



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DISEÑO DE UN PROCESO DE TRATAMIENTO DE**  
**AGUAS RESIDUALES DE UNA AVÍCOLA MEDIANTE**  
**ELECTROCOAGULACIÓN**  
**TESIS DE GRADO**

**TIPO DE TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**DESCRIPTIVO EXPERIMENTAL**

Trabajo de titulación presentado como requisito para la  
obtención del título de  
**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR**  
**COELLO ZAMORA LUIS ALBERTO**

**TUTOR**  
**ING. MUÑOZ NARANJO DIEGO IVAN**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2021**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

Yo, MUÑOZ NARANJO DIEGO IVAN, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: “DISEÑO DE UN PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA AVÍCOLA MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN”, realizado por el estudiante COELLO ZAMORA LUIS ALBERTO; con cédula de identidad N° 0941713158 de la carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica GUAYAQUIL, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

---

Ing. Diego Iván Muñoz Naranjo

Guayaquil, 21 de mayo del 2021



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “DISEÑO DE UN PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA AVÍCOLA MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN”, realizado por el estudiante COELLO ZAMORA LUIS ALBERTO, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

---

Dr. Freddy Arcos Ramos  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Diego Arcos Jácome  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

Ing. Luis Morocho Rosero  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

Ing. Diego Muñoz Naranjo  
**EXAMINADOR SUPLENTE**

Guayaquil, 16 de junio del 2021

### **Dedicatoria**

Deseo dedicar este trabajo de titulación a Dios y mis padres, sin ellos no fuera nadie en esta vida; también a los docentes de la Universidad Agraria del Ecuador los cuales con sus consejos me ayudaron como guías para la realización del trabajo, deseo dedicar mi trabajo también a mi enamorada que sin ella no hubiera sido posible el cumplir este sueño, y finalmente a mis amigos que me acompañaron en todos los años de estudio y los cuales dejaron una verdadera marca de lo que es la amistad.

### **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por darme salud y vida para lograr realizar con éxito en todos los años de estudio, los semestres de la carrera. Agradezco también a mis padres por su apoyo económico, psicológico y moral incondicional que me brindaron ante mi elección de profesión como Ingeniero Ambiental. Agradezco a mi enamorada Milka Alvarado quien es un pilar fundamental en mi vida y me ha ayudado en todo momento. Agradezco a mis hermanos que son mi motor para seguir adelante. Agradezco finalmente a mi tutor el Ing. Diego Muñoz por su guía y ayuda prestada en el proyecto de tesis.

### **Autorización de Autoría Intelectual**

Yo LUIS ALBERTO COELLO ZAMORA, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “DISEÑO DE UN PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA AVÍCOLA MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN” para optar el título de Ingeniero Ambiental, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 29 de junio del 2021

COELLO ZAMORA LUIS ALBERTO  
**C.I. 0941713158**

## Índice general

|   |    |
|---|----|
| PORTADA.....  | 1  |
| APROBACIÓN DEL TUTOR .....                                      | 2  |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....                   | 3  |
| Dedicatoria.....  | 4  |
| Agradecimiento .....  | 5  |
| Autorización de Autoría Intelectual.....                        | 6  |
| Índice general.....   | 7  |
| Índice de tablas.....   | 10 |
| Índice de figuras.....  | 11 |
| Resumen.....  | 13 |
| Abstract .....  | 14 |
| 1. Introducción.....  | 15 |
| 1.1 Antecedentes del problema.....                              | 16 |
| 1.2 Planteamiento y formulación del problema .....              | 16 |
| 1.2.1 Planteamiento de la problemática .....                    | 19 |
| 1.2.2 Formulación del problema.....                             | 20 |
| 1.3 Justificación de la investigación.....                      | 20 |
| 1.4 Delimitación del problema .....                             | 21 |
| 1.5 Objetivo general.....                                       | 22 |
| 1.6 Objetivos específicos.....                                  | 22 |
| 1.7 Hipótesis .....   | 22 |
| 2. Marco teórico .....  | 23 |
| 2.1 Estado del arte .....                                       | 23 |
| 2.2 Bases teóricas.....   | 26 |
| 2.2.1 Aguas residuales de avícolas.....                         | 26 |
| 2.2.2 Características de las Aguas Residuales de avícolas ..... | 28 |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.3 Característica de las Aguas Residuales Generadas por subproductos de Avícolas .....  | 28 |
| 2.2.4 Tratamiento del agua residual de una avícola .....   | 30 |
| 2.2.6 Caracterización y Diagnóstico .....  | 32 |
| 2.2.7 Parámetros microbiológicos.....  | 34 |
| 2.3 Marco legal.....   | 35 |
| 2.3.1 Ley de la Constitución Política de la República del Ecuador (2008).....  | 35 |
| 2.3.2 Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua (2014) .....  | 36 |
| 2.3.3 Acuerdo Ministerial 061 (2015).....  | 36 |
| 2.3.4 Acuerdo 097-A (2015).....  | 37 |
| 2.3.5 Anexo 1 del libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Ambiente, 2007) ..... | 38 |
| 3. Materiales y métodos .....  | 39 |
| 3.1 Enfoque de la investigación .....  | 39 |
| 3.1.1 Tipo de investigación .....  | 39 |
| 3.1.2 Diseño de investigación .....  | 40 |
| 3.2 Metodología .....  | 40 |
| 3.2.1 Variables .....  | 40 |
| 3.2.2 Tratamientos .....   | 40 |
| 3.2.3 Diseño experimental .....  | 43 |
| 3.2.4 Recolección de datos .....   | 43 |
| 3.2.5 Métodos y técnicas .....   | 45 |
| 3.2.6. Análisis estadístico .....  | 46 |
| 4. Resultados.....   | 48 |

|   |    |
|---|----|
| 4.1 Caracterización inicial del agua residual mediante el análisis físico, químico y biológico antes de la implementación del proceso de remediación.....   | 48 |
| 4.2 Análisis de resultados y eficiencia mediante la aplicación de electrocoagulación con las placas de hierro y aluminio para demostrar cuál de las dos placas utilizadas es la más efectiva..... | 48 |
| 4.2.9 Análisis de eficiencia de los tratamientos realizados.....  | 51 |
| 4.3 Proponer un método de estabilización a través de lodos generados en el tratamiento de electrocoagulación.....   | 55 |
| 4.3.1 Digestión aerobia.....  | 56 |
| 4.3.2 Composteo.....  | 56 |
| 4.3.3 Estabilización alcalina.....  | 57 |
| 5. Discusión.....   | 58 |
| 6. Conclusiones.....  | 61 |
| 7. Recomendaciones.....   | 62 |
| 8. Bibliografía.....  | 63 |
| 9. Anexos.....  | 68 |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Tratamiento de electrocoagulación para aguas residuales de una avícola<br>.....   | 41 |
| Tabla 2. Reactivo a utilizar en el tratamiento del agua residual.....  | 41 |
| Tabla 3. Recursos Económicos .....   | 44 |
| Tabla 4. Métodos de análisis para el agua residual generado en una avícola. ....   | 46 |
| Tabla 5. Tabla de análisis de varianza ANOVA.....  | 46 |
| Tabla 6. Resultados del análisis inicial de la muestra aleatoria del agua residual<br>de la avícola (Demanda química de oxígeno, Demanda biológica de oxígeno,<br>Turbidez, Sólidos Suspendidos Totales, Potencial de hidrógeno y los Coliformes<br>fecales) ..... | 48 |
| Tabla 7. Tabla de experimentación utilizada y modificada a 8 experimentos, cada<br>uno con sus repeticiones respectivas.....   | 49 |
| Tabla 8. Resultados del análisis de agua de los ocho experimentos propuestos ..  | 50 |
| Tabla 9. Tabla con los valores obtenidos de la muestra inicial, de los ocho<br>experimentos realizados y los límites permisibles del COA .....   | 51 |
| Tabla 10. Tabla con los valores obtenidos de la muestra inicial, del experimento<br>nº6 realizado y el limite permisibles del COA para DQO y DBO <sub>5</sub> .....  | 52 |
| Tabla 11. Tabla de análisis ANOVA para sólidos suspendidos totales. ....   | 53 |
| Tabla 12. Tabla de análisis ANOVA para turbidez .....  | 54 |
| Tabla 13. Características de las aguas residuales de industria Avícola Zulina. ....  | 76 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Valores finales de sólidos suspendidos totales (el eje “X” representa los experimentos y el eje “Y” representa la concentración en mg/l)..... | 52 |
| Figura 2. Valores finales de la turbidez (el eje “X” representa los experimentos y el eje “Y” representa la concentración en NTU).....                  | 53 |
| Figura 3. Diagrama de flujo del tratamiento de agua residual de avícola mediante la electrocoagulación y aprovechamiento de la espuma y los lodos.....  | 55 |
| Figura 4. Diagrama de flujo de la digestión aerobia.....  | 56 |
| Figura 5. Diagrama de flujo del compostaje.....   | 56 |
| Figura 6. Diagrama de flujo de la estabilización alcalina.....  | 57 |
| Figura 7. Mapa de ubicación de la Avícola Don Luis.....   | 68 |
| Figura 8. Ubicación del Avícola Don Luis.....   | 68 |
| Figura 9. Diseño piloto del reactor para el proceso de electrocoagulación elaborado en Autocad.....   | 69 |
| Figura 10. Memoria fotográfica del análisis inicial del agua de la avícola.....   | 69 |
| Figura 11. Primer experimento.....  | 70 |
| Figura 12. Segundo experimento.....   | 70 |
| Figura 13. Tercer experimento.....  | 71 |
| Figura 14. Cuarto experimento.....  | 71 |
| Figura 15. Quinto experimento.....  | 72 |
| Figura 16. Sexto experimento.....   | 72 |
| Figura 17. Séptimo experimento.....   | 73 |
| Figura 18. Octavo experimento.....  | 73 |
| Figura 19. Materiales para la elaboración del filtro.....   | 74 |
| Figura 20. Tesista Luis Coello recogiendo la muestra de agua.....   | 74 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 21. Muestras de agua tratadas y filtradas listas para analizar.....      | 75 |
| Figura 22. Análisis final de laboratorio con mayoría de placas de aluminio..... | 75 |

## Resumen

La tesis en mención se encargó del diseño experimental de un proceso piloto de tratamiento de aguas residuales de una avícola a través de electrocoagulación, con la finalidad de dar cumplimiento de los estándares de descarga establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana en lo que respecta a descargas a fuentes naturales o de alcantarillado, se logró esto primero realizando la caracterización del agua residual a tratar mediante un análisis físico, químico y biológicos (pH, sólidos totales, suspendidos, disueltos, turbidez, DBO, DQO, etc.) donde se conoció la situación de inicial de los parámetros antes mencionados, luego se analizaron los resultados de la experimentación y la eficiencia encontrada en la combinación de las placas de hierro y aluminio para demostrar de esta manera cuál en mayoría de las dos placas utilizadas era la más efectiva. El objetivo fue completado gracias a una serie de acciones en conjunto como la recolección del agua, el racionamiento y la aplicación del floculante durante la electrocoagulación, al finalizar el proceso se realizaron filtrados en las muestras de agua donde no hubieron diferencias significativas que comparar entre los tratamientos, es así que, terminando la tesis se propuso un método de estabilización para los lodos generados y recogidos en los recipientes utilizados durante los 8 experimentos. Se concluye que los tratamientos con mayoría de placas de aluminio son menos efectivos que los que tienen mayoría de placas de hierro, dado que el hierro, aunque se corroe por la electrocoagulación elimina más rápido la turbidez y los sólidos encontrados en el agua residual.

