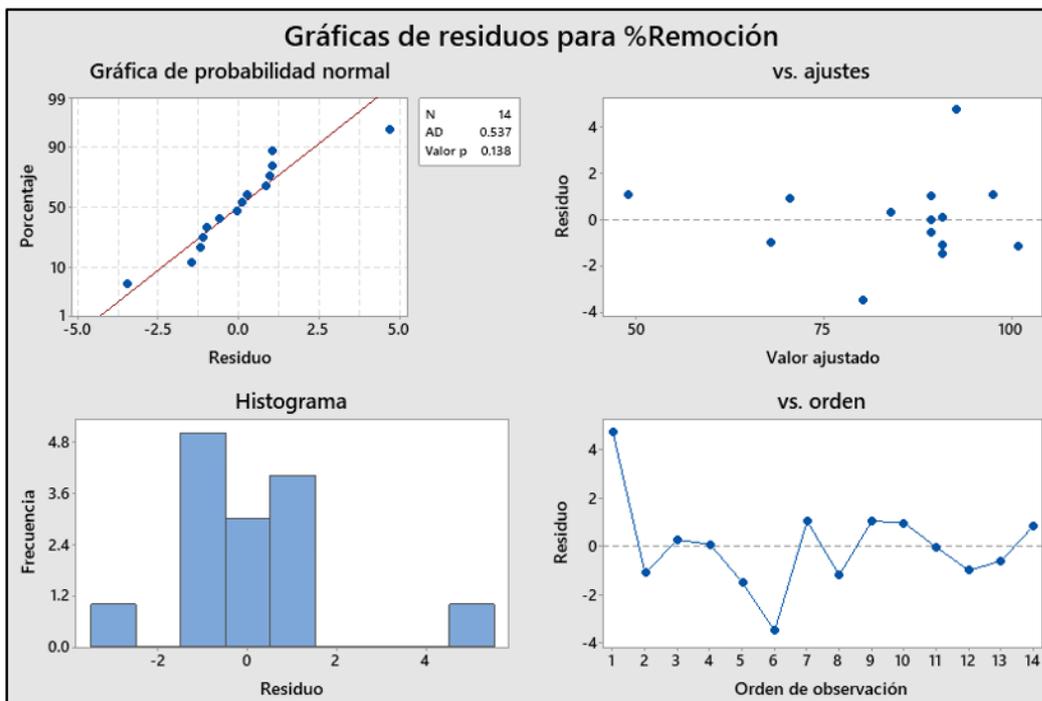


Figura 17

Gráfica de residuos de la variable aleatoria



En la figura 17, grafica de probabilidad normal comprobamos el supuesto que los datos están distribuidos normalmente ya que existe un ajuste de la distribución normal significativo debido a que tiene un valor p y un estadístico de Anderson-Darling que se ajusta a una distribución normal.

En la gráfica del residuo vs el valor ajustado observamos que se comporta disperso en la región de experimentación pudiendo inferir que la varianza es constante, así mismo en el gráfico de orden de observación vs residuo no se observa algún patrón de repetición comprobando el supuesto que los residuos no están correlacionados entre sí. Determinando que cumplen los mínimos cuadrados ordinarios, esto origina estimaciones de coeficientes sin sesgo con la varianza mínima asegurando la calidad de los análisis estadísticos.

Tabla 8

Resumen del modelo

S	R-cuadrado.	R-cuadrado. (ajustado)
2.36063	98.23%	97.12%

La tabla 8, presenta una sigma de 2.36 donde se infiere que la dispersión de la variabilidad respecto al valor medio es baja por lo tanto hay un numero de defectos mínimo en el modelo. Así mismo, R-cuadrado de 98.23% con un intervalo de confianza del 95% podemos incidir que el modelo se ajusta apropiadamente a la media del porcentaje de la remoción de aceites y grasas del agua residual tratada del centro de faenamiento avícola.

La Tabla 9 se presenta los coeficientes no codificados de los indicadores independientes que son la densidad de corriente en (A/m^2) y el tiempo de reacción en (min), la cuadrática y la interacción entre ellos.

Tabla 9

Coefficientes No codificados

Término	Coefficientes	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	90.066	0.847	106.35	0	
Bloque 1	-0.695	0.769	-0.9	0.393	1.49
DC	13.65	1.11	12.27	0	1
Tiempo	12.46	1.11	11.2	0	1
Tiempo*Tiempo	-17.37	1.76	-9.88	0	1.49
DC*Tiempo	2.87	1.18	2.43	0.041	1

Dichos coeficientes se aplican sobre una ecuación promediada para determinar la variable respuesta que es el porcentaje de remoción de AyG.

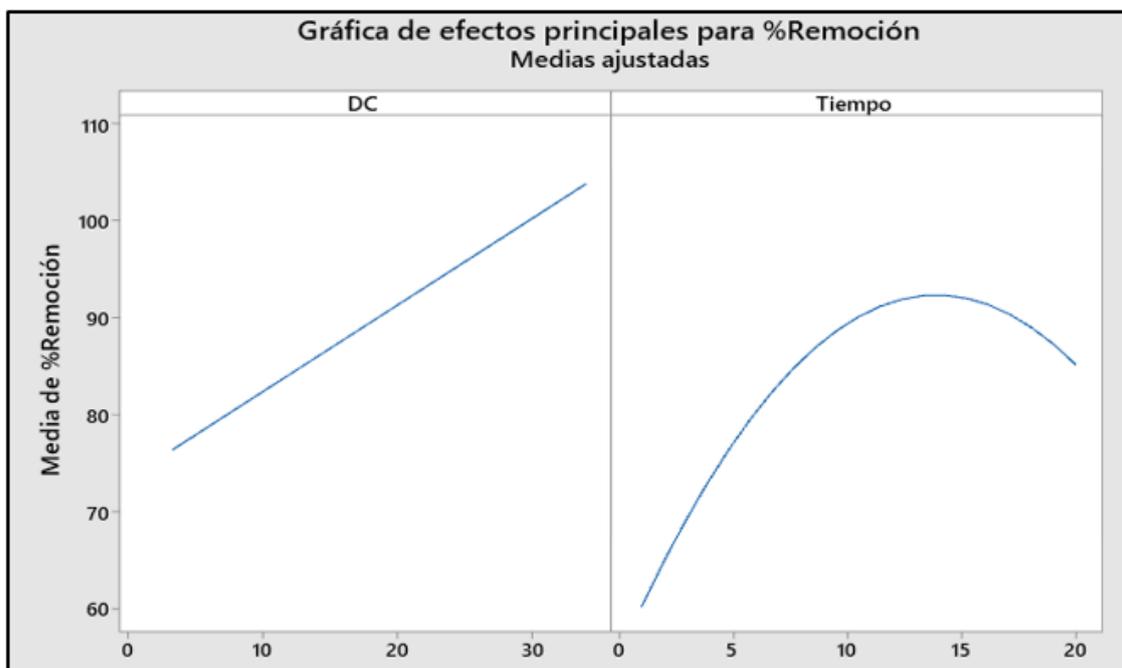
Ecuación 6**Ecuación Óptima de la Variable Respuesta**

$$\begin{aligned} \% \text{Remoción} = & 42.26 + 0.685 \text{ DC (A/m}^2\text{)} + 4.984 \text{ Tiempo (min)} - \\ & 0.1924 \text{ Tiempo}^2 + 0.01973 \text{ DC(A/m}^2\text{)} * \text{Tiempo (min)} \end{aligned} \quad (6)$$

4.3. Graficas Factoriales para el Porcentaje de Remoción

En la figura 18 podemos observar el efecto que tiene la variable D.C. (A/m²) versus el promedio del porcentaje de remoción donde la recta tiene pendiente ascendente y es directamente proporcional, en resumen, en cuanto aumenta la variable D.C (A/m²), aumenta también la media del porcentaje de remoción de aceites y grasas. Por otro lado, se observa que el efecto que tiene el tiempo de reacción (min.) sobre el porcentaje de remoción donde se visualiza una curva parabólica inversa, lo que quiere decir que al principio es directamente proporcional y llegado a un punto la función se vuelve inversa proporcional. Es decir, a medida que pasa el tiempo la remoción de la variable respuesta aumenta llegando al punto más alto de remoción y luego baja el porcentaje de remoción de aceites y grasas.

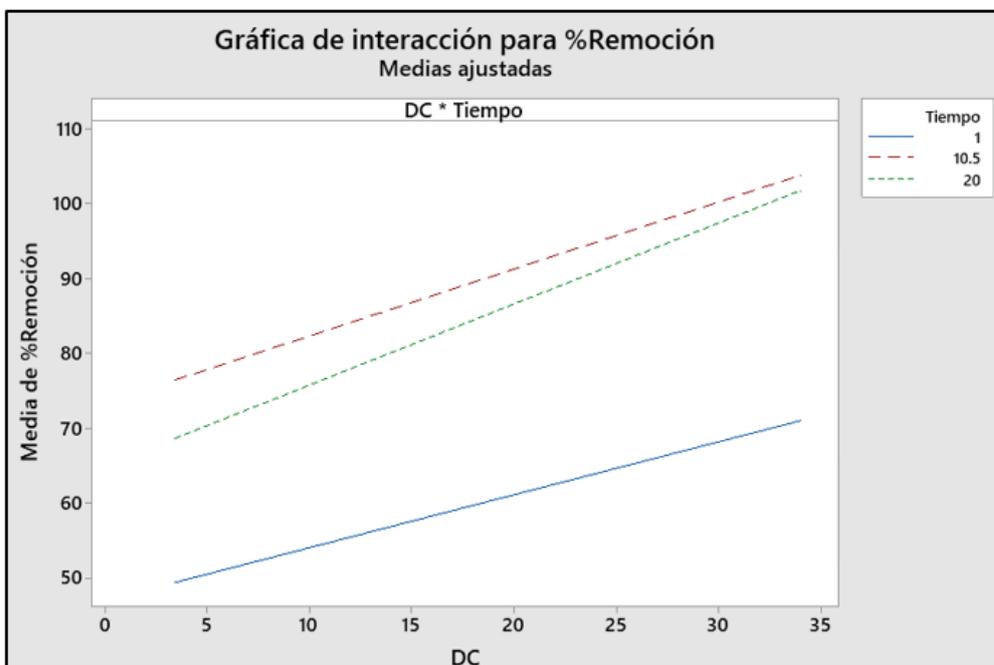
Figura 18

Gráfica de efectos principales para el porcentaje de remoción

En la figura 19 observamos la interacción de las medias ajustadas de los indicadores de D.C. (A/m²) y tiempo de reacción vs el porcentaje de remoción de los aceites y grasas, infiriendo que al tiempo más bajo que es de 1 min. la remoción de aceites y grasas va de 50 a 70 mg/L, a tiempo de reacción de 10.5 min la remoción va de 75 a 99.75 % y por último cuando el tiempo es de 20 min el porcentaje de remoción disminuye a rangos de 65 a 95%.