**Palabras clave:** Agua Residual, Avícola, Electrocoagulación  
Tratamiento Físico-Químico

### **Abstract**

The thesis in question was in charge of the experimental design of a pilot process for the treatment of wastewater from a poultry farm through electrocoagulation, in order to comply with the discharge standards established in the Ecuadorian environmental regulations regarding discharges to sources. natural or sewage systems, this was achieved first by characterizing the wastewater to be treated through a physical, chemical and biological analysis (pH, total solids, suspended, dissolved, turbidity, BOD, COD, etc.) where the initial situation was known of the aforementioned parameters, then the results of the experimentation and the efficiency found in the combination of the iron and aluminum plates were analyzed to demonstrate in this way which in the majority of the two plates used was the most effective. The objective was completed thanks to a series of joint actions such as the collection of the water, the rationing and the application of the flocculant during the electrocoagulation, at the end of the process, filtrations were carried out on the water samples where there were no significant differences to compare between the samples. treatment, thus, at the end of the thesis, a stabilization method was proposed for the sludge generated and collected in the containers used during the 8 experiments. It is concluded that the treatments with the majority of aluminum plates are less effective than those with the majority of iron plates, since iron, although corroded by electrocoagulation, removes turbidity and solids found in wastewater faster.

**Keywords:** Electrocoagulation, Physical-Chemical Treatment, Waste Water, Poultry.

## 1. Introducción

El consumo de productos avícolas ha ido en constante aumento ya que, a nivel mundial constituye una parte importante de todo el consumo de carne. Es por ello, que los mataderos producen grandes cantidades de agua residual que contienen altas cantidades de materia orgánica biodegradable, suspendidas y materia coloidal entre las cuales se pueden destacar las grasas, proteínas y celulosa (Koby, 2006).

La normativa ambiental vigente regula las descargas del efluente líquido residual, mismo que en el caso de la industria avícola cuentan con un proceso de faenamiento, el cual tiene un impacto ambiental alto, es por eso que se ha convertido en una preocupación importante no solo en el procesamiento en aves de corral sino también para la industria cárnica en general. El estudio presentado es una opción para tratar los efluentes residuales, mediante la electrolisis del agua (Bayramoglu, 2006).

El proceso de electrocoagulación es un factor importante en el tratamiento de aguas residuales industriales debido a su diversidad y afinidad medioambiental, este método es caracterizado por un equipo simple, de fácil manipulación, reducción de equipos para agregar productos químicos y disminución de la cantidad de precipitado, esta tecnología es efectiva y confiable para reducir los contaminantes del agua (Koby, 2006).

Además, existe una considerable cantidad de investigación científica sobre el tratamiento de aguas residuales industriales por electrocoagulación, pero muy poca se han especializado en el tratamiento de agua residual de avícolas por medio de la electrocoagulación (Koby, 2006).

En el presente trabajo se realizó un análisis para determinar la calidad del agua, también se estudió la electrolisis que es la base teórica de la propuesta en esta tesis. Como parte práctica se consideró necesaria la estructuración de un diseño y construcción del reactor de electrocoagulación descripción de equipos y elementos útiles en el estudio y sus inherentes físicos y químicos, luego un estudio y análisis de ensayos para caracterización y justificación debido a los compuestos orgánicos que genera la avícola, esto para el cumplimiento de objetivos (Bayramoglu, 2006).

### **1.1 Antecedentes del problema**

### **1.2 Planteamiento y formulación del problema**

Existe una problemática mundial en la industria de avícolas según la Organización Mundial de Salud, el volumen de residuos líquidos que se generan por cada 1000 aves es de 37,5 m<sup>3</sup> para un aproximado de 30000 pollos, esto generaría una cantidad de 1125 m<sup>3</sup> de residuos líquidos y estos luego de su tratamiento tienen como destino final al alcantarillado los cuales eliminan aproximadamente 396.000 litros de cargas contaminantes al día (Chávez, 2007).

Al revisar información sobre la contaminación de aguas residuales de avícolas en Ecuador y otros países se encontraron varias investigaciones como la del repositorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral en Guayaquil, Ecuador; se menciona que es de suma importancia apuntar las características de estas aguas contaminadas como: baja densidad, poca solubilidad en el agua, baja o nula biodegradabilidad. Es por ello que si no son controladas estas aguas residuales, posteriormente se acumulan formando natas en la superficie del líquido. Así mismo, en la separación del sangrado es muy importante utilizar métodos para la generación de subproductos, por el cual se puede obtener un

beneficio económico y su presencia en las aguas residuales dificulta su tratabilidad, entre los impactos que generan las avícolas según el estudio, se evidencia gran cantidad de vertimientos de sólidos en suspensión, grasas y aceites, por los procesos de faenamiento de aves (Reyes, 2015).

Durante la limpieza de maquinaria, y herramientas de trabajo se generan contaminantes de naturaleza orgánica e inorgánica, previo a la utilización de desinfectantes y cloro al 99%. Cabe mencionar que el consumo de agua es muy variable (5-20L/ave). En esta planta tiene un promedio de 11l/ave con una producción de 36.000 pollos que generan un consumo diario de 396.000 litros de agua (Santinelli, 2012).

En la guía ambiental para el subsector avícola identifica como impactos ambientales a las aguas provenientes del lavado de los galpones (del piso después de la evacuación de la gallinaza o pollinaza, de paredes, cerchas y cubiertas), fundamentalmente cuando se emplea en exceso el agua provenientes de la desinfección de los galpones, aguas provenientes del lavado de los equipos (bebederos, comederos, cortinas, cubetas de huevo, nidos, jaulas, entre otros).

Además, se verifica en al menos los siguientes parámetros: DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos totales, nitratos y nitritos, pH, temperatura y coliformes totales para el tratamiento de estas aguas (Mejía, 2000).

Es evidente entonces que durante el proceso de matanza de la industria avícola, toda el agua residual generada entra a una planta de tratamiento, la reutilización de esta agua representaría el 12% del agua total consumida (Caldera, 2012).

Cabe mencionar que, Matsumura (2012) trató el agua proveniente de una industria cárnica, que incluyó la desinfección de 300m<sup>3</sup> de agua con cloro, para su posterior reutilización en el riego de árboles.

Por lo que, el tratamiento adecuado de las aguas residuales minimiza el impacto ambiental y reduce las necesidades de agua dulce. Se redujo el 31% del consumo reutilizando el agua de refrigeración en el lavado de vísceras y plumas en los canales (Matsumura, 2012).

Una avícola de gran escala en Nicaragua, produce 285 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales. Se caracteriza por presentar altas concentraciones de materia orgánica, biodegradable, tales como grasas, proteínas y celulosa (Acosta, 2016). Es decir son altamente contaminantes, debido a su elevada demanda bioquímica de oxígeno; provoca un alto impacto ambiental a los medios acuáticos, ya que normalmente estos se usan como cuerpos receptores para vertidos de aguas residuales (Acosta, 2016).

Resulta oportuno mencionar que en Nicaragua existen leyes, normas y reglamentos aprobado por el Gobierno que son aplicadas a través de las empresas nicaragüenses de acueductos y alcantarillados (ENACAL) ente regulador del recurso agua, y el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), ente regulador de protección ambiental (Morales, 2012).

Según Álvarez (2010), todo sistema productivo, de la industria avícola se enfrenta a diversas amenazas que ponen en riesgo su competitividad. Vale la pena anotar que en la avicultura las principales amenazas provienen de tres fuentes: alimentación, genética y sanidad. De estas tres, durante mucho tiempo se consideró que la alimentación era el principal factor que afectaba al sector, ya que de este depende la eficiencia productiva de las aves, a su vez, elementos

como el clima, los precios y la oferta influyen directamente sobre la disponibilidad y la calidad del alimento que se les suministra a las aves.

Cabe mencionar que dentro de los agentes patógenos que afectan a las aves se encuentran los virus, las bacterias y los hongos, los cuales actúan solos o en conjunto, generando diferentes cuadros de enfermedad, al igual que diversos tipos de consecuencias económicas en el sistema productivo (Álvarez, 2010).

Los argumentos presentados reflejan la importancia del desarrollo de un tratamiento de aguas residuales en una avícola debido a las descargas de contaminantes que estas generan.

### **1.2.1 Planteamiento de la problemática**

En Ecuador, a nivel de avícola se generan aproximadamente 3 litros de agua residual por cada 4 pollos en el faenado; es decir que, al día se utilizan aproximadamente 66 litros de agua en 200 pollos y al año se utilizan 24090 litros de agua es decir 2409 m<sup>3</sup>/año (Gómez, 2012).

La presente investigación se la realizó en una avícola, cuya problemática actual son las aguas residuales generadas por el faenamiento diario de aves; presentando un caudal de 2.275 litros de agua generada por día, consumiendo al mes 66.000 litros de agua; las características contaminantes que las aguas residuales presentan son: desechos sólidos, materia orgánica, sólidos suspendidos, nitritos, nitratos, cloruros, grasas, entre otros.

Por otro lado, el uso diario de cloro para la limpieza de maquinaria en áreas de faenamiento; genera compuestos orgánicos clorados, debido a reacciones con la materia orgánica presente. Esta agua residual finalmente descargada al sistema de alcantarillado sin ningún tratamiento previo.

### **1.2.2 Formulación del problema**

¿Cuál es la eficiencia de la electrocoagulación para la eliminación de contaminantes como operación fundamental en la remediación de aguas residuales de avícola?

### **1.3 Justificación de la investigación**

En el proyecto de Tesis se busca primordialmente conocer cuál es el método más efectivo para la remediación de aguas residuales de avícolas, siendo una de las actividades antrópicas más contaminantes en el medio en el que vivimos; sobre todo considerando, que muchas de ellas no tienen un tratamiento adecuado de sus aguas residuales, previo a su descarga.

Es por ello que, se ha buscado alternativas viables para mitigar la gran cantidad de contaminación que generan las aguas residuales de avícolas, estas generan una afectación grave al medio por el alto contenido de grasas, sólidos y materia orgánica.

Atendiendo estas consideraciones, se planteó una alternativa eficiente para la reducción de estos agentes contaminantes, implementando el método de la electrocoagulación, por el cual, este método trabaja a través de la electricidad impartida a electrodos sumergidos en el agua, estos generan la degradación del ánodo formando hidróxidos de aluminio los cuáles desestabilizan las cargas de los coloides impulsando su precipitación.

Como acople o método adicional se pudo llevar acabo la floculación, en esta etapa se separa el tratamiento permitiendo controlar la formación de los flóculos de manera práctica por medio de la adición de agentes coadyuvantes y con el control apropiado de pH (Martinez, 2011).

Como siguiente alternativa tenemos el método de oxidación más conocidos como (ozono, fenton, electro oxidación entre otros). El tratamiento que se aplique en este caso no busca degradar la materia orgánica contenida en el agua residual, sino que aplica la oxidación como un tratamiento final para erradicar la carga orgánica e inorgánica residual, como consecuencia de este método el consumo de los agentes oxidantes se reduce al mínimo.

Existe la necesidad de plantear alternativas para solucionar el problema de las aguas que se generan, de este modo el trabajo tiene como objetivo investigar, diseñar y aplicar un tratamiento de aguas residuales en las avícolas.

Finalmente, este proyecto permitió un ahorro sustancial en el uso del agua, al momento de ser tratada se le dará uso para el lavado de maquinaria y la limpieza del mismo lugar, y más que todo se le realizará un tratamiento que contribuirá de la mejor forma al cumpliendo las normativas establecidas por el ministerio del ambiente.