Figura 19

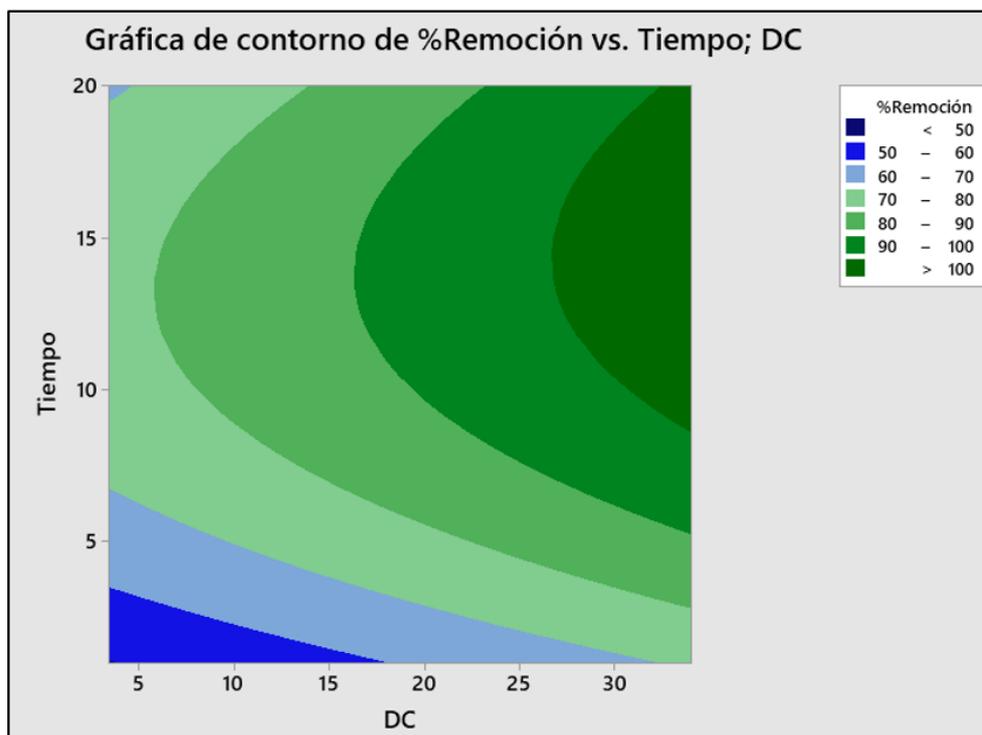
Gráfica de interacción para la media del porcentaje de Remoción



4.4. Gráfica de Contorno de Porcentaje de Remoción

Figura 20

Gráfica de contorno de porcentaje de remoción

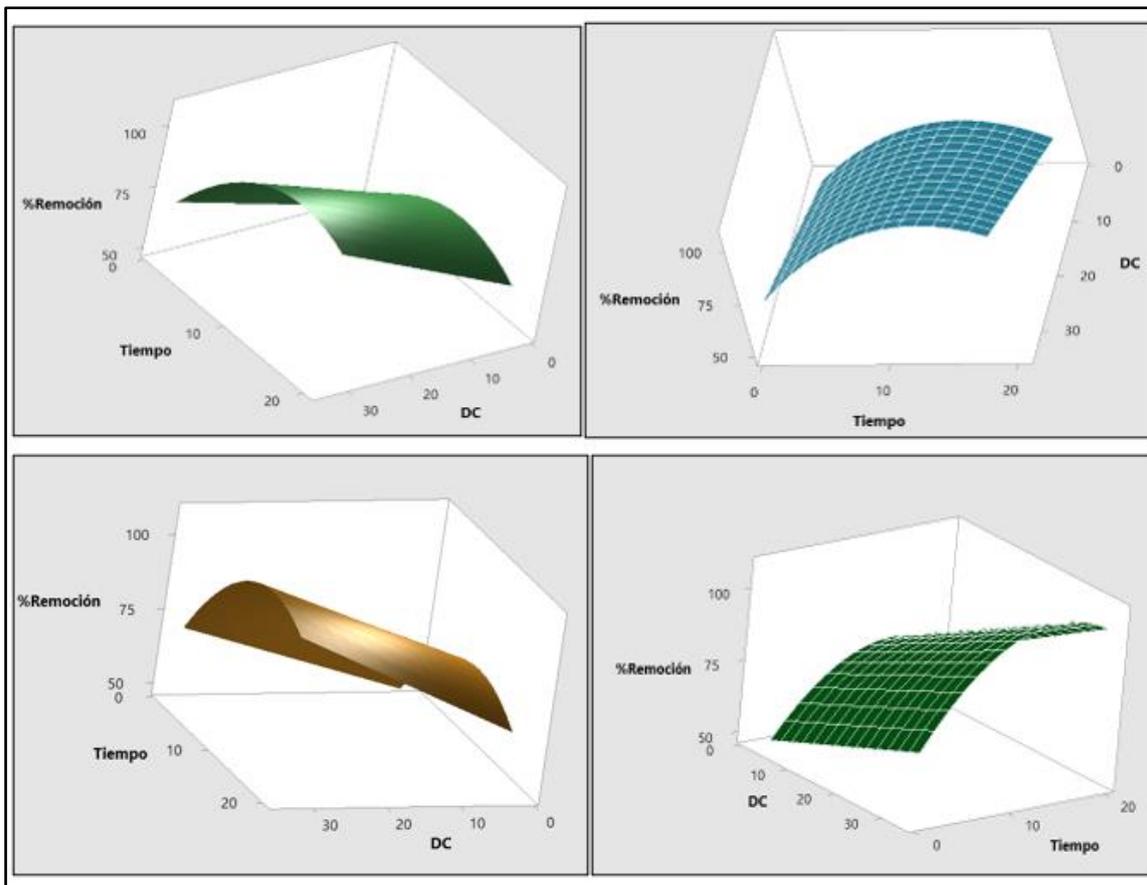


En la figura 20 se observa como son las curvas del porcentaje de remoción de aceites y grasas en función a la D.C (A/m²) y tiempo de reacción (min.), donde se infiere que a medida que el tiempo de reacción y voltaje aumentan, el porcentaje de remoción también aumenta. Pero lo interesante de esta grafica es conocer que existen varios puntos e interacciones entre variables que arrojan porcentajes de remoción variables para cada ocasión. Por lo tanto, interpretando la gráfica podemos decir que la D.C. de 3.4 a 15 (A/m²) con un tiempo de reacción menor a 5 min tiene un porcentaje de remoción menor a 70% y el mejor porcentaje de remoción estaría entre 20 (A/m²) a 25(A/m²) con 10 min. a 15 min. Generando un porcentaje de remoción del orden de 90 a 100%.

4.5. Gráfica de superficie de remoción vs Tiempo, Voltaje.

En la Figura 21 podemos observar una superficie que representa el porcentaje de remoción vs el tiempo de reaccion (min) y la D.C (A/m²). La superficie tiene forma de una hoja curva infiriendo que la remocion de aceites y grasas se encuentra en un pico aproximado al centro del tiempo de reaccion. Asi mismo, se observa que la superficie tambien puede representarse en forma de malla generando un mejor entendimiento del comportamiento de los indicadores sobre la variable respuesta o dependiendte de la investigación.

Figura 21

Gráfica de superficie

4.6. Optimización de la Variable Respuesta

Tabla 10

Predicción de respuesta múltiple

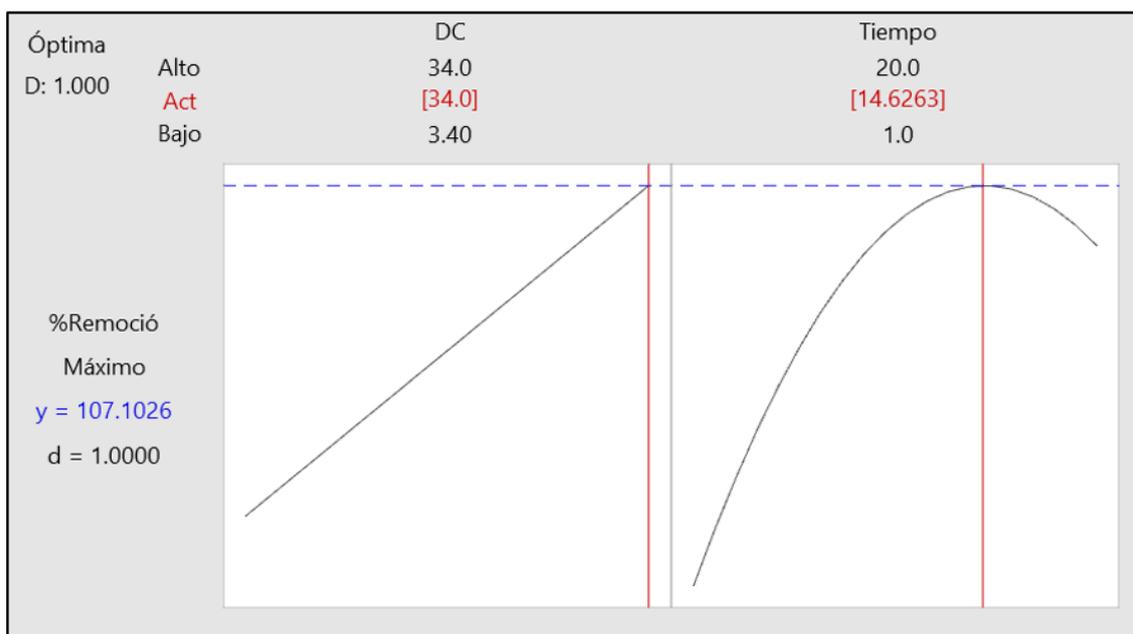
Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
%Remoción	107.10	1.48	(103.69; 110.51)	(100.68; 113.53)

En la tabla 10 se optimiza la variable respuesta con un intervalo de confianza del 95% y un intervalo de probabilidad del 95% nos aseguran que aplicando D.C. en 34.0 (A/m²) con 14.62 minutos de reacción, obtenemos una remoción de AyG arriba del 99% en la celda de electrocoagulación utilizada en la presente investigación. A continuación, se presenta la siguiente figura donde se alcanza una remoción muy elevada optimizando

así el efecto de los indicadores sobre la remoción de los AyG de las aguas residuales procedentes del faenamiento avícola.

Figura 22

Optimización del porcentaje de remoción de aceites y grasas



4.7. Análisis Estadístico del Indicador de Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)

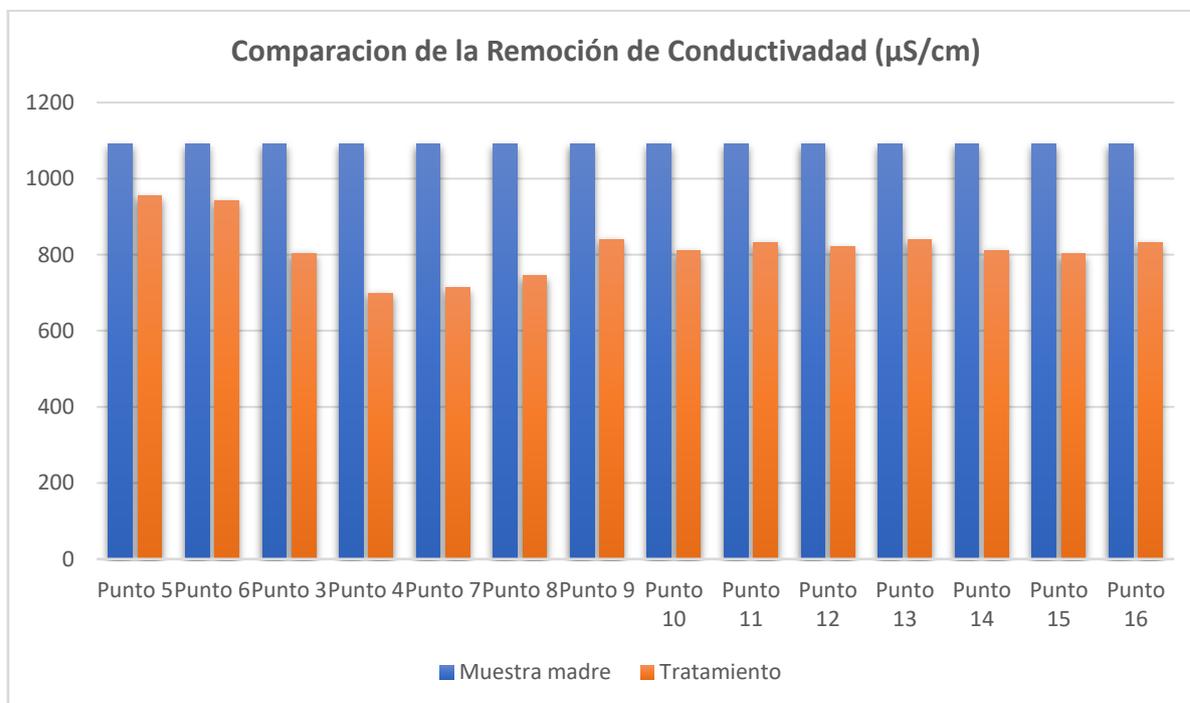
Tabla 11

Porcentaje de la remoción de la conductividad

Bloques	Código	Muestras		Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	% de Remoción
		DC	Tiempo		
Bloque 1 (puntos extremos)	Punto 5	3.4	1	955	12.49
	Punto 6	3.4	20	942	13.68
	Punto 3	34	1	804	26.32
	Punto 4	34	20	699	35.95
	Punto 8	26.35	10	713	34.66
	Punto 7	11.05	10	744	31.82
	Punto 9	18.7	5	840	23.02
	Bloque 2	Punto 10	18.7	15	810
Punto 11		18.7	10	832	23.76
Punto 12		18.7	10	821	24.77
Punto 13		18.7	10	839	23.12
Punto 14		18.7	10	812	25.59
Punto 15		18.7	10	802	26.51
Punto 16		18.7	10	831	23.85

Figura 23

Comparación de la conductividad ($\mu\text{S/cm}$) del afluente y efluente



De la tabla 11 se puede inferir que el mayor porcentaje de remoción de la conductividad en el agua residual del centro de faenamiento avícola es en el punto 4 y punto 8 siendo de 35.95% y 34.66% respectivamente. Así mismo, como se observa en la Figura 23 se puede inferir que, aplicando el método de la electrocoagulación, la conductividad baja en general el promedio un 25% esto quiere decir que la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica a través de iones disueltos se disminuye, también indica que la concentración de sales disueltas merma ya sea por la sedimentación o flotación del método usado en la investigación.

4.8. Análisis estadístico del indicador de Temperatura (°C)

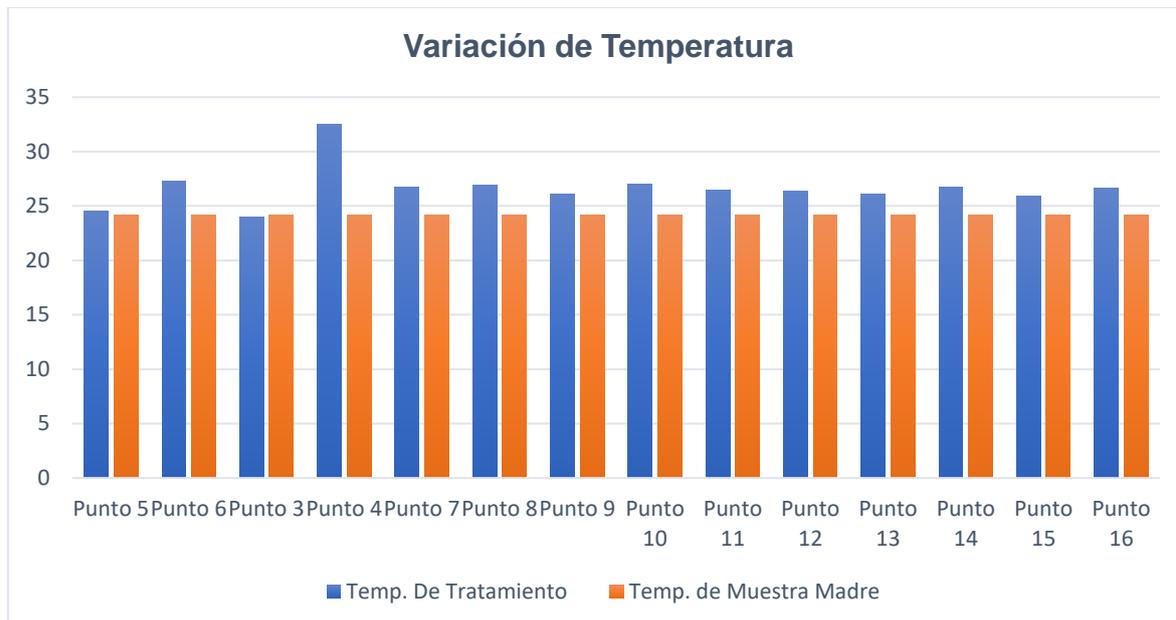
Tabla 12

Variación de la temperatura

Bloques	Código	Muestras		Temperatura (°C)
		DC	Tiempo	
Bloque 1 (puntos extremos y puntos axiales)	Punto 5	3.4	1	24.5
	Punto 6	3.4	20	27.3
	Punto 3	34	1	24
	Punto 4	34	20	32.5
	Punto 7	26.35	10	26.9
	Punto 8	11.05	10	26.7
	Punto 9	18.7	5	26.1
Bloque 2 (Puntos centrales)	Punto 10	18.7	15	27
	Punto 11	18.7	10	26.5
	Punto 12	18.7	10	26.4
	Punto 13	18.7	10	26.1
	Punto 14	18.7	10	26.7
	Punto 15	18.7	10	25.9
	Punto 16	18.7	10	26.6

Figura 24

Variación de la Temperatura °C del afluente y efluente



En la Tabla 12 se identifica una temperatura en °C de 24.0 y 32.5 para el punto 3 el mínimo y punto 4 el máximo respectivamente. Analizando la tabla en el punto 3 se aplicó un tiempo corto de reacción y en el punto 4 se aplicó el mayor tiempo de reacción que es de 20 minutos. Estas variaciones de temperatura en la mayoría de los tratamientos se elevaron en 2.5 °C en promedio. Observando la Figura 24 podemos indicar que, aplicando el método de la electrocoagulación, la temperatura del agua residual aumenta, ya que se transfiere energía al agua favoreciendo así al desarrollo de los microorganismos en el tratamiento secundario que se pudiera dar.

4.9. Análisis Estadístico del Indicador Sólidos Disueltos Totales (mg/L)

En la Tabla 13 se identifica el punto 5 con la menor densidad de corriente y el menor tiempo de reacción en el tratamiento de electrocoagulación generando una remoción de SDT (mg/L) de 8.5%. Así mismo, se observa el punto 7 con 26.35 (A/m²) y con 10 minutos de tiempo de reacción generando 35.9% de remoción de SDT (mg/L)

siendo la mayor remoción en el tratamiento. De las gráficas se puede inferir que si existe remoción de SDT (mg/L) siendo el promedio de remoción el 26.5%.