#### **1.4 Delimitación del problema**

- **Espacio:** Al sur de la ciudad de Guayaquil, Los Esteros, Fertisa Coop. Santiaguito de Roldos mz 61, solar 1076 (Ver anexos, Figura 5).
- **Coordenadas:** -2.252855, -79.904212 UTM 17S
- **Tiempo:** 3 meses.
- **Población:** Fertiza en la cooperativa Santiaguito de Roldos, se beneficiaran cerca de 2000 familias, según el Centro de Estudio e Investigaciones Estadísticas ICM – ESPOL.

### **1.5 Objetivo general**

Diseñar un proceso piloto de tratamiento de aguas residuales de una avícola a través de electrocoagulación para el cumplimiento de los estándares de descarga establecidos en la normativa ambiental.

### **1.6 Objetivos específicos**

- Caracterizar el agua residual mediante el análisis físico, químico y biológico antes de la implementación del proceso de remediación.
- Analizar los resultados y eficiencia mediante la aplicación de electrocoagulación con las placas de hierro y aluminio para demostrar cuál de las dos placas utilizadas es la más efectiva.
- Proponer un método de estabilización a través de lodos generados en el tratamiento de electrocoagulación.

### **1.7 Hipótesis**

$H_0$ = La aplicación de un método de electrocoagulación no disminuirá las cargas contaminantes de las aguas residuales de una avícola.

$H_1$ = La aplicación de un método de electrocoagulación con predominancia de placas de hierro disminuirá considerablemente la contaminación del agua residual de las avícolas.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Estado del arte

En la ciudad de Medellín, Colombia; se llevó a cabo un estudio sobre la caracterización y análisis de la calidad del agua, donde utilizaron métodos tradicionales como: electrocoagulación, electroflotación y electrodecantación pues estas ofrecen ser una alternativa eficiente para la remoción de sustancias presentes en los efluentes. En este estudio se obtuvo una reducción de residuos sólidos y contaminantes significativa, con la ayuda de un reactor denominada celda electrolítica cuyos elementos conductores de corriente o de sacrificio (ánodos o electrodos de trabajo y cátodos o electrodos inertes), son incorporados en el recipiente y sumergidos en el fluido a tratar y que es aprovechado como medio electrolítico. Estos métodos son muy económicos y ecoamigables con el ambiente. (Propel Fundes Colombia, 2001).

Para que un reactor trabaje se requiere de una fuente de energía eléctrica, como una fuente de poder, este ayudará a originar las reacciones electroquímicas como consecuencia del flujo de electrones entre los electrodos metálicos y los compuestos presentes en el efluente por consiguiente este genera proceso de reducción en el cátodo, esto quiere decir que hay una conversión de los protones del agua en hidrógeno, y los de oxidación en el ánodo estos a su vez producen iones metálicos y oxígeno proveniente de la hidrólisis que se origina en el agua.

Estos contaminantes forman compuestos hidrofóbicos, que se precipitan en la superficie del lugar donde se esté generando el proceso, facilitando su remoción por algún método de separación secundario (Posada, 2010).

De donde se concluye que, las aguas analizadas tuvieron una remoción de Cr, Cr+6, Ni, Pb y Zn en un 47.37, 50, 51.65, 18.09 %, respectivamente, gracias a la

caracterización química de los diferentes parámetros se mejoró el diseño de tratamiento de aguas de origen galvánico, a pesar de no estar dentro de los valores óptimos menciono. En cuanto a las variables de temperatura, conductividad y pH. Este proceso removi6 diferentes especies químicas además este método tiene la capacidad de remover metales pesados en aguas residuales (Morales, 2010).

En la ciudad de Bogotá, Colombia la empresa de Aguas "San Juan", se dedica hacer tratamientos de aguas de diferentes procesos industriales, para tratar sus aguas residuales y darle una disminución a los problemas ambientales, se realizó una pre-experimentación, una medición de la demanda química de oxígeno (DQO) al inicio y al final de la experimentación, y un análisis de colorimetría para determinar la dosis adecuada del reactivo fenton en donde se obtuvo resultados de pH de rango 2,7 a 3,1 debido a que el ion hierro en medio básico reacciona con el per6xido de hidrógeno produciendo hidróxido de hierro; temperaturas de 20 ° C y el tiempo que llevo este tratamiento fue de 75 minutos repartidos en 45 minutos utilizando el test de jarras con sistemas de agitación y mezcla con un regulador eléctrico de velocidad esto se llevó acabo en 30 minutos para la sedimentación. La mejor relación fue  $DQO/H_2O_2 = 2,1$  y  $H_2O_2/Fe^{+2} = 0,6$  para oxidación de la materia orgánica del 92%, el 92% de eficiencia en el DQO en comparación con el policloro de aluminio que fue el 71% y el sulfato de aluminio del 60,3%, fue muy eficaz en la eliminación de materia orgánica, en relación con otros tratamientos (Muñoz, 2016).

Por otro lado, en la Universidad de Zulia, ubicada en la ciudad de Maracaibo, Venezuela se aplicó un tratamiento sobre la desinfección de aguas residuales, donde se determinó la eficiencia de un equipo de limpieza con cloro existente en

una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria avícola, con la finalidad de reutilizar el efluente en la limpieza del área de recepción de aves. Se determinaron los parámetros demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), nitrógeno total (NT), fósforo (PT), color, turbidez, pH, coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) a la entrada y salida de la cámara de cloración. Los parámetros fisicoquímicos a la salida de la cámara cumplieron con lo establecido por las normativas ambientales venezolanas (Gutierrez, 2012).

El tratamiento de desinfección no fue eficiente para remover los parámetros microbiológicos, encontrándose remociones de 65,22% y 59,51% para CT y CF, valores que deben alcanzar porcentajes del 99,99% para considerar la reutilización del efluente. La cámara de cloración produce 8 veces el volumen consumido en el área de recepción de aves. Las dimensiones de la cámara de cloración rediseñada son: canal de 0,75 m de alto, 0,2 m de ancho y 73 m de largo, mientras que el tiempo de retención hidráulico fue 33 minutos para una dosis de 12,5 mg/L (Gutierrez, Travaglini, Uzcategui, y Caldera, 2012).

Según Lettinga (2017), en la Universidad de Wageningen Holanda en los años 1976 a 1980 el profesor Gatzke Lettinga creó un reactor anaeróbico de mantos de lodos de flujo ascendente, esta tecnología ha sido aplicada al tratamiento de una gran variedad de aguas residuales:

Debido a su efectividad y a sus ventajas económicas, el UASB se aplica de forma extensiva en aguas residuales con una alta carga orgánica tal como son los casos de efluentes de pulpa de celulosa, aguas residuales de granjas avícolas, efluentes orgánicos industriales, y la eliminación de sólidos, entre otros.

El funcionamiento del reactor UASB depende tanto de parámetros físicos como de los procesos biológicos, los cuales determinan la eficiencia de remoción y la conversión de los compuestos orgánicos (Lettinga, 2017).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Aguas residuales de avícolas**

Según la OEFA, define como aguas residuales, a “las características originales, que han sido modificadas por actividades antropogénica y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado” (Pág.15) (Fernández, 2015).

Por otra parte, Gómez (2012) menciona que para lograr comprender la complejidad de las aguas residuales de uso avícola a efluentes se debe diagnosticar, analizar y caracterizar el tipo de proceso que se realiza dentro de las instalaciones de faenamiento en donde describe el proceso de la siguiente manera:

En las instalaciones de faenamiento las aves son transportadas en gavetas desde las granjas de crianza, estas son colgadas de las patas en embudos, ganchos o cadenas llevándolos al área de proceso, después se realiza un corte en el cuello dejándolos desangrar, de esta manera luego los pollos son metidos a la caldera en el cual esta contiene agua a una elevada temperatura, con el objetivo de que las plumas se suavicen para luego entrar al área de desplumado, en esta área se manipulan las denominadas peladoras, ahorrando gran cantidad de tiempo en el faenamiento del ave (Gómez, 2012).

Se sigue al área del eviscerado donde en esta área, se les corta la cabeza y la parte baja para sacar el tripaje y hacer la limpieza del producto. Estos son lavado

con agua por 30 a 40 minutos para remover residuos de grasa y sangre, luego se meten en gavetas en cámaras de frío dejando el producto a 4°C, finalmente se empacan almacenándose en fundas al vacío y luego en cuartos de frío para su posterior venta, se concluye que se debe conocer e interpretar la cantidad de contaminantes que se genera ya que, es importante saber los procesos que se llevan a cabo en las avícolas, ya que de ello comprenderemos el origen y las características que poseen estos efluentes que generan las avícolas que va directo al estero y en otros casos como aguas servidas siendo de gran preocupación para las plantas de tratamiento, ya que deben lidiar con gran cantidad de materia orgánicas residuales (Gómez, 2012).

Cabe mencionar que las aguas residuales están cargadas de grasas, proteínas y carbohidratos de la carne, grasa, piel y plumas. La carga de desechos se puede identificar mediante una serie de análisis y mediciones diferentes, que incluyen DBO (demanda biológica de oxígeno), SST (sólidos suspendidos totales), DQO (demanda química de oxígeno), FOG (nivel de grasas y aceites), se destaca el DBO, ya que es una medida de la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica. La industria aplica tratamientos utilizando equipos de desinfección que consta de un tanque dispensador de cloro y una cámara de cloración (Gutierrez, 2012).

El tanque dispensador de cloro es un tanque plástico elevado circular de 200L, con una válvula de salida que dispensa cloro líquido (hipoclorito de calcio) en la superficie del líquido. La cámara de cloraciones un tanque rectangular de concreto armado cuyas dimensiones son 5,2 de largo, 2.02m de ancho y una profundidad de aproximadamente 2m (nivel del agua: 1.45m) con paredes de espesor de 18cm (Gutierrez, 2012).

### **2.2.2 Características de las Aguas Residuales de avícolas**

Como caracterización de las aguas residuales de avícolas se puede citar las Aguas Residuales De La Industria Avícola Zulina, esta industria ha realizado estudios y como resultado de sus investigaciones en caracterización presentan altas concentraciones de materia orgánica DQO y DBO, teniendo como resultado una pequeña fracción de materia orgánica biodegradable, según la relación DBO/DQO, solido en suspensión como totales SST y como sólidos suspendidos volátiles SSV, donde la mayor cantidad de los sólidos suspendidos son volátiles según la relación SSV/SST, grasas así como también tenemos concentraciones de nitrógeno y fosforo (Caldera, 2012) (Ver anexos, tabla 1).

### **2.2.3 Característica de las Aguas Residuales Generadas por subproductos de Avícolas**

Las características de las aguas residuales de subproductos de procesos avícolas se pueden ver percibidas fácilmente por los sentidos como el color, la temperatura y otras de igual importancia como los sólidos sedimentables, y se caracteriza por tener “mayor densidad que el agua, se encuentran dispersos debido a fuerzas de arrastre o tuberías” (pág.25) (Vásquez, 2015).

#### **2.2.3.1 Sólidos en suspensión**

Los sólidos en suspensión “son los que encuentran en el agua, ya que su naturaleza coloidal, se distribuyen en pequeñas cargas eléctricas que poseen estas partículas que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de aguas” (Vermat y Wei, 2013). Son los que se mantienen en medio de la fase líquida.

### **2.2.3.2 Sólidos disueltos**

Los sólidos disueltos se encuentran familiarizados con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver a su paso. También “se puede enlazar a la conductividad del agua ya que un aumento de estos iones aumenta la capacidad conductividad” (Rumsie, 2017).

### **2.2.3.3 Turbidez**

Que la turbidez es un parámetro relacionado con “el grado de transparencia y limpieza del agua que a su vez depende del número de sólidos en suspensión dentro del agua, que pueden generar resultado de una posible actividad biológica o simplemente una presencia de componentes no deseables” (Kleifa, 2017).

### **2.2.3.4 Compuestos orgánicos agregados en el agua**

Debido a la variedad de compuestos que se encuentran en el agua residual, se puede destacar o se puede decir que la diferencia que existe entre un agua residual tratada y otra que no, es “la cantidad de compuestos orgánicos agregados presentes en una muestra de agua” (Vásquez, 2015).

### **2.2.3.5 DBO<sub>5</sub>**

El DBO es “la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para eliminar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual. Por este este componente orgánico puede ser eliminado mediante procesos biológicos” (Takdastan, 2017).

### **2.2.3.6 DQO**

El DQO es “la cantidad de oxígeno necesaria para poder oxidar en su totalidad la materia orgánica presente en el agua residual” (Takdastan, 2017). Representa una medida de contaminación orgánica en un efluente, este es un parámetro de

calidad a controlar, por distintos entes estatales que se dedican a seguir las normativas.

#### **2.2.4 Tratamiento del agua residual de una avícola**

El tratamiento de las aguas residuales puede llevarse a cabo por distintas técnicas, se “deben tener en cuenta las características de las aguas residuales de la avícola antes de determinar alguna técnica”. Como se ha indicado en las características que se detallaron anteriormente (López, 2011).

Se utilizan tres tipos de tratamientos, llamados: primario, secundario y terciario.

##### **2.2.4.1 Tratamiento Primario**

En este procesos se remueven aquellos contaminantes que se pueden sedimentar, mediante la aplicación de tratamientos físicos o físico-químicos. Este proceso “permitirá que se genere precipitación o una flotación con ayuda de coagulantes y/o floculante para separar y filtrar grasas y sólidos” (López, 2011).

##### **2.2.4.2 Tratamiento Secundario**

Este tratamiento se lo aplica para erradicar desechos y sustancias que con la sedimentación no pudieran haber sido eliminados, el objetivo que tiene este tratamiento, es la remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) soluble y la erradicación de cantidades adicionales de solidos sedimentables. En los tratamientos secundarios “se remueve el 85% de la DBO<sub>5</sub> y los SS aunque la remoción de nutrientes; nitrógeno, fosforo, metales pesados y patógenos es baja” (López, 2011).

##### **2.2.4.3 Tratamiento terciario**

Como se evidenció en los tratamientos anteriores, se aplican técnicas para disminuir o erradicar gran cantidad de contaminantes, en este caso:

Como industria avícola son en su mayoría compuestos orgánicos, por ende como tercer tratamiento, se aplica procesos físicos y químicos especiales con

los que se busca eliminar contaminantes específicos, en su totalidad tóxicos o compuestos no biodegradables, es un tipo de tratamiento costoso y se lo utiliza en casos especiales donde el contaminante sea persistente, como la purificación de desechos específicos de algunas industrias. (Mejía, 2000)

### ***2.2.5 Tratamiento de agua residual mediante coagulación y floculación***

La coagulación es un proceso de “desestabilización química de las partículas coloidales por medio de la adición de coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado”. El proceso de coagulación mal gestionado también puede producir una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas (López, 2007).

Como ya se mencionó “los coagulantes son productos químicos que al adicionar agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad” (López, 2007).

#### ***2.2.5.1 Beneficios***

Los beneficios que dan como resultado el uso de esta tecnología, que sin duda ha demostrado que la aplicación de este tipo de tratamiento es sin duda la más rentable (López, 2007).

Es por ello que López (2007), presenta los beneficios que trae consigo el uso de este método:

- Los costos de operación son menores comparados con otros procesos convencionales usando polímeros.
- Requiere de equipos simples y de fácil operación
- Genera lodos más compactos y en menor cantidad, lo que involucra que la disposición de estos lodos sea menor en consecuencia con la problemática.

- Es de gran efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes.
- Elimina en su totalidad su turbidez y cargas orgánicas, permitiendo el reciclado de estas aguas para uso en áreas verdes.

### **2.2.6 Caracterización y Diagnóstico**

Actualmente Maldonado (2020), de la Universidad Agraria del Ecuador y Caldera (2012) de la Universidad de Zulia, menciona que:

Los mataderos de aves producen gran cantidad de aguas residuales, caracterizadas por presentar altas concentraciones de materia orgánica biodegradable, materia coloidal y suspendida, tales como grasas, proteínas y celulosa, cabe mencionar que la calidad de estas aguas varía dependiendo del proceso industrial, del consumo de agua por aves sacrificadas.

Así mismo posterior a la toma de decisiones sobre el sistema de tratamiento del agua residual, es importante efectuar un estudio de Caracterización y Diagnóstico de Aguas Residuales, que permita “evaluar y decidir, cuáles son las cargas hidráulicas y contaminantes que serán utilizadas para el diseño de la estación depuradora, incluyendo provisiones para crecimiento futuro” (López, 2007).

Esta etapa de caracterización y diagnóstico, es a veces menospreciada por algunos empresarios, quienes consideran que pueden “ahorrarse” algún dinero efectuando evaluaciones superficiales de planta y creyendo que se puede resolver, posteriormente, con la adquisición de la planta de tratamiento (López, 2007).

Este razonamiento es totalmente improcedente y por el contrario, es necesario contar con un sólido estudio básico de caracterización y diagnóstico, que servirá de base para el posterior análisis de opciones disponibles de tratamiento, y para

la más correcta decisión “desde el punto de vista técnico, económico y de otros intereses empresariales” (Chávez, 2007).

Las cargas hidráulicas tratan del régimen de caudales generados las distintas etapas de la actividad industrial las cuales dependen de la forma de uso del agua de abastecimiento. Para ello, se deberá evaluar el volumen residual descargado diariamente, sus variaciones diarias o estacionales y muy especialmente, las variaciones horarias que se presentan en el caudal durante un día típico de operación (López, 2011). Para tales efectos, “se deberá tomar en cuenta la jornada de actividad (turnos de trabajo) y las diferentes fases del proceso industrial, en especial la matanza, lavado y mantenimiento industrial” (Matsumura, 2012).

Las cargas contaminantes se refieren a los flujos de materia orgánica, biodegradable y total, generados durante la actividad, así como la carga de sólidos, grasas y aceites, entre otros (López, 2007).

Para tales efectos, resulta imprescindible diseñar un sistema de muestreo compuesto (representativo de las descargas contaminantes) en puntos estratégicos del proceso industrial (efluentes separados y combinados), y contar con la participación de un laboratorio de control, que permita establecer los valores que serán utilizados para el diseño del sistema de tratamiento, en los siguientes términos (se han elegido los parámetros de calidad físico química básicos):

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)
- Potencial Hidrógeno (pH)
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Sólidos Disueltos Totales (SDT)

- Sólidos Sedimentables (SSED)
- Grasas y Aceites (GyA)
- Nitrógeno Total (N)
- Fósforo Total (TP)
- Coliformes Fecales (E.coli)
- Temperatura (T)

(López, 2007).

## **2.2.7 Parámetros microbiológicos**

### **2.2.7.1 Coliformes fecales**

Los coliformes fecales integran el grupo de los coliformes totales. “Su rango de temperatura óptima de crecimiento es muy amplio hasta 45°C y son mejores indicadores de higiene en alimentos y en aguas, la presencia de estos indica presencia de contaminación fecal de origen humano o animal” (Méndez, 2008).

Según Zapata (2013), detalla:

“Las heces contienen dichos microorganismos, presentes en la flora intestinal y de ellos entre un 90% y un 100% son E. coli mientras que en aguas residuales y muestras de agua contaminadas este porcentaje disminuye hasta un 59%”.

### **2.2.7.2 Coliformes totales**

Las bacterias coliformes son el principal indicador de la adecuación del agua para uso doméstico, industrial, o de otro tipo. Los coliformes “son un indicador del grado de contaminación y, por tanto, de la calidad sanitaria. La presencia de *E. coli* en muestras de agua potable, indica la existencia de fallas en la eficacia de tratamiento de aguas” (Méndez, 2008).

### **2.2.7.3 Bacterias aeróbicas**

Por el contrario, la descomposición aerobia representa un proceso de oxidación más o menos completa de materia orgánica, por lo que se menciona:

Los productos resultantes suelen ser más simples que las sustancias originales, a menudo gaseosos, y desprende abundante anhídrido carbónico, debe tenerse en cuenta estos elementos conservados “pueden experimentar procesos de dos tipos simultáneos o sucesivamente durante la biodegradación” (Clarke, 2017).

## **2.3 Marco legal**

El Ecuador maneja instrumentos útiles para aplicación de leyes, normativas, exigencias, disposiciones, decretos que deben acatar y obedecer las industrias que producen, generan y desechan, para poder proteger los recursos que hoy en día en muchos países no pueden gozar en todo momento.

En la actualidad el país cuenta con la constitución de la república, por intermedio del Ministerio de Medio Ambiente cuenta con el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) bajo el cual se debe dar un seguimiento en todas las empresas a nivel nacional en el tema de manejo ambiental.

El Ministerio de Medio Ambiente es el único organismo a nivel nacional que emite licencias ambientales, con excepción de los diferentes organismos que se encuentran a cargo en cada ciudad en este caso: Quito, Cuenca y Guayaquil quienes tienen la potestad para ello.

Hay municipios que emiten certificado ambientales pero no son instrumentos legales para el funcionamiento legal y ambiental de alguna industria.

### **2.3.1 Ley de la Constitución Política de la República del Ecuador (2008)**

ACUERDO N° 036

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a lo establecido en el numeral 7 del artículo 3 de la Constitución de la República del Ecuador, se señala como deber primordial del Estado proteger el patrimonio natural del país;

Que, el artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador, reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

**Art. 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua (Constitución Política Del Ecuador, 2008, pág. 24).

## SECCIÓN VII, SALUD

**Art. 32.-** La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir (Constitución Política del Ecuador , 2015, pág. 47).

### TITULO VI. RÉGIMEN DE DESARROLLO.

#### CAPÍTULO V: SERVICIOS ESTRATÉGICOS, SERVICIOS Y EMPRESAS PÚBLICAS.

**Art. 318.-** El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley (Constitución Política Del Ecuador, 2008, pág. 150).

### 2.3.2 Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua

(2014)

#### TÍTULO IV. APROVECHAMIENTO DEL AGUA.

##### CAPÍTULO I: DE LOS TIPO DE APROVECHAMIENTO PRODUCTIVO.

##### SECCIÓN II. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO E INDUSTRIAL DEL AGUA.

**Art. 107.-** Aprovechamiento industrial. Las aguas destinadas para el aprovechamiento industrial, una vez utilizadas, serán descargadas por el usuario, previo su tratamiento, cumpliendo con los parámetros técnicos que dicte la Autoridad Ambiental Nacional (Secretaría del agua, 2014).

### 2.3.3 Acuerdo Ministerial 061 (2015)

#### REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA.

##### CAPÍTULO VIII. CALIDAD DE LOS COMPONENTES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS.

##### SECCIÓN I. DISPOSICIONES GENERALES.

**Art. 196.-** De las autorizaciones de emisiones, descargas y vertidos. - No se autorizarán descargas ya sean aguas servidas o industriales, sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual, no pueda soportar la descarga; es decir, sobrepase la capacidad de carga del cuerpo hídrico. La determinación de la capacidad de carga del cuerpo hídrico será establecida por la Autoridad Única del Agua en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional (Constitución Política del Ecuador , 2015, pág. 45).

## SECCIÓN III CALIDAD DE COMPONENTES ABIÓTICOS. PARÁGRAFO I. DEL AGUA.

**Art. 209.-** De la calidad del agua. - Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico. La evaluación y control de la calidad de agua, se la realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreo de descargas, vertidos y cuerpos receptores; dichos lineamientos se encuentran detallados en el Anexo I (Constitución Política del Ecuador , 2015, pág. 47).