Tabla 13

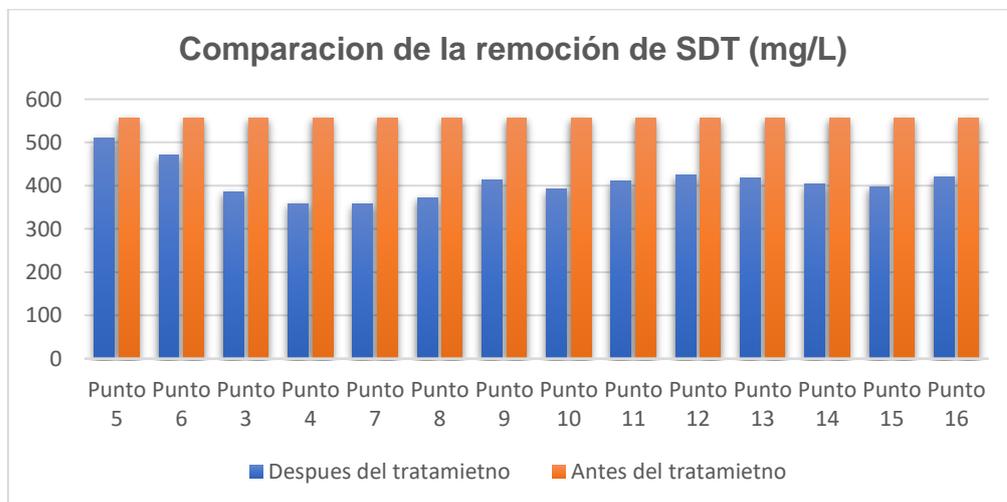
Remoción de SDT

Bloques	Código	Muestras		SDT (mg/L)	Remoción
		DC	Tiempo		
Bloque 1 (puntos extremos y puntos axiales)	Punto 5	3.4	1	510	8.5%
	Punto 6	3.4	20	470	15.7%
	Punto 3	34	1	386	30.7%
	Punto 4	34	20	359	35.6%
	Punto 7	26.35	10	357	35.9%
	Punto 8	11.05	10	372	33.2%
	Punto 9	18.7	5	413	25.9%
Bloque 2 (Puntos centrales)	Punto 10	18.7	15	392	29.7%
	Punto 11	18.7	10	410	26.4%
	Punto 12	18.7	10	425	23.7%
	Punto 13	18.7	10	417	25.2%
	Punto 14	18.7	10	404	27.5%
	Punto 15	18.7	10	397	28.8%
	Punto 16	18.7	10	421	24.5%

En la Figura 25 observamos que efectivamente hay remoción de SDT comparando con el efluente luego del tratamiento, esto refiere que la cantidad de materia orgánica e inorgánica, metales o iones disueltos en el agua han disminuido en promedio un 25.6%.

Figura 25

Comparación de SDT en el afluente y efluente



V.DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según el objetivo principal el cual indica evaluar la remoción de aceites y grasas por el método de la electrocoagulación, se determinó el efecto del tiempo de reacción en (min) y la densidad de corriente en (A/m²) en el porcentaje de remoción de aceites y grasas en las aguas residuales del centro de faenamiento avícola en la ciudad de Huaraz para el año 2022, quedando la remoción de aceites y grasas en el rango de 103.06 mg/L y 0.5 mg/L, valores máximos y mínimos respectivamente, durante el periodo de monitoreo resultando una eficiencia máxima de remoción de 99% a 14.62 minutos de tiempo de reacción con 34 (A/m²) de densidad de corriente. Así mismo, podemos indicar que los resultados obtenidos son mayores a la investigación de Morales, (2018) quien evaluó el mismo parámetro en las aguas residuales de la empresa Gloria S.A.C resultando el porcentaje de eficiencia de remoción en el orden de 65.89% a 70.30% a 25 minutos de tiempo de reacción. Así mismo, Choque, (2019) en su investigación obtiene la densidad de corriente optima a 57.2 A/m² donde hay mayor grado de remoción de contaminantes, pero a 50 minutos de tiempo de reacción, siendo 35 minutos más del tiempo de reacción óptimo de la presente investigación.

En cuanto a los indicadores como la conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ se logró un porcentaje de remoción de 35.95 % siendo este el valor más alto de remoción a 20 minutos de reacción con 34 (A/m²) de densidad de corriente. En la investigación de Aguilar y Sarmiento (2020) la remoción de conductividad fue de 39% a 42 minutos reacción con 15 voltios de energía. De esta comparación se puede inferir que el tiempo de reacción influye en la remoción de conductividad de manera directa es decir a mayor tiempo de reacción se obtendrá mayor remoción de conductividad.

Así mismo, en cuanto a la temperatura Morales (2018) menciona que en su investigación la variación fue de 29°C a 30.5°C. y Martínez (2007) menciona que se ha encontrado un máximo de eficacia de corriente hasta temperaturas de 60 °C y la energía se consume mínimamente hasta 35°C. En la presente investigación la máxima variación

se presentó cuando se aplicó 34 (A/m²) de densidad de corriente con 20 minutos de reacción variando de 24.12°C a 32.5°C, presentando en este punto la máxima remoción de aceites y grasas.

De modo similar en cuanto a la remoción de sólidos disueltos totales, en la investigación de Aguilar & Sarmiento (2020) generaron un porcentaje de remoción mayor a 29% y comparándolo con la presente investigación se obtuvo la máxima remoción de SDT de 35.94% 20 minutos de reacción con 27.5 voltios. Teniendo una remoción similar entendiendo que la electrocoagulación tiene una baja remoción en cuanto a los SDT.

Así mismo, en la construcción de la celda de electrocoagulación se basó en las zonas que Arango y Gárces (2007) publicaron en su investigación relacionando con los volúmenes y alturas de la celda. Choque (2019) también realizó una separación en zonas de acuerdo a los procesos que existen en la electrocoagulación. En la presente investigación se realizó también 3 zonas bien relacionadas en un volumen de 7 litros de dimensiones 20 cm x 25 cm x 20cm, pero con una configuración sustentable para ponerlo en práctica, con un canal de recolección de espumas y flotantes y una zona de sedimentación que por medio de una válvula se pueden descargar y pasar a una unidad espesamiento de lodos tratando así los residuos que genera el método de la electrocoagulación.

Finalmente, a diferencia de la investigación de Morales (2018) que también busca la remoción de aceites y grasas, en la presente investigación se realizó un análisis factorial para la variable respuesta que es el porcentaje de remoción utilizado para optimizar el resultado al máximo con el mínimo tiempo de reacción y densidad de corriente cumpliendo así el objetivo específico y obteniendo una remoción del 99 % en aceites y grasas.

VI.CONCLUSIONES

Tras realizar la investigación del método de la electrocoagulación manejando las variables independientes como la densidad de corriente y el tiempo de reacción se logró evaluar el porcentaje de remoción de aceites y grasas de las aguas residuales del centro de faenamiento avícola. Y también se logró evidenciar la gran eficiencia de remoción que tiene dicho método, siendo una alternativa no convencional que puede competir con las tecnologías que se aplican en la actualidad garantizando la eficiencia de remoción de aceites y grasas, cumpliendo las normativas de los valores máximos admisibles (VMA) y evitando ocasionar deterioros a las tuberías, buzones, plantas de tratamiento de agua residual y fuentes naturales de agua.

En ese contexto, se logró diseñar una celda de electrocoagulación de 7 litros de volumen de dimensiones 20 cm de ancho, 25 cm de largo y 15 cm de alto, con 3 zonas bien diferenciadas como la zona de espumas, zona de reacción y zona de lodos donde ocurren todos los procesos de la electrocoagulación, además, se insertó un canal central para la evacuación de las espumas, para que se dirijan a su tratamiento respectivo junto a los lodos sedimentados. Así mismo, se utilizó placas de aluminio como electrodo principal a 22 mm de distancia. El material de la celda fue de se construyó de material acrílico de 3 mm de espesor.

Por otro lado, se determinó la cantidad de aceites y grasas en el efluente de la celda EC luego de su tratamiento obteniendo buenos resultados de remoción concluyendo que la densidad de corriente y el tiempo de reacción son significativos aceptando la hipótesis de la investigación.

Finalmente, se logró optimizar la remoción de aceites y grasas al 99% aplicando una densidad de corriente de 34 (A/m²) a 20 minutos de tiempo de reacción. Así mismo, aplicando de 20 (A/m²) a 25(A/m²) de densidad de corriente con 10 min a 15 min de tiempo de reacción podemos generar un porcentaje de remoción del orden de 70% a 90% optimizando el proceso y cumpliendo los valores máximos admisibles para aguas

residuales del centro de faenamiento avícola y/o industrias que descarguen agua residual con el parámetro de aceites y grasas en específico en la red de alcantarillado sanitario de Huaraz.



VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Torre, J. (2016). *Propuesta de un sistema de tratamiento de efluentes para la obtención de agua reutilizable en el centro de beneficio avícola Andy s.r.l.* Tesis de grado, Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo, Escuela De Ingeniería Industrial.
- Agraria, S. N. (2008). *Reglamento Sanitario de Animales de Abasto.*
- Aguilar Cárdenas, C. F., & Matta Sarmiento, F. A. (2020). *Diseño de un prototipo de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aarr en industrias lacteas: caso combilac.* Tesis, Universidad Santo Tomás, Facultad De Ingeniería Ambiental, Tunja-Boyacá. Retrieved 28 de 12 de 2021.
- Aguilar Coronación, F., & Palian Azabamba, J. (2020). *Influencia De La Densidad De Corriente Y Del Tiempo De Residencia En La Remoción De Fosfatos De Una Solución Sintética Por Electrocoagulación, Utilizando Electroodos De Aluminio A Nivel Laboratorio.* Tesis, Universidad Nacional del centro del Perú, Facultad De Ingeniería Química. Retrieved 2022.
- Andía Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación Y Floculación.* Manual, SEDAPAL. Retrieved 29 de 12 de 2021, from <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
- Arango Ruiz , A., & Gárces Giraldo, L. (Enero-Junio de 2007). La Electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Lasallista de investigación*, 49-56. Retrieved 09 de 12 de 2021.
- Arango Ruiz , A., & Gárces Giraldo, L. (Enero-Junio de 2007). La Electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Lasallista de investigación*, 49-56. Retrieved 09 de 12 de 2021.
- Arango Ruiz, A. (2005). *La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales.* Revista Lasallista de Investigación. Redalyc. <https://doi.org/1794-4449>



- Cánepa de Vargas, L., Pardón, M., Maldonado Yataco, V., Barrenechea, A., & Aurazo, M. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano* (Vol. TOMO I). Lima, Perú: OPS/CEPIS/PUB/04.109. Retrieved 01 de 17 de 2022.
- Chen, G. (2003). *Electrochemical technologies in wastewater treatment*. Artículo, Hong Kong University of Science & Technology, Department of Chemical Engineering, Hong Kong. Retrieved 01 de 17 de 2022.
- Choque Huisa, M. M. (2019). *Tratamiento de aguas residuales en la industria textil, por el metodo de electrocoagulación*. Tesis, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Facultad De Ingeniería Civil, Arequipa. Retrieved 28 de 12 de 2021.
- Cruz, J. (2016). Matanza de aves en forma industrial y manual. *etapas del proceso de faenamiento de pollo*. (E. INSIGNIA, Ed.) BUENOS AIRES, ARGENTINA. Retrieved 29 de 12 de 2021, from <https://elinsignia.com/2016/11/22/etapas-del-proceso-faenamiento-del-pollo/>
- Eilen A., Dale A. C, Arild S. E. , & Egil T. G. (1984). *Electrocoagulation of potable water*. Water research. Retrieved 01 de 17 de 2022.
- Española, R. A. (2022). *Diccionario de lenguaje español*. <https://dle.rae.es/emulsión>
- Gil, M. (2021). *igua*. <https://www.iagua.es/blogs/mauricio-gil/como-disenar-y-formar-buen-floc>
- Harif T., Khai M. , & Adin A. . (2012). *Electrocoagulation versus chemical coagulation: Coagulation/Flocculation emchanisms and resulting floc characteristics*. Water Reseach.
- Hernández Sampieri , R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (Quinta ed.). (S. D. INTERAMERICANA EDITORES, Ed.) MEXICO: McGrawHill. Retrieved 06 de 01 de 2022.
- Jiménez Bautista, K. C. (2018). *Reducción de d_{qo} por tratamientos físico-químicos de coagulación-floculación y electrocoagulación en aguas residuales*. Tesis,



- Universidad de las Americas, Facultad de ingeniería y ciencias agropecuarias, Quito. Retrieved 27 de 12 de 2021.
- Kabdash, I., Alaton I., A., Hanci T. , Ö., & Tünay O. (2012). *Electrocoagulation applications for industrial wastewater: a critical review*. Environmental Technology Reviews.
- Koren, J., & Syversen, U. (1995). *State of the art electroflocculation*.
- Lee, C. (2005). *Environmental Engineering Dictionary* (Vol. 4th ed.). United States of America: Government Institutes.
- M.Yousuf , M., Schennach, R., Parga, J., & LCocke, D. (2001). *Electrocoagulation (EC) - Science and applications*. [https://doi.org/10.1016/s0304-3894\(01\)00176-5](https://doi.org/10.1016/s0304-3894(01)00176-5).
- Martínez Navarro, F. (2007). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional*. Universidad de Castilla la Mancha, Facultad de Ciencias Químicas. Cuenca: I.S.B.N. Ediciones de la UCLM. Retrieved 27 de 12 de 2021.
- Mollah, Y, Morkovsky, P, Gomes, J., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. . (2004). *Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation*. Journal of Hazardous Materials.
- Morales Quevedo, S. E. (2018). *Remoción de aceites y grasas de un efluente industrial del sector lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio*. Tesis, Universidad Nacional De Ingeniería, Facultad De Ingeniería Química Y Textil, Lima. Retrieved 17 de 01 de 2022.
- Myers, A. L. (2004). *Chemical Thermodynamics for Industry*. T.M. Letcher.
- Narvaez, M. (2022). *Question Pro*. Método deductivo: Qué es y cuál es su importancia: <https://www.questionpro.com/blog/es/metodo-deductivo/#conclusion>
- Piña, S., Domínguez, A, M., Ramírez, C. , G., García, F., P., Lara, A., G., & Espinoza, J. E. , G. (2011). *Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación*. Mexico. Retrieved 17 de 01 de 2022.

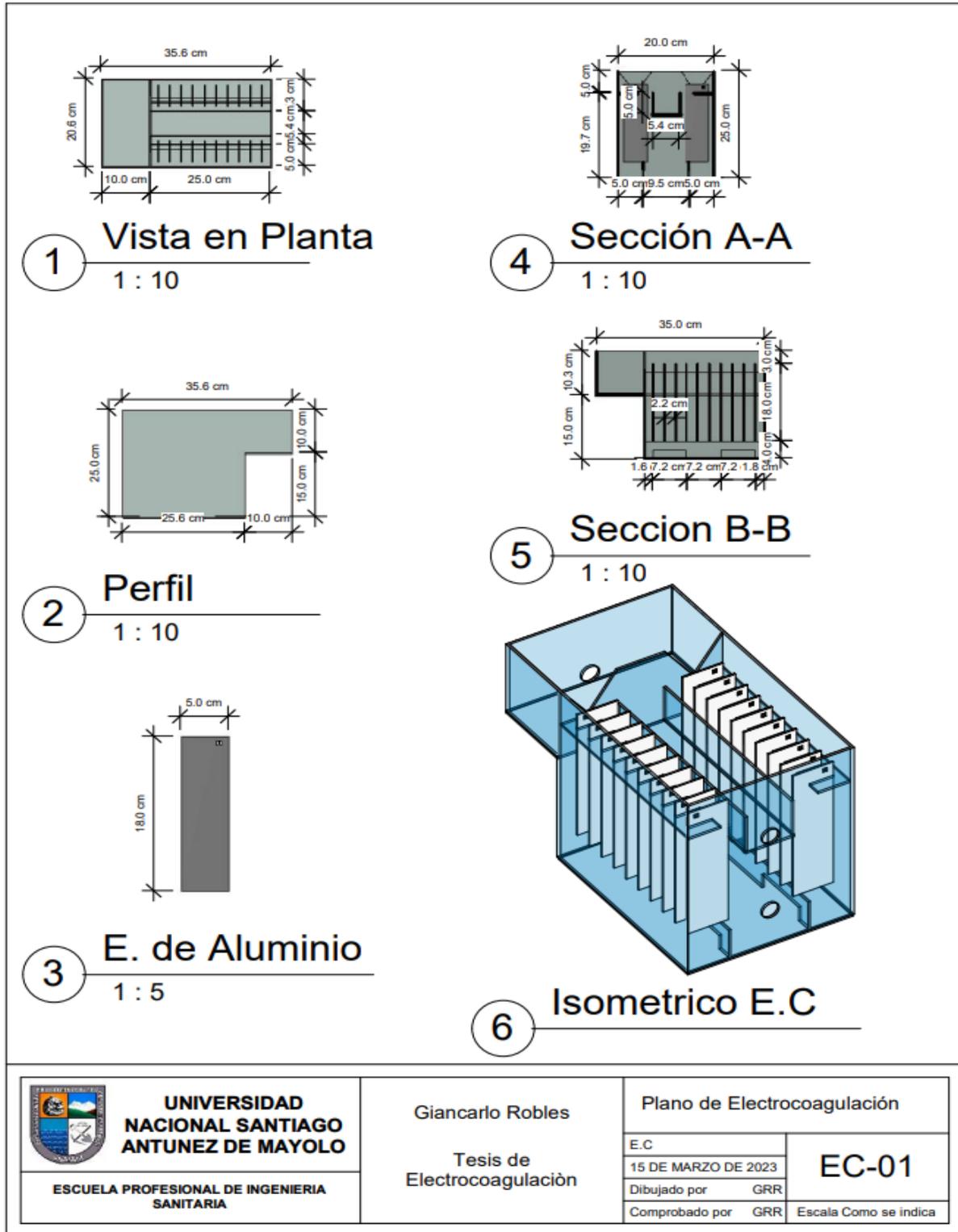


- Quispe Quispe, K. K. (2015). *“Electrocoagulación En La Remoción De Mercurio De Las Aguas Residuales En El Centro Poblado La Rinconada- Puno.* Tesis, Universidad Nacional Del Altiplano, Facultad De Ingeniería Química, Puno. Retrieved 28 de 12 de 2021.
- Restrepo Mejía , A., Arango Ruiz , Á., & Garcés Giraldo, L. (2006). *La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas.*
- Rojas Monar, M. (2017). *Reducción De La Dqo Del Agua Del Río Lacramarca Mediante El Proceso De Electrocoagulación, Chimbote-2017.* Tesis, Universidad César Vallejo, Facultad de ingeniería Ambiental, Chimbote. Retrieved 22 de 04 de 22.
- Saneamiento, M. d. (2019). *Reglamento de Valores maximos Admisibles.*
- Huamán, M. M., Rosas, Y. W., & Depaz, K. F. (2022). Effect of Hydraulic and Organic Load, in the Removal of Biochemical Oxygen Demand in Wastewater using Biofilter with Vegetable Carbon, in High Andean Climate. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 973, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.
- Silis Cano, J., Tejocote Pérez, M., Amaya Chávez, A., & Balderas Hernández, P. (2017). *Mejoramiento de la calidad del agua sintética contaminada con oxitetraciclina mediante un sistema en continuo: Electrocoagulación-fitorremediación.* Tesis, Universidad Autónoma del Estado de México
- Snel, H., & Arboleda, V. (1982). *Influencia de la escala de turbulencia en el proceso de floculación del agua.* ACODAL.
- Villegas Echeverri, L. C. (1997). *Manual De Caracterización De Aguas Residuales Industriales.* Medellin: Impreso En Ideas Gráficas Ltda. Retrieved 29 de 12 de 2021.