**Art. 210.-** Prohibición. - De conformidad con la normativa legal vigente:

b) Se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación (Constitución Política del Ecuador , 2015, pág. 47).

### 2.3.4 Acuerdo 097-A (2015)

#### LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE.

#### ANEXO 1. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA.

##### 4.1.4 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego. –

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes.

Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en esta norma (Constitución Política del Ecuador , 2015, pág. 26).

##### 4.1.9 Criterios de calidad para aguas de uso industrial

Se entiende por uso industrial del agua su empleo en actividades como:

Procesos industriales y/o manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexas o complementarios;

Generación de energía y Minería.

Para el uso industrial, se deberán observar los diferentes requisitos de calidad correspondientes a los respectivos procesos, aplicando el criterio de tecnología limpia que permitirá la reducción o eliminación de los residuos (que pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos) (Constitución Política del Ecuador , 2015, pág. 35).

#### 4.2 CRITERIOS GENERALES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES

##### 4.2.1 NORMAS GENERALES PARA DESCARGA DE EFLUENTES, TANTO AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO, COMO A LOS CUERPOS DE AGUA

4.2.1.6 Las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga, con los parámetros establecidos de descarga en esta Norma, deberán ser tratadas mediante tratamiento convencional, sea cual fuere su origen: público o privado. (Constitución Política del Ecuador , 2015, pág. 36).

### **2.3.5 Anexo 1 del libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Ambiente, 2007)**

- Cuerpo receptor: río, cuenca, cauce o depósito de aguas que sea susceptible de recibir directa o indirectamente el vertido de aguas residuales.
- Cuerpo de agua severamente contaminado: río o estuario en el cual se han alterado los criterios de calidad para todos los posibles usos del agua.
- Depuración de aguas residuales: término usado para significar la purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales, como por ejemplo DBO, DQO, bacterias, materiales tóxicos, etc. Se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos. El término Tratamiento de Aguas Residuales es preferible para aplicación a líquidos y lodos.
- Descarga de aguas residuales: inyección de un caudal de aguas de desecho de naturaleza doméstica o industrial, a un alcantarillado o cuerpo receptor.
- Descarga no puntual: Es aquella en la que no se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo receptor, tal es el caso de descargas provenientes de escorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares.
- Desechos peligrosos: desechos con un potencial dañino para el ambiente, debido a su toxicidad, alta capacidad de combustión, corrosividad o reactividad química.
- Disposición final: facilidades de vertido del efluente de una planta de tratamiento o disposición de los lodos tratados.
- Eficiencia de tratamiento: relación entre la masa o concentración removida, de un parámetro específico y la correspondiente masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento. Puede expresarse en términos decimales y normalmente se expresa en porcentaje.
- Efluente final: líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales, o de un proceso de tratamiento.
- Efluente: líquido que sale de un proceso de tratamiento.
- Entidad Ambiental de Control: Es la encargada de las actividades de control ambiental y descarga de efluentes al recurso agua, pudiendo ser un Consejo Provincial, La Dirección Nacional de los Espacios Acuáticos (DIRNEA) o un municipio siempre y cuando no sean estos los regulados.

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Enfoque de la investigación

##### 3.1.1 Tipo de investigación

###### 3.1.1.1 *Investigación bibliográfica*

Mediante esta investigación se proporcionó información para llevar a cabo los estudios explicativos, partiendo de “la información recolectada en diferentes libros, textos e investigaciones relacionadas con el tema” (Garcés, 2014).

La investigación bibliográfica fue fundamental ya que “existe información que debido a estudios y diseños realizados para el tratamiento de aguas residuales de tipología industrial se pueden aplicar para parámetros químicos, físico y biológicos para su proceso” (Garcés, 2014).

###### 3.1.1.2 *Investigación descriptiva*

Es un método científico implicó observar y describir el comportamiento de un sujeto sin influir sobre él de ninguna manera. Este tipo de investigación sirvió para “diagnosticar el estado actual de las aguas residuales procedentes de las líneas de procesamiento de faenamiento de los pollos” (Acuña, 2015).

En proyecto de Tesis se describieron los procesos para el tratamiento de aguas residuales generadas en las avícolas, los contaminantes y afectación inmediata producida. Además se detalló el proceso de la electrocoagulación.

###### 3.1.1.3 *Investigación de laboratorio*

La investigación de laboratorio fue vital ya que, con los análisis de las variables, su composición, características físicas-químicas y concentración, se analizaron además parámetros como:

- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

- Turbidez
- Sólidos suspendidos totales
- Potencial de hidrogeno
- Coliformes fecales

### **3.1.2 Diseño de investigación**

El diseño de la investigación del proyecto es de tipo experimental ya que se aplicó un diseño con un muestreo completamente al azar, se va a trabajó en laboratorio y, por consiguiente, se va a manipularon las variables de interés para el proceso, para el diseño de la electrocoagulación se utilizaron dos tipos de placas, una de hierro y otra de aluminio (variable independiente). Luego se evaluaron el porcentaje de reducción de contaminantes mediante la aplicación de parámetros de calidad (variable dependiente), así se trataron las aguas residuales.

## **3.2 Metodología**

### **3.2.1 Variables**

Según el tipo de investigación, se incluyeron las siguientes variables.

#### **3.2.1.1 Variable independiente**

- Tipo de placas
- Cantidad de placas
- Tiempo de retención hidráulico en el filtro.

#### **3.2.1.2 Variable dependiente**

Turbidez y sólidos suspendidos totales.

### **3.2.2 Tratamientos**

Se utilizó el tratamiento de electrocoagulación en conjunto y midiendo 3 variables; tipo de placa (Al y Fe), número de celdas (de 3 a 7 placas por metal),

tiempo de tratamiento (de 10 min y 20 min) y tiempo de retención en el filtro. Se elaborarán 8 experimentos (Ver Tabla 2).

**Tabla 1. Tratamiento de electrocoagulación para aguas residuales de una avícola**

| Experimentos  | Tipo de placa (Al-Fe) | Número de celdas (6-10) | Tiempo de retención (10´ - 20´) |
|---------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Experimento 1 | Al                    | 6 celdas                | 10 min                          |
| Experimento 2 | Fe                    | 6 celdas                | 10 min                          |
| Experimento 3 | Al                    | 10 celdas               | 10 min                          |
| Experimento 4 | Fe                    | 10 celdas               | 10 min                          |
| Experimento 5 | Al                    | 6 celdas                | 20 min                          |
| Experimento 6 | Fe                    | 6 celdas                | 20 min                          |
| Experimento 7 | Al                    | 10 celdas               | 20 min                          |
| Experimento 8 | Fe                    | 10 celdas               | 20 min                          |
| <b>TOTAL</b>  | 8 pruebas             |                         |                                 |

Arango, 2007.

La electrocoagulación es una técnica que consiste en inducir corriente eléctrica en el agua residual a través de placas paralelas de materiales como es el aluminio y el hierro, este proceso ayudara a eliminar los contaminantes que se encuentren suspendidos, disueltos o emulsificado en el agua residual de la avícola (Schennach, 2010). Adicionándole un floculante llamado poliacrilamida, que ayudará a mejorar la remoción del agua residual (Arango y Garces, 2007) (Ver Tabla 3).

**Tabla 2. Reactivo a utilizar en el tratamiento del agua residual**

| Reactivo       | 1lt  | 500 ml |
|----------------|------|--------|
| Poliacrilamida | 300g | 150g   |

Ruiz, 2017

Este proceso se realizó 8 experimentos en el cual se usaron 4 recipientes plásticos para poder distribuir las placas, a una distancia de 1.5 cm entre ellas, haciendo uso de una fuente de poder a 110v conectado a una fuente de energía externa distribuyendo la electricidad por medio del ánodo (se corroe

eléctricamente debido a la oxidación) y el cátodo (permanece pasivo) a las celdas electrolítica que estuvieron de forma vertical en el reactor (Ruiz, 2017).

El espacio de electrodo a electrodo es de 1.5 cm; se utilizó generalmente medidas pequeñas ya que esto impide el libre movimiento de flóculos formados, así mismo si se amplía el espacio de electrodo a electrodo, va a ver una deficiencia en tratamiento y se va a incrementar el consumo energético (Ver anexos, figura 9).

En el primer reactor se realizó el experimento 1 y 2 donde se utilizaron 10 placas en total con una combinación de 4 celdas de aluminio y 6 celdas de hierro y con una duración de 10 y 20 minutos el reactor con electrodos monoplares estarán conectados en paralelo.

En el segundo reactor se realizó el experimento 3 y 4 donde se utilizaron 10 placas en total con una combinación de 4 celdas de hierro y 6 celdas de aluminio y con una duración de 10 y 20 minutos el reactor con electrodos monoplares estarán conectados en paralelo.

En el tercer reactor se realizó el experimento 4 y 5 donde se utilizaron 10 placas en total con una combinación de 7 celdas hierro y 3 celdas de aluminio y con una duración de 10 y 20 minutos el reactor con electrodos monoplares estarán conectados en paralelo.

Finalmente en el cuarto reactor se realizó el experimento 7 y 8 donde se utilizaron 10 placas en total con una combinación de 3 celdas hierro y 7 celdas de aluminio y con una duración de 10 y 20 minutos el reactor con electrodos monoplares estarán conectados en paralelo.

### **3.2.3 Diseño experimental**

Este proceso experimental en el agua residual inicia recolectando el agua residual que genera una avícola ubicada en Fertiza, donde se determinó la eficiencia del tratamiento mediante la aplicación de la electrocoagulación entre las placas de aluminio y las de hierro para demostrar cuál de las dos placas y en que tratamiento son los más efectivos.

Se procedió a determinar las condiciones iniciales en las que se encuentra el agua residual, donde se utilizará parámetros iniciales de calidad como, turbidez, sólidos suspendidos totales, potencial de hidrógeno, color, y coliformes fecales.

Finalmente se estableció el uso que se le va a dar a estas aguas residuales ya tratadas dentro de la avícola.

### **3.2.4 Recolección de datos**

#### **3.2.4.1 Recursos**

Se realizó un reconocimiento in situ, donde se ubicaron los puntos que están siendo afectados por el impacto negativo de la generación de las aguas residuales que proceden de las líneas de faenamiento de las aves de corral, una vez determinado los puntos de descargas de efluentes, se procedió a recolectar las muestras de agua que se denominan como (blancos).

#### **3.2.4.2 Recursos materiales**

La Tesis hizo uso de los siguientes equipos y materiales:

- Laptop
- Impresora
- Cámara fotográfica

Materiales de Laboratorio

- pH metro

- Turbidímetro
- Tubos de ensayos
- Mandil
- Guantes
- Gafas de seguridad
- Botellas de muestreos

#### Materiales del reactor

- Placas de hierro (Fe) y aluminio (Al)
- Fuente de poder (120 v)
- 10 metros de cable eléctrico de 2,5 mm
- Conexiones eléctricas
- Cubetas plásticas de 10 a 20 litros
- Cautil
- Estaño de alambre
- Pasta de soldar

#### **3.2.4.3 Recursos económicos**

En la tabla 2 se presenta un estimado de los recursos económicos que se utilizará en el trabajo de titulación.

**Tabla 3. Recursos Económicos**

| <b>Detalle</b> | <b>Valor en dólares</b> |
|----------------|-------------------------|
| Reactor        | 200                     |
| Movilización   | 50                      |
| Impresiones    | 20                      |
| Análisis       | 60                      |
| Otros          | 20                      |
| Presupuesto    | \$ 350                  |

Coello, 2020.

### 3.2.5 Métodos y técnicas

Se realizará los siguientes análisis:

- **Determinación de turbidez**

El procedimiento para el análisis de la turbidez se detalló en los anexos con el examen de laboratorio en la ficha técnica sobre el “método nefelométrico”

**Fundamento:**

La presencia de materia suspendida en el agua puede indicar un cambio en su calidad (por ejemplo, contaminación por microorganismos) y/o la presencia de sustancias orgánicas finamente divididas (plumas, sangre, vísceras) o de materiales inorgánicos. La turbidez es un factor ambiental importante en las aguas naturales, y afecta al ecosistema ya que la actividad fotosintética depende en gran medida de la penetración de la luz (Fernández, 2015).

- **Determinación de sólidos suspendidos totales**

El procedimiento para el análisis de sólidos suspendidos se detalló en los anexos con los exámenes de laboratorio en la ficha técnica sobre el “método gravimétrico”.

**Fundamento:**

La concentración de sólidos en suspensión es un valor utilizado como uno de los indicadores de la calidad del agua. Todos los sólidos en suspensión se pueden eliminar del agua mediante filtrado; “sin embargo, si los sólidos en suspensión tienen una densidad mayor que el agua, estas partículas se pueden eliminar también por filtración, si la turbulencia del agua es mínima” (Méndez, 2008).

**Tabla 4. Métodos de análisis para el agua residual generado en una avícola.**

| Parámetros                  | Límite permisible    |
|-----------------------------|----------------------|
| DBO <sub>5</sub>            | 250 mg/l             |
| DQO                         | 500 mg/l             |
| pH                          | 5-9                  |
| Turbidez                    | 100 NTU              |
| Coliformes Fecales          | Remoción > al 99,9 % |
| Sólidos suspendidos totales | 220 mg/l             |
| Caudal máximo               | 1.5 veces l/s        |

COA, 2017.

### 3.2.6. Análisis estadístico

El estudio está compuesto de 8 experimentos con 4 reactores, donde se realizaron 2 experimentos por cada reactor y en base a la tabulación de datos y obtención de resultados se determinó la magnitud del problema, se empezó evaluando la calidad de agua inicial conocido como blanco, en donde se detallará las cargas iniciales de sólidos y turbidez, para posteriormente aplicar el tratamiento de electrocoagulación (Maldonado, 2020). Los métodos estadísticos que se aplicarán se detallan a continuación:

- D.A.C (Diseño completo al azar)
- Análisis de varianza ANOVA

(Maldonado, 2020)

**Tabla 5. Tabla de análisis de varianza ANOVA.**

| Fuente de variación | Grados de libertad (gl) | Suma de cuadrados (SC)  | Varianza o cuadrados medios (CM)        | F <sub>calc</sub>                        |
|---------------------|-------------------------|---|---|--|
| Tratamientos        | K- 1                    | $SC_{Trt} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n} - \frac{Y^2..}{N}$                         | $CM_{Trt} = \frac{SC_{Trt}}{k - 1}$     | $F_{Calc} = \frac{CM_{Trt}}{CM_{error}}$ |
| Error               | N- K                    | $SC_{error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y^2_{ij} - \sum_{i=1}^k \frac{Y^2_{i.}}{n}$ | $CM_{Error} = \frac{SC_{Error}}{N - K}$ |  |

|              |      |  |  |  |
|--------------|------|--|--|--|
| <b>Total</b> | N- 1 | $SC_{Tot} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y^2_{ij} - \frac{Y^2_{..}}{N}$ |  |  |
|--------------|------|--|--|--|

Fuente: Beltrán, 2017.

(Beltran, 2017).

Donde,

K = poblaciones o tratamientos

N= pruebas

## 4. Resultados

### 4.1 Caracterización inicial del agua residual mediante el análisis físico, químico y biológico antes de la implementación del proceso de remediación.

Se realizó el análisis físico, químico y biológico inicial del agua residual del proyecto, se obtuvo como resultados lo siguiente (Ver Tabla 7).

**Tabla 6. Resultados del análisis inicial de la muestra aleatoria del agua residual de la avícola (Demanda química de oxígeno, Demanda biológica de oxígeno, Turbidez, Sólidos Suspendidos Totales, Potencial de hidrógeno y los Coliformes fecales)**

| MUESTRA INICIAL | DQO                         | DBO <sub>5</sub>            | TURBIDEZ | SST         | pH                  | COLIFORMES FECALES |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|-------------|---------------------|--------------------|
| 1               | 2250,00 mgO <sub>2</sub> /l | 3675,45 mgO <sub>2</sub> /l | 895 NTU  | 586,67 mg/l | 6,47 Unidades de pH | <1,00 NMP/100 ml   |

Coello, 2020.

Como se puede evidenciar en la Tabla 7, se obtuvo como resultado en la muestra inicial que la demanda química y biológica de oxígeno presentan valores muy altos, una turbidez con gran cantidad de sólidos suspendidos y por ende los sólidos suspendidos totales presentan un valor alto, un pH ácido y coliformes fecales; sobrepasando así los valores permisibles establecidos en la norma de calidad de agua residuales del país.

### 4.2 Análisis de resultados y eficiencia mediante la aplicación de electrocoagulación con las placas de hierro y aluminio para demostrar cuál de las dos placas utilizadas es la más efectiva.

La siguiente tabla muestra el planteamiento y desarrollo de los 8 experimentos que se realizaron para el cumplimiento del objetivo dos, cabe recalcar que en los recipientes solo entraban 10 placas en total distribuidas de manera aleatoria entre placas de hierro y placas de aluminio (Ver tabla 8).

**Tabla 7. Tabla de experimentación utilizada y modificada a 8 experimentos, cada uno con sus repeticiones respectivas.**

| Experimentos  | Tipo de placa predominante (Al-Fe) | Número de placas de Al | Número de placas de Fe | Tiempo de tratamiento (minutos) |
|---------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|
| Experimento 1 | Fe                                 | 4                      | 6                      | 10                              |
| Experimento 2 | Fe                                 | 4                      | 6                      | 20                              |
| Experimento 3 | Al                                 | 6                      | 4                      | 10                              |
| Experimento 4 | Al                                 | 6                      | 4                      | 20                              |
| Experimento 5 | Fe                                 | 3                      | 7                      | 10                              |
| Experimento 6 | Fe                                 | 3                      | 7                      | 20                              |
| Experimento 7 | Al                                 | 7                      | 3                      | 10                              |
| Experimento 8 | Al                                 | 7                      | 3                      | 20                              |

Coello, 2021.

Para cada uno de los experimentos realizados (incluidas las repeticiones), la cantidad de poliacrilamida usada fue de 300g/l (gramos sobre litros), y la cantidad de agua residual en cuestión fue de 25 litros, el tiempo varió para cada experimento entre 10 y 20 minutos, las reacciones a analizar fueron:

- Tiempo de aparición de la espuma.
- Tiempo de retención en el filtrado.
- Resultados del análisis de Sólidos Suspendidos Totales y Turbidez con respecto al análisis inicial en base a la nefelometría.

Después, se procedió a realizar una tabla con la información recolectada respecto a los 2 parámetros de interés (Sólidos Suspendidos Totales y Turbidez), se calculó los valores promedios que son los que se tomaron en cuenta para el análisis de agua residual y posteriormente ver eficiencia de la aplicación de electrocoagulación con las placas de hierro y aluminio (Ver Tabla 9).

**Tabla 8. Resultados del análisis de agua de los ocho experimentos propuestos**

| # | Parámetros     | Repetición |          |           | Promedio |
|---|----------------|------------|----------|-----------|----------|
|   |                | 1          | 2        | 3         |          |
| 1 | SST (mg/l)     | 50 mg/l    | 48 mg/l  | 52 mg/l   | 50 mg/l  |
|   | Turbidez (NTU) | 24 NTU     | 25 NTU   | 23 NTU    | 24 NTU   |
| 2 | SST (mg/l)     | 47 mg/l    | 48 mg/l  | 46 mg/l   | 47 mg/l  |
|   | Turbidez (NTU) | 22 NTU     | 22 NTU   | 22 NTU    | 22 NTU   |
| 3 | SST (mg/l)     | 64 mg/l    | 68 mg/l  | 66 mg/l   | 66 mg/l  |
|   | Turbidez (NTU) | 35 NTU     | 37 NTU   | 33 NTU    | 35 NTU   |
| 4 | SST (mg/l)     | 60 mg/l    | 62 mg/l  | 64 mg/l   | 62 mg/l  |
|   | Turbidez (NTU) | 32 NTU     | 30 NTU   | 31 NTU    | 31 NTU   |
| 5 | SST (mg/l)     | 49 mg/l    | 45 mg/l  | 47 mg/l   | 47 mg/l  |
|   | Turbidez (NTU) | 17,8 NTU   | 18 NTU   | 17,6 NTU  | 17,8 NTU |
| 6 | SST (mg/l)     | 39,6 mg/l  | 40 mg/l  | 40,4 mg/l | 40 mg/l  |
|   | Turbidez (NTU) | 16 NTU     | 17 NTU   | 15 NTU    | 16 NTU   |
| 7 | SST (mg/l)     | 64 mg/l    | 60 mg/l  | 68 mg/l   | 64 mg/l  |
|   | Turbidez (NTU) | 28 NTU     | 28,1 NTU | 28,2 NTU  | 28,1 NTU |
| 8 | SST (mg/l)     | 60 mg/l    | 60 mg/l  | 60 mg/l   | 60 mg/l  |
|   | Turbidez (NTU) | 25 NTU     | 26 NTU   | 27 NTU    | 26 NTU   |

Coello, 2021.

Como se evidencia en la Tabla 9, el experimento que arrojo valores más bajo del análisis realizado fue el n°6 el cual se obtuvo un promedio de 40 mg/l para los Sólidos Suspendidos Totales y 16 NTU para la turbidez, cabe mencionar que es el experimento que se utilizó más placas de hierro (7) y menos placas de aluminio (3), y al cual se le aplicó mayor tiempo de retención (20 min).

La reacción de todos los experimentos con mayor placas de hierro (experimento 1,2,5 y 6) presentó una espuma de color marrón oscuro a negro por el desgaste y oxidación de las mismas placas y la turbidez del agua bajo considerablemente.

En cuanto a los experimentos 3,4, 7 y 8 donde predominaban las placas de aluminio el color de la espuma quedo en marrón oscuro, ya que las placas de aluminio no se oxidaron como las de hierro, esto afectó grandemente la reducción de la turbidez, por lo que se obtuvo valores mayores.

#### 4.2.9 Análisis de eficiencia de los tratamientos realizados

Se realizó un análisis de eficiencia de los tratamientos realizados mediante la aplicación del análisis ANOVA, utilizando la información recolectada en la Tabla 8 y la información de la muestra inicial para demostrarse si están de acuerdo con los límites permisibles del COA.

A continuación en la siguiente tabla se observará todos los valores obtenidos de la muestra inicial, los recolectados de los ocho experimentos y los límites permisibles del COA para su posterior comparación (Ver, Tabla 10).