ANEXOS

Anexo 1: Plano de la celda de electrocoagulación



 UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA	Giancarlo Robles	Plano de Electrocoagulación	
	Tesis de Electrocoagulación	E.C	EC-01
		15 DE MARZO DE 2023	
		Dibujado por GRR	Comprobado por GRR

Anexo 2: Panel Fotográfico

Fotografía 1: Centro de Faenamiento Avícola



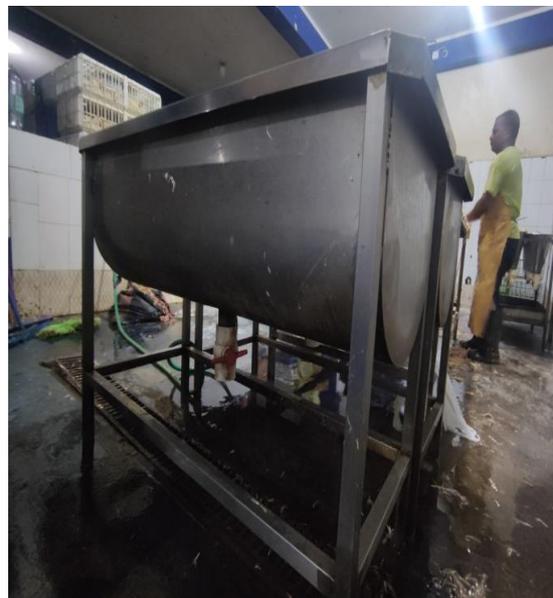
Fotografía 2: Proceso de producción Avícola



Fotografía 3: Llenado de estanques de lavado



Fotografía 4: Drenaje de estanque hacia el desagüe de la instalación



Fotografía 3: Eviscerado y Lavado de las aves



Fotografía 4: Drenaje de estanque hacia el desagüe de la instalación



Fotografía 5: Fuente de energía regulable de 0-30 V y 0-10 A. Certificado



Fotografía 5: Fuente de energía regulable de 0-30 V y 0-10 A. Certificado



Fotografía 6: Prueba prototipo en la celda real



Fotografía 7 y 8: Armado final de la celda de electrocoagulación.



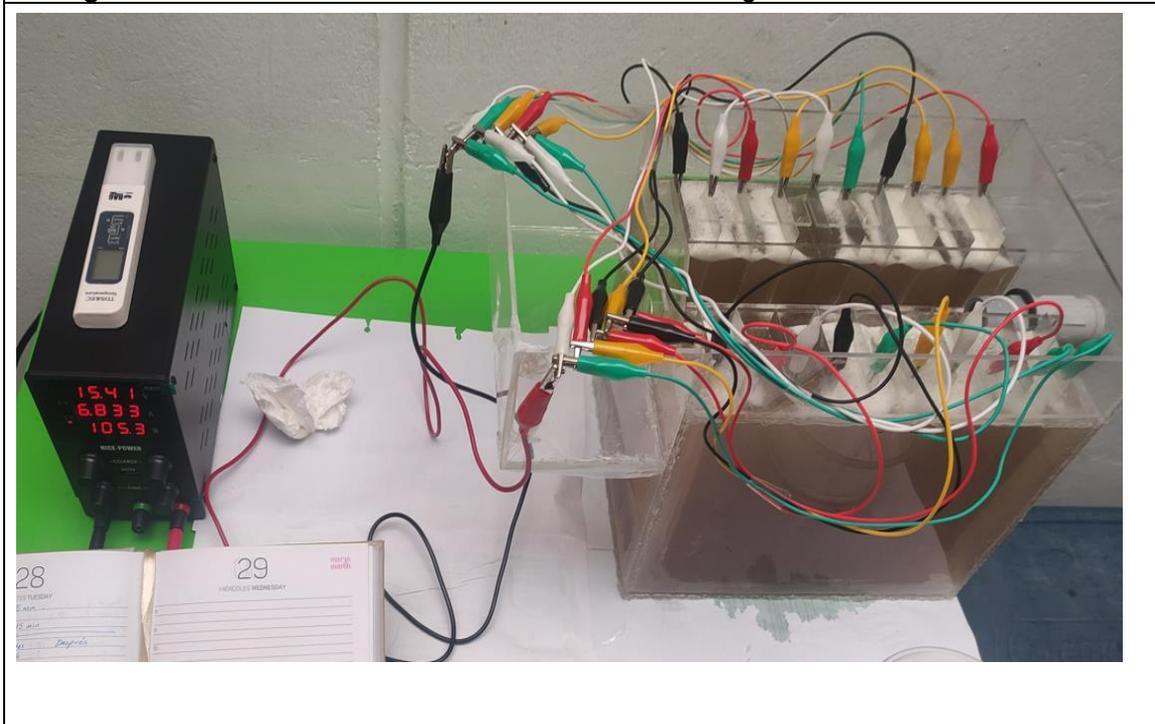
Fotografía 9 y 10: Toma de la muestra general o madre para el análisis en laboratorio.



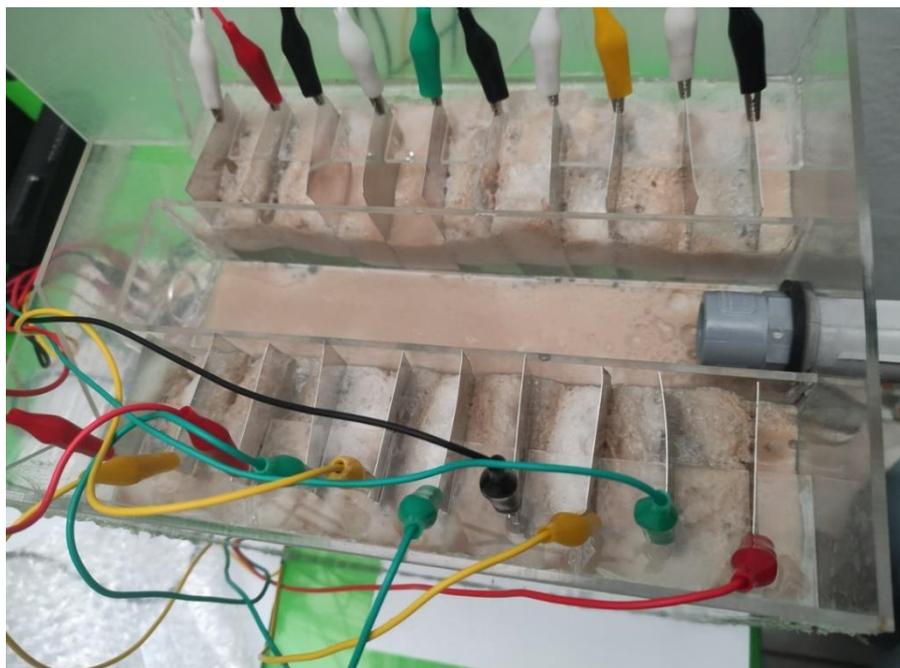
Fotografía 11 y 12: Toma de indicadores a la muestra madre



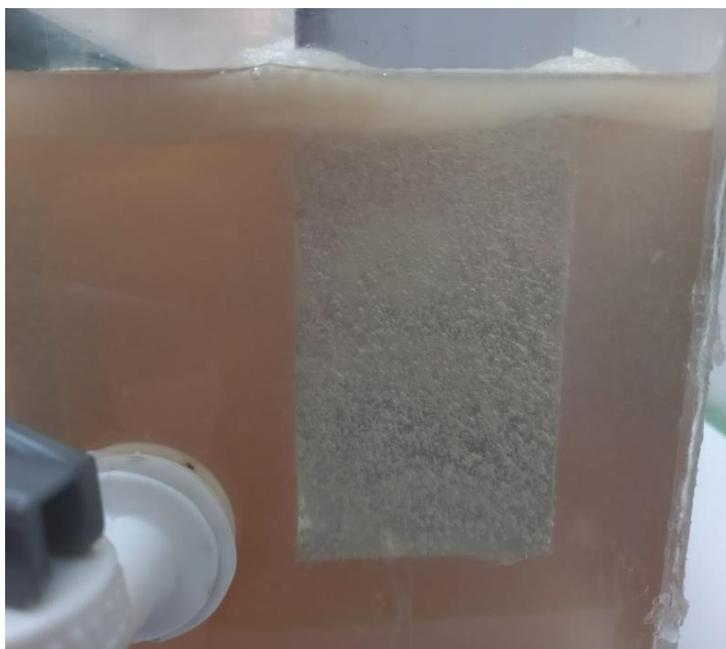
Fotografía 13: Realizando el tratamiento de electrocoagulación



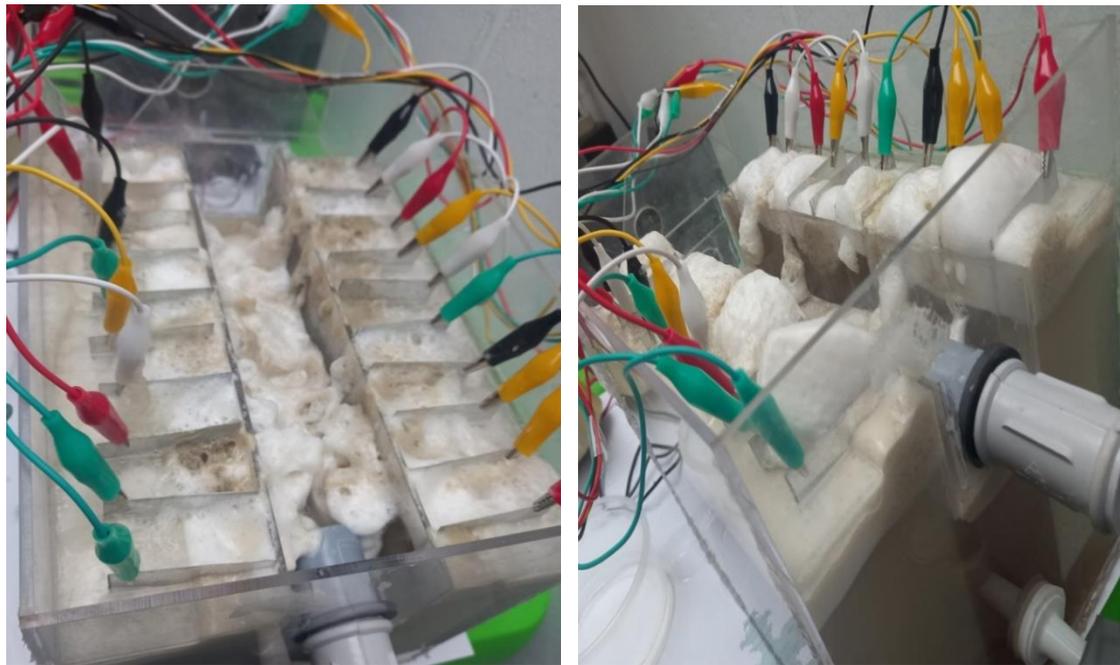
Fotografía 14: Realizando el tratamiento de electrocoagulación