**Tabla 9. Tabla con los valores obtenidos de la muestra inicial, de los ocho experimentos realizados y los límites permisibles del COA**

| EXPERIMENTO | MUESTRA INICIAL |                | EXPERIMENTOS |                | LIMITES PERMISIBLES COA |                |
|-------------|-----------------|----------------|--------------|----------------|-------------------------|----------------|
|             | SST (mg/l)      | TURBIDEZ (NTU) | SST (mg/l)   | TURBIDEZ (NTU) | SST (mg/l)              | TURBIDEZ (NTU) |
| 1           | 586,67          | 895            | 50           | 24             | 220                     | 100            |
| 2           | 586,67          | 895            | 47           | 22             | 220                     | 100            |
| 3           | 586,67          | 895            | 66           | 35             | 220                     | 100            |
| 4           | 586,67          | 895            | 62           | 31             | 220                     | 100            |
| 5           | 586,67          | 895            | 47           | 17,8           | 220                     | 100            |
| 6           | 586,67          | 895            | 40           | 16             | 220                     | 100            |
| 7           | 586,67          | 895            | 64           | 28,1           | 220                     | 100            |
| 8           | 586,67          | 895            | 60           | 26             | 220                     | 100            |

Coello, 2021

Como se evidencia en la Tabla 10, los valores de Sólidos Suspendidos Totales y Turbidez de la muestra inicial son muy altos en comparación de los valores que presenta los límites permisibles del COA, en cuanto a los datos obtenidos de los ocho experimentos realizados los Sólidos Suspendidos Totales y Turbidez están por debajo de los límites permisibles del COA.

Después, se realizó un análisis al agua del experimento nº6 para obtener datos de los parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub> (Ver, tabla 11).

**Tabla 10. Tabla con los valores obtenidos de la muestra inicial, del experimento n°6 realizado y el limite permisibles del COA para DQO y DBO<sub>5</sub>**

| EXPERIMENTO | MUESTRA INICIAL           |  | EXPERIMENTOS              |  | LIMITE PERMISIBLES COA    |  |
|-------------|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|--|
|             | DQO (mgO <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l) | DQO (mgO <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l) | DQO (mgO <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l) |
| 6           | 2250,00                   | 3675,45                                | 225                       | 125                                    | 500                       | 250                                    |

Coello, 2021

Como se evidencia en la tabla 11, los valores de DQO y DBO<sub>5</sub> de la muestra inicial es muy alto en comparación de los valores que presenta los límites permisibles del COA, en cuanto a los valores obtenidos del experimento n°6 una vez realizada la electrocoagulación la DQO y la DBO<sub>5</sub> están por debajo de los límites permisibles.

A continuación se muestra los datos de Sólidos Suspendidos Totales manera gráfica en un diagrama de barras (Ver figura 1).



Figura 1. Valores finales de sólidos suspendidos totales (el eje "X" representa los experimentos y el eje "Y" representa la concentración en mg/l)

Coello, 2021

En los experimentos realizados, los valores de remediación para SST difieren considerablemente más entre tratamientos por el cambio de placas que por los tiempos de remediación aplicados (10 y 20 minutos en cada tratamiento respectivamente).

Así mismo, se muestran los datos de la Turbidez de manera gráfica en un diagrama de barras (Ver figura 2).

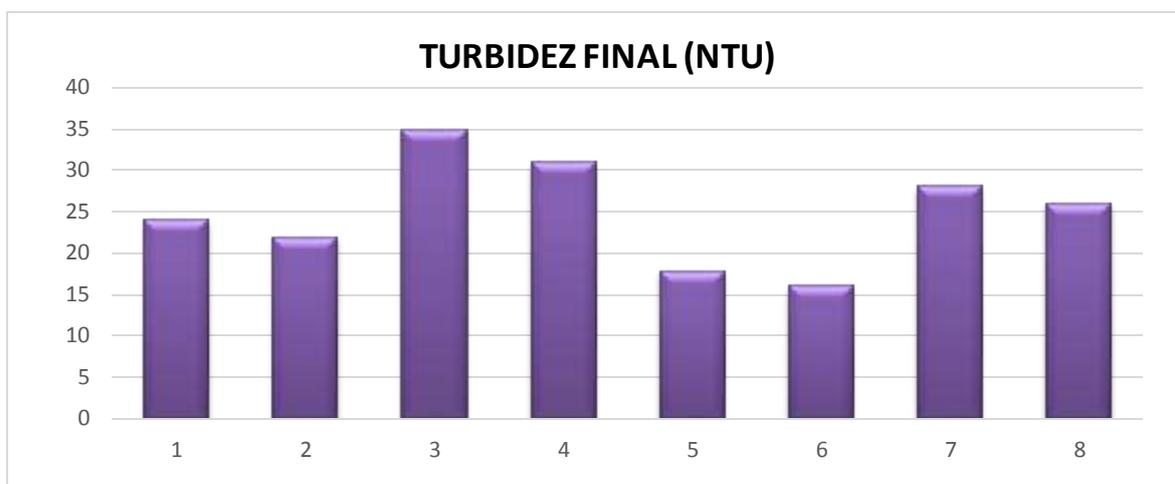


Figura 2. Valores finales de la turbidez (el eje "X" representa los experimentos y el eje "Y" representa la concentración en NTU)

Coello, 2021

Los valores de remediación para turbidez difieren considerablemente más entre tratamientos por el cambio de placas que por los tiempos de remediación aplicados (10 y 20 minutos en cada tratamiento respectivamente), la turbidez en cada experimento se mostró distinta entre amarillenta y marrón oscuro dependiendo de los tratamientos y los tiempos.

Posteriormente, se realizó el análisis Anova en los Sólidos Suspendidos Totales, además se procedió a usar el programa de Microsoft Excel, donde contrastó los valores y dio los siguientes resultados (Ver Tabla 11).

**Tabla 11. Tabla de análisis ANOVA para sólidos suspendidos totales.**

| Grupos                    | Cuenta            | Suma               | Promedio                  | Varianza   |              |                      |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|------------|--------------|----------------------|
| SST FINAL (mg/l)          | 8                 | 436                | 54,5                      | 93,1428571 |              |                      |
| SST (mg/l)                | 8                 | 1760               | 220                       | 0          |              |                      |
| ANALISIS DE VARIANZA      |                   |                    |                           |            |              |                      |
| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F          | Probabilidad | Valor crítico para F |
| Entre grupos              | 109561            | 1                  | 109561                    | 2352,53681 | 0,00         | 4,60010994           |

|                             |        |    |                 |  |  |  |
|-----------------------------|--------|----|-----------------|--|--|--|
| <b>Dentro de los grupos</b> | 652    | 14 | 46,571428<br>57 |  |  |  |
| <b>Total</b>                | 110213 | 15 |                 |  |  |  |
| <b>Valor Alfa</b>           | 0,05   |    |                 |  |  |  |

Coello, 2021

Como se evidencia en la tabla 11, el análisis ANOVA muestra un valor superior en el estadístico F (2352,53681) por sobre el valor crítico para F (4,60010994), indicando así que la variable independiente se contrasta considerablemente de la variable dependiente anulando así la hipótesis nula y confirmando la hipótesis alternativa.

Así mismo, se realizó el análisis Anova a la Turbidez y se procedió a usar el programa de Microsoft Excel, este contrastó los valores y dio los siguientes resultados (Ver Tabla 12).

**Tabla 12. Tabla de análisis ANOVA para turbidez**

| <b>Grupos</b>                    | <b>Cuenta</b>     | <b>Suma</b>        | <b>Promedio</b>           | <b>Varianza</b> |              |                      |
|----------------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-----------------|--------------|----------------------|
| <b>TURBIDEZ FINAL (NTU)</b>      | 8                 | 199,9              | 24,9875                   | 41,3498214      |              |                      |
| <b>TURBIDEZ (NTU)</b>            | 8                 | 800                | 100                       | 0               |              |                      |
| <b>ANALISIS DE VARIANZA</b>      |                   |                    |                           |                 |              |                      |
| <b>Origen de las variaciones</b> | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F               | Probabilidad | Valor crítico para F |
| <b>Entre grupos</b>              | 22507,50063       | 1                  | 22507,50063               | 1088,63835      | 0,00         | 4,60010994           |
| <b>Dentro de los grupos</b>      | 289,44875         | 14                 | 20,67491071               |                 |              |                      |
| <b>Total</b>                     | 22796,94938       | 15                 |                           |                 |              |                      |
| <b>Valor Alfa</b>                | 0,05              |                    |                           |                 |              |                      |

Coello, 2021

Como se muestra en la tabla 12, el análisis presenta como resultado que el valor del estadístico F (1088,63835) es superior al valor crítico para F (4,60010994), indicando así que la variable independiente se contrasta considerablemente de la variable dependiente anulando así la hipótesis nula y confirmando la hipótesis alternativa.

### 4.3 Proponer un método de estabilización a través de lodos generados en el tratamiento de electrocoagulación.

Los tres métodos más recomendables que se proponen en esta Tesis para la estabilización de los lodos son (Ver, Figura 3):

- Digestión aerobia
- Composteo
- Adición de cal

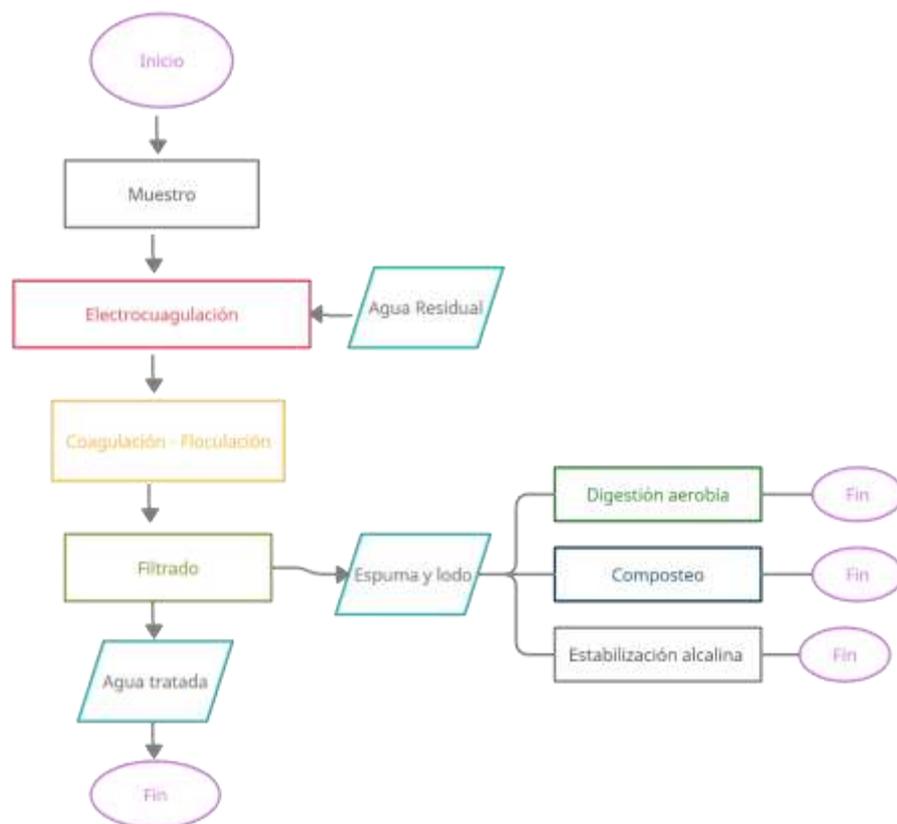


Figura 3. Diagrama de flujo del tratamiento de agua residual de avícola mediante la electrocoagulación y aprovechamiento de la espuma y los lodos

Coello, 2021

### 4.3.1 Digestión aerobia.

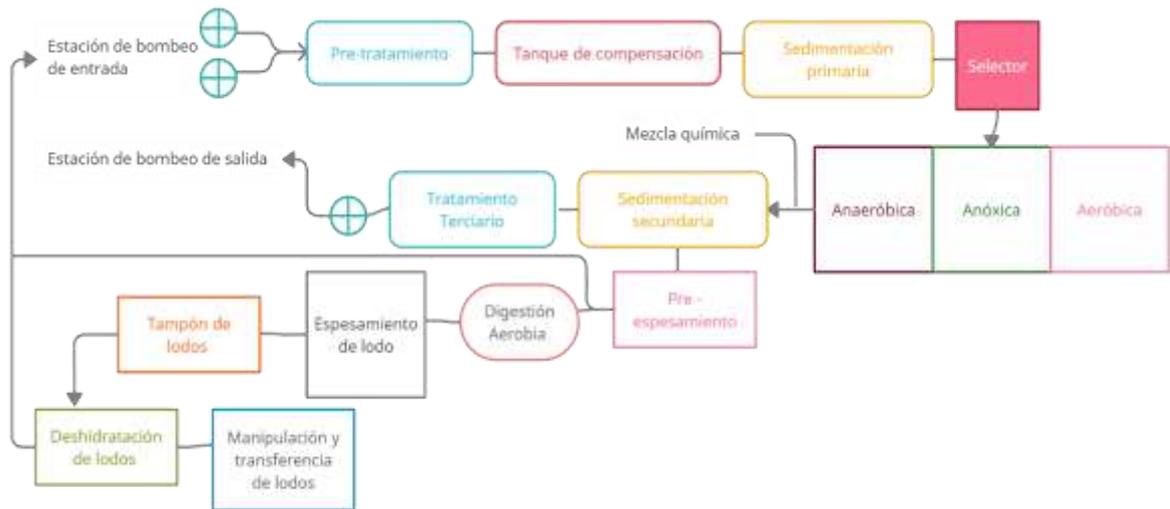


Figura 4. Diagrama de flujo de la digestión aerobia  
Coello, 2021

Como se puede observar en la figura 4, la digestión aerobia ayuda a la reducción de volúmenes de lodos que se deben evacuar posteriormente, siendo una alternativa viable para la estabilización de lodos.