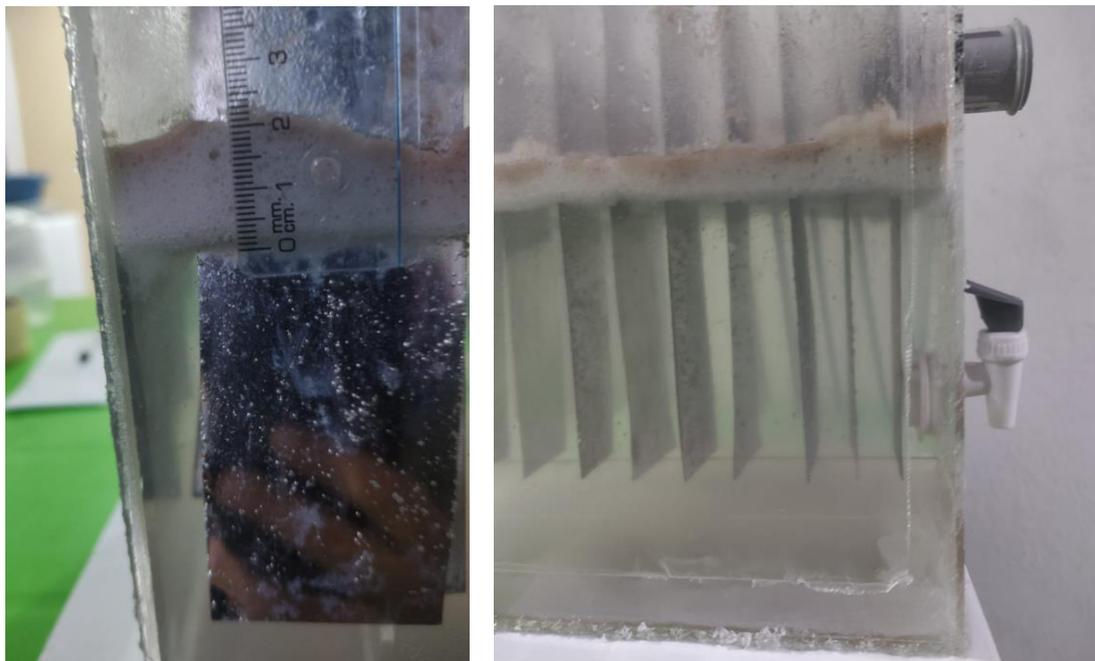
Fotografía 15: Formación de hidrogeno en el Cátodo



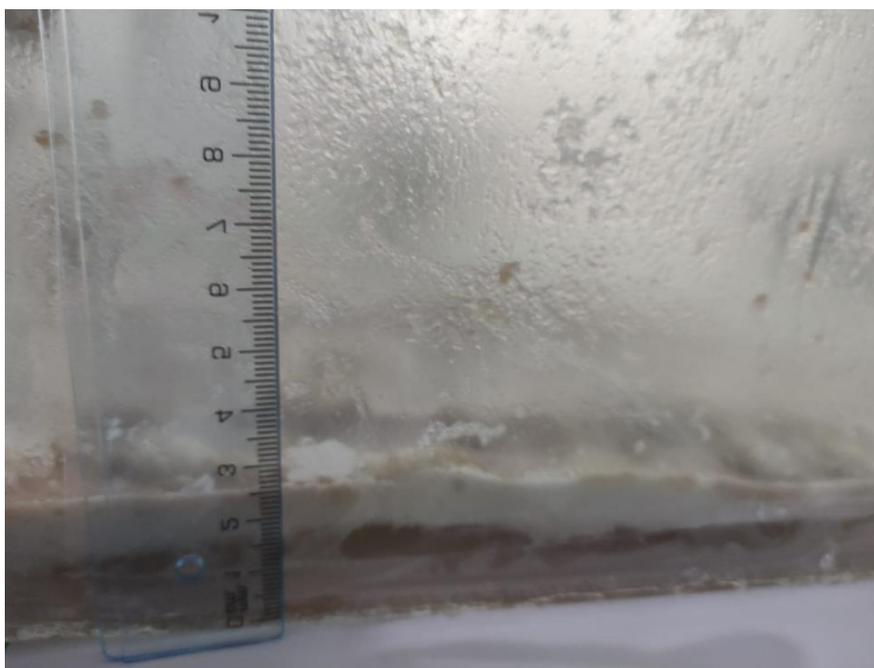
Fotografía 16 y 17: Canal de espumas y flotantes



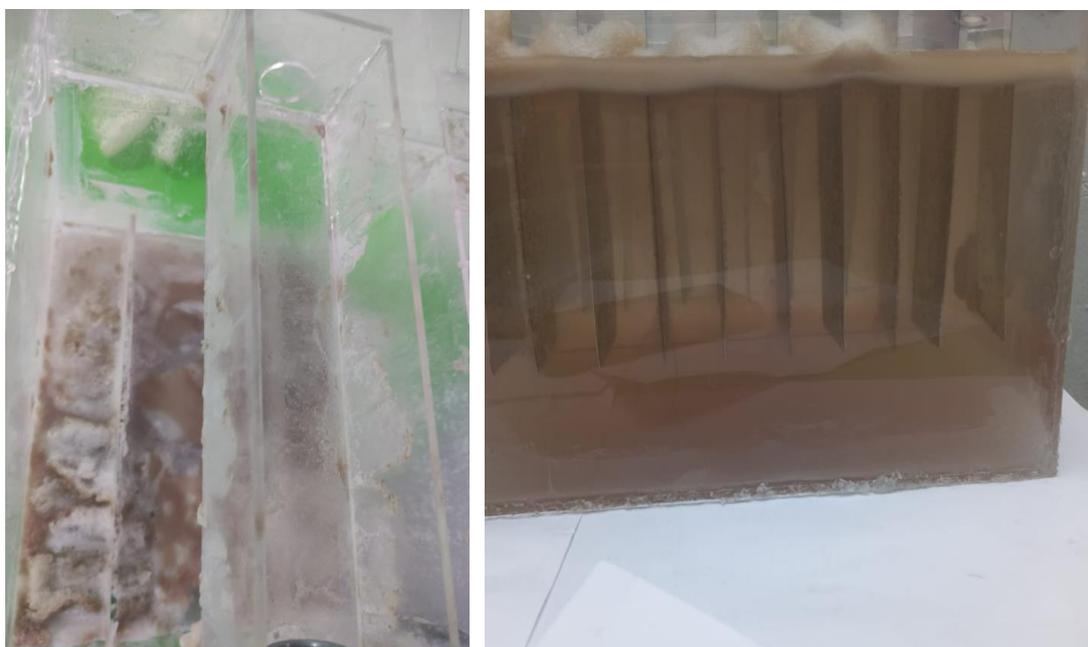
Fotografía 18 y 19: Medicion de la zona de espumas



Fotografía 20: Zona de sedimentación



Fotografía 21 y 22: Zona de sedimentación y lodos en el fondo de la celda



Fotografía 23: Toma de muestra luego del tratamiento



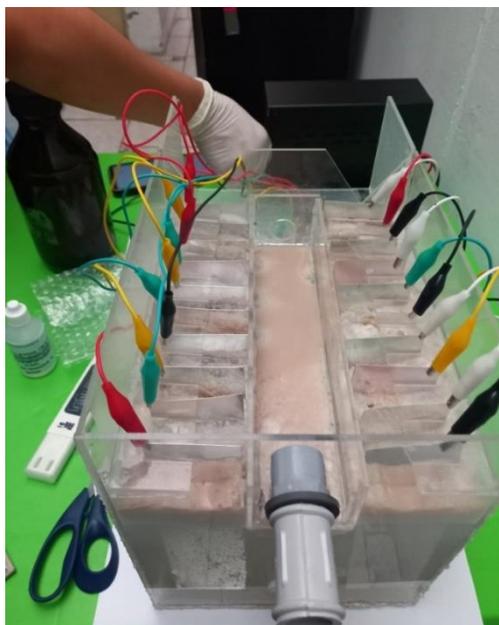
Fotografía 24: Toma de la muestra luego del tratamiento



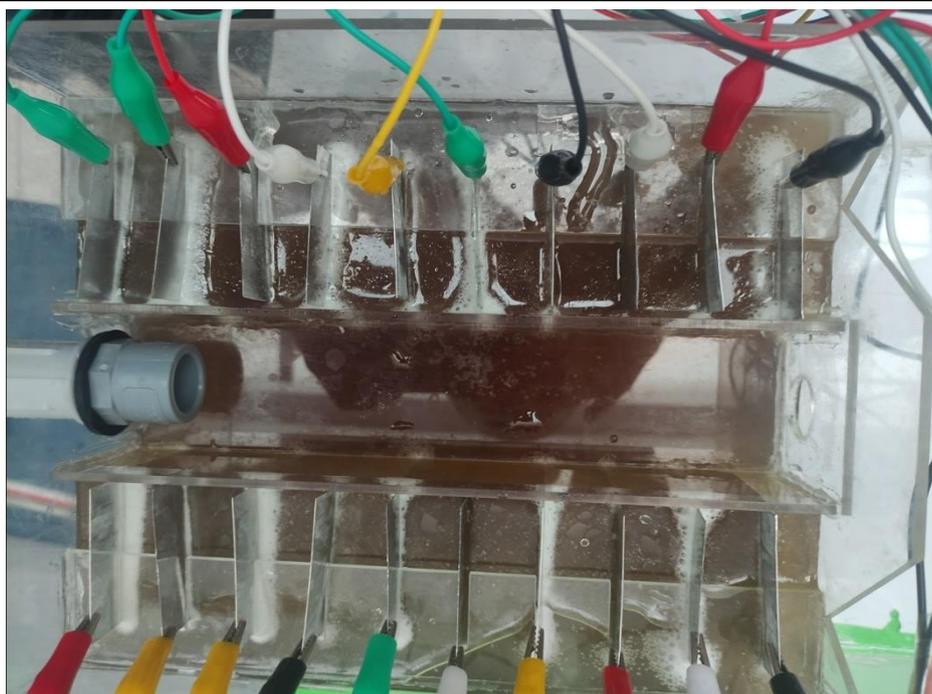
Fotografía 27: Zona de espumas



Fotografía 28: Formación de hidrogeno en el Cátodo



Fotografía 29: Canal de espumas y flotantes



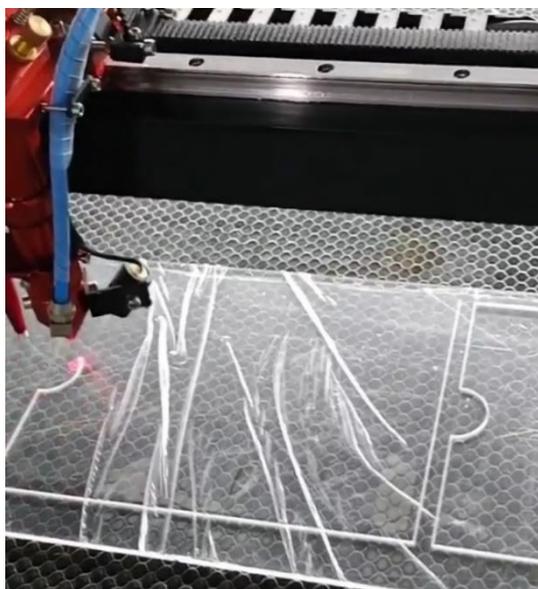
Fotografía 30: Pretratamiento de cribas finas de 5 mm de abertura.



Fotografía 31: Pruebas prototipo en celdas mas pequeñas



Fotografía 32 y 33: Cortado y pegado del acrílico



Anexo 3: Reportes de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



INFORME DE ENSAYO N° 171755-2023 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : ROBLES RODRÍGUEZ GIANCARLO
DOMICILIO LEGAL : JR. MANUEL CASOS 1250 URB. LAS BRISAS - LIMA - LIMA
SOLICITADO POR : ROBLES RODRÍGUEZ GIANCARLO
REFERENCIA : ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA TRATADA
PROCEDENCIA : "AVÍCOLA, POLLOS FRESCOS"
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2023-03-21/ 23/ 24/ 27/ 28/ 29/ 30
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2023-03-21 AL 2023-04-03
FECHA(S) DE MUESTREO : 2023-03-21/ 23/ 24/ 27/ 28/ 29/ 30
MUESTREADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Oil and Grease Aceites y grasas	ASTM D7678 - 17. Standard Test Method for Total Oil and Grease (TOG) and Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) in Water and Wastewater with Solvent Extraction using Mid-IR Laser Spectroscopy.	0.50	mg/L

L.C.: límite de cuantificación.

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual
Fecha de muestreo	2023-03-21	2023-03-21
Hora de inicio de muestreo (h)	16:30	16:35
Coordenadas	-12.064474E 77.058983N	-12.064474E 77.058983N
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada
Código del Cliente	Punto 1	Punto 2
Código del Laboratorio	23031780	23031781
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829		
Ensayo	Unidades	Resultados
Oil and Grease Aceites y grasas	mg/L	187.08 204.57

Resultados de campo proporcionados por el cliente			
Parámetro	Unidades	Punto 1 23031780	Punto 2 23031781
**Temperatura	°C	24	23.7
**Conductividad	µS/cm	1110	1020
**SDT	mg/L	550	583

**Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación IAS.


ING. TELLO PAUCAR
MARILU
SERVICIOS ANALÍTICOS
GENERALES SAC
Firmado con www.tocapu.pe

DIRECTOR TÉCNICO DE LABORATORIO

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 005/versión: 02/FEB/04/2021

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Rios Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 5





**INFORME DE ENSAYO N° 171755-2023
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual
Fecha de muestreo	2023-03-23	2023-03-23
Hora de inicio de muestreo (h)	17:10	17:35
Coordenadas	-12.064474E 77.058983N	-12.064474E 77.058983N
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada
Código del Cliente	Punto 3	Punto 4
Código del Laboratorio	23031972	23031973

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829

Ensayo	Unidades	Resultados
Oil and Grease Aceites y grasas	mg/L	59.17 <0.50

Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual
Fecha de muestreo	2023-03-24	2023-03-24
Hora de inicio de muestreo (h)	12:45	13:30
Coordenadas	-12.064474E 77.058983N	-12.064474E 77.058983N
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada
Código del Cliente	Punto 5	Punto 6
Código del Laboratorio	23032134	23032135

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829

Ensayo	Unidades	Resultados
Oil and Grease Aceites y grasas	mg/L	103.06 67.87

Resultados de campo proporcionados por el cliente

Parámetro	Unidades	Punto 3 23031972	Punto 4 23031973
**Temperatura	°C	24	32.5
**Conductividad	uS/cm	804	699
**SDT	mg/L	386	359
Parámetro	Unidades	Punto 5 23032134	Punto 6 23032135
**Temperatura	°C	24.5	27.3
**Conductividad	uS/cm	955	942
**SDT	mg/L	510	470

**Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación IAS.

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

Cod.: FI 005/Version: 02/FEB/04/2021

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perechabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 5





**INFORME DE ENSAYO N° 171755-2023
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual
Fecha de muestreo	2023-03-27	2023-03-27
Hora de inicio de muestreo (h)	12:45	14:15
Coordenadas	-12.064474E	-12.064474E
	77.058983N	77.058983N
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada
Código del Cliente	Punto 7	Punto 8
Código del Laboratorio	23032193	23032194

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829

Ensayo	Unidades	Resultados	
Oil and Grease Aceites y grasas	mg/L	32.46	2.83

Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual
Fecha de muestreo	2023-03-28	2023-03-28
Hora de inicio de muestreo (h)	12:20	12:50
Coordenadas	-12.064474E	-12.064474E
	77.058983N	77.058983N
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada
Código del Cliente	Punto 9	Punto 10
Código del Laboratorio	23032366	23032367

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829

Ensayo	Unidades	Resultados	
Oil and Grease Aceites y grasas	mg/L	47.84	5.39

Resultados de campo proporcionados por el cliente

Parámetro	Unidades	Punto 7	Punto 8
		23032193	23032194
**Temperatura	°C	26.7	26.9
**Conductividad	uS/cm	713	744
**SDT	mg/L	357	372
Parámetro	Unidades	Punto 9	Punto 10
		23032366	23032367
**Temperatura	°C	26.1	27
**Conductividad	uS/cm	840	810
**SDT	mg/L	413	392

**Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación IAS.

Cod.: FI 005/Version: 02/F.E.04/2021

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Rios Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

EXPERTS
WORKING
FOR YOU





**INFORME DE ENSAYO Nº 171755-2023
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2023-03-29	2023-03-29	
Hora de inicio de muestreo (h)	12:35	13:15	
Coordenadas	-12.064474E	-12.064474E	
	77.058983N	77.058983N	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada	
Código del Cliente	Punto 11	Punto 12	
Código del Laboratorio	23032195	23032196	
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829			
Ensayo	Unidades	Resultados	
Oil and Grease Aceites y grasas	mg/L	21.25 18.80	
Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2023-03-29	2023-03-29	
Hora de inicio de muestreo (h)	16:20	16:50	
Coordenadas	-12.064474E	-12.064474E	
	77.058983N	77.058983N	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada	
Código del Cliente	Punto 13	Punto 14	
Código del Laboratorio	23032368	23032369	
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829			
Ensayo	Unidades	Resultados	
Oil and Grease Aceites y grasas	mg/L	22.03 19.86	
Resultados de campo proporcionados por el cliente			
Parámetro	Unidades	Punto 11 23032195	Punto 12 23032196
**Temperatura	°C	26.5	26.4
**Conductividad	uS/cm	832	821
**SDT	mg/L	410	425
Parámetro	Unidades	Punto 13 23032368	Punto 14 23032369
**Temperatura	°C	26.1	26.7
**Conductividad	uS/cm	839	812
**SDT	mg/L	417	404

**Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación IAS.

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

Cod.: FI 005/Version: 02/FEC/04/2021

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas Nº 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner Nº 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com





**INFORME DE ENSAYO N° 171755-2023
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual
Fecha de muestreo	2023-03-30	2023-03-30
Hora de inicio de muestreo (h)	12:25	14:15
Coordenadas	-12.064474E 77.058983N	-12.064474E 77.058983N
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada
Código del Cliente	Punto 15	Punto 16
Código del Laboratorio	23032125	23032126

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829

Ensayo	Unidades	Resultados
Oil and Grease Aceites y grasas	mg/L	21.93 23.06

Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual
Fecha de muestreo	2023-03-30	2023-03-30
Hora de inicio de muestreo (h)	16:20	16:50
Coordenadas	-12.064474E 77.058983N	-12.064474E 77.058983N
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada
Código del Cliente	Punto 17	Punto 18
Código del Laboratorio	23032387	23032388

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829

Ensayo	Unidades	Resultados
Oil and Grease Aceites y grasas	mg/L	219.20 210.42

Resultados de campo proporcionados por el cliente

Parámetro	Unidades	Punto 15	Punto 16
		23032125	23032126
**Temperatura	°C	25.9	26.6
**Conductividad	uS/cm	802	831
**SDT	mg/L	397	421
Parámetro	Unidades	Punto 17	Punto 18
		23032387	23032388
**Temperatura	°C	24.1	24.7
**Conductividad	uS/cm	1095	1140
**SDT	mg/L	587	509

**Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación IAS.

Lima, 04 de Abril del 2023.

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

Cod. FI 005/ Versión: 02/FE 04/2021

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 5 de 5