### 4.3.2 Composteo

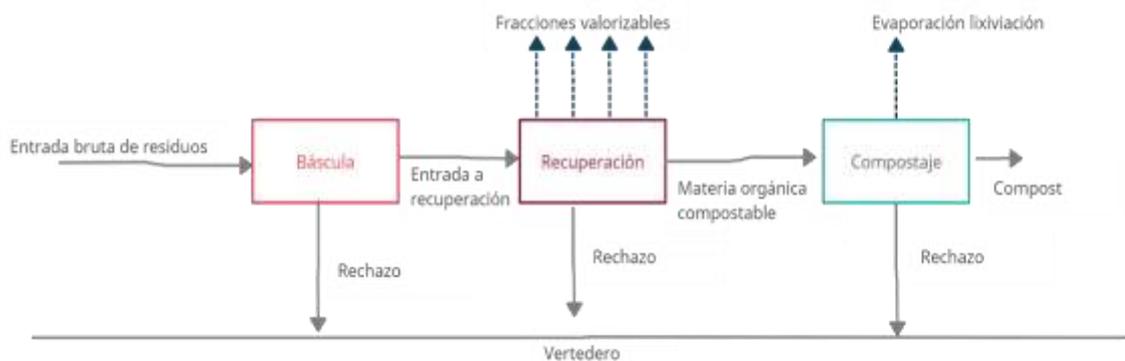


Figura 5. Diagrama de flujo del compostaje  
Coello, 2021

Como se puede observar en la figura 5, el composteo ayudará a reciclar, usando los lodos residuales como abono orgánico siendo una alternativa eco amigable para el ambiente.

### 4.3.3 Estabilización alcalina

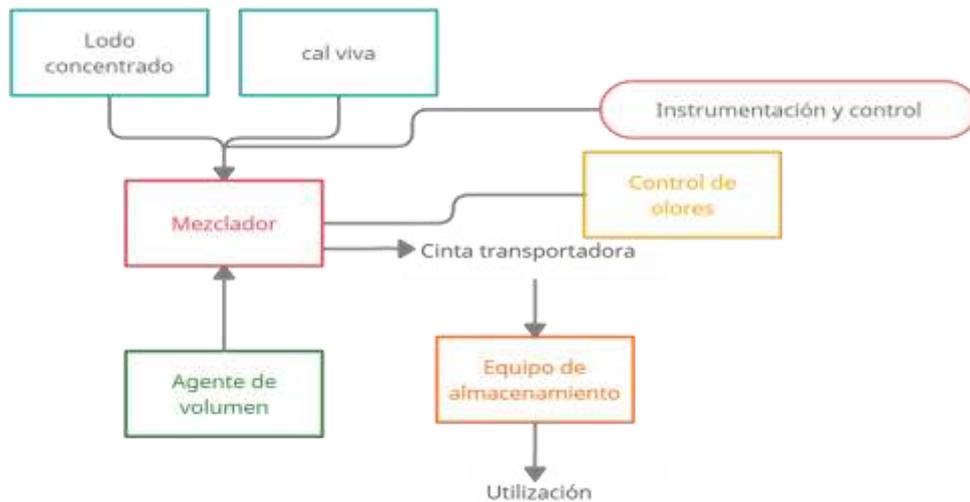


Figura 6. Diagrama de flujo de la estabilización alcalina  
Coello, 2021

Como se observa en la figura 6, la estabilización alcalina ayudará a tratar los lodos residuales usando cal, para posteriormente utilizarlo en jardines, para la elaboración de abono, o mejorar suelos degradados.

Dado a las características del tratamiento y del lodo generado, se puede utilizar todos los métodos propuestos y darle como destino final cualquiera de las actividades que se recomendaron.

## 5. Discusión

En el primer objetivo, el resultado de la muestra del agua residual de la avícola determinó que los parámetros analizados están por sobre los límites permisibles establecidos en las normas de calidad de aguas residuales del país, por lo que, esta agua posee un alto grado de contaminación y se recomienda un tratamiento amigable con el ambiente de manera urgente, para así poder reutilizar esta agua y usarla en otras actividades de limpieza o enviarla al sistema de alcantarillado sin causar un impacto negativo significativo.

Para el segundo objetivo, se demostró que cuando predominaban las placas de hierro el análisis de agua residual en cuanto a los Sólidos Suspendidos Totales y la Turbidez arrojaban valores menores que la muestra inicial, por lo que se oxidaban de manera más acelerada que las placas de aluminio. Y cuando predominaban las placas de aluminio los valores totales presentados eran mayores que los demás experimentos, debido a que no se oxidaron como las de hierro, afectando de manera considerable la reducción de la turbidez.

En cuanto al tercer objetivo, se puede mencionar que las muestras de agua inicial arrojaban valores mayores que los límites permisibles del COA, sin embargo los datos de los ocho experimentos realizados estaban por debajo de los límites permisibles del COA. Finalmente, debido a los lodos generados en la electrocoagulación se recomendó los métodos de estabilización más apropiados a la tesis como el composteo, la digestión aerobia y la estabilización alcalina.

Con el estudio realizado en la ciudad de Medellín sobre la caracterización y análisis de la calidad del agua, donde utilizaron métodos tradicionales como: electrocoagulación, electroflotación y electrodecantación pues se concuerda que

son más eficientes para la remoción de turbidez, ya que la electrocoagulación aplicada y mediante el análisis de agua realizada en esta tesis se obtuvieron valores similares al estudio que se realizó en Colombia, con la única variante de que las placas conformadas eran de Hierro y Aluminio.

Con respecto al estudio de Posada (2010), menciona que los contaminantes forman compuestos hidrofóbicos que se precipitan en la superficie y el fondo del lugar donde se esté generando el proceso como consecuencia de la acción de la poliacrilamida, facilitando su remoción por la separación y desecación de los lodos residuales, con Posada se concuerda que los lodos son más fácil de separar cuando se usa la poliacrilamida, ya que en nuestro experimento se usó el mismo componente que ayudó a la separación de los lodos obteniendo resultados similares.

Gutiérrez, Travaglini, Uzcategui y Caldera (2012) aplicaron un tratamiento sobre la desinfección de aguas residuales, donde se determinó la eficiencia de un equipo de limpieza con cloro existente en una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria avícola, con la finalidad de reutilizar el efluente en la limpieza del área de recepción de aves. Los parámetros fisicoquímicos a la salida de la cámara cumplieron con lo establecido por las normativas ambientales venezolanas. Con este estudio se concuerda que el agua tratada puede ser reutilizada para otras actividades secundarias en la avícola, esto porque se cumplen los parámetros permisibles de la legislación ecuatoriana.

En su trabajo Lettinga (2017) creó un reactor anaeróbico, esta tecnología ha sido aplicada al tratamiento de una gran variedad de aguas residuales, debido a su efectividad y a sus ventajas económicas, y los resultados obtenidos presenta valores de turbidez por debajo de los límites permisibles, lo que se concuerda con

lettinga que al aplicar un tratamiento adecuado al agua residual de cualquier empresa se obtendrá valores de análisis por debajo de los límites permisibles y por ende una mejor alternativa para descarga esta agua al sistema de alcantarillado.

## 6. Conclusiones

Se concluye que las avícolas generan residuos muy peligrosos para el ambiente en lo que respecta a efluentes líquidos, sin embargo la aplicación del tratamiento por electrocoagulación, floculantes y filtrado redujo a niveles aceptables los contaminantes (según el COA) que provocaban la turbidez y la presencia de los sólidos suspendidos totales en el agua residual; además de remover color, el tratamiento redujo considerablemente el olor de las muestras.

En los 8 experimentos realizados (cada una con su repetición) donde se combinaron los 2 tipos de placas (hierro y aluminio) dieron como resultados junto a las pruebas estadísticas que la opción más óptima a utilizarse era el que tenía predominancia de las placas de hierro (experimento nº6), que aunque se desgastaban en el proceso del tratamiento, generaba mejores resultados a largo plazo, además, los resultados más viables se encontraban en el mayor rango de tiempo en electrocoagulación (20 minutos).

Así mismo, se concluye que los parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub> del agua tratada del experimento nº6 se encontraba bajos los límites permisibles del COA.

Los métodos de estabilización propuestos funcionan ya que anulan la carga microbiana restante en los lodos producidos en el tratamiento, es así que luego de la estabilización se propone el uso de estos residuos ya tratados en otras actividades de reuso y aprovechamiento que pueden ser: agrícola (remediación de suelos y reforestación), a nivel de construcción o en otro tipo de actividades que lo ameriten, dándole así un máximo provecho a estos subproductos generados de los tratamientos de los efluentes líquidos de las avícolas cumpliendo así el objetivo 3.

## 7. Recomendaciones

Se recomienda la propuesta y aplicación del tratamiento diseñado para las aguas residuales de las avícolas en Fertisa.

Se recomienda para futuros experimentos de electrocoagulación involucrar procesos de filtración, ya que esto favorece a la clarificación del agua.

Para futuras pruebas de electrocoagulación se recomienda evaluar la remoción de contaminantes utilizando electrodos de hierro.

Se recomienda en futuros experimentos realizar evaluación de deterioro de los electrodos, con el fin de identificar periódicamente el mantenimiento o cambio de las mismas.

Se recomienda comprobar la eficiencia de la electrocoagulación de aguas residuales con otro tipo de efluentes industriales.

Se recomienda evaluar la factibilidad de implementar el tratamiento de electrocoagulación a escala industrial con agua residual de avícola, teniendo en cuenta los excelentes resultados de este diseño piloto.

Se recomienda realizar una inversión para la estabilización y aprovechamiento de los lodos generados por el tratamiento de aguas residuales en las avícolas.

Se recomienda realizar más experimentos y estudios sobre la electrocoagulación en otros tipos de aguas residuales.

## 8. Bibliografía

- Acosta, J. (2016). *Propuesta de un sistema de tratamiento de efluentes para la obtención de agua reutilizable en el centro benéfico Avicola Andy S.R.L.* Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/84110512.pdf>
- Acuña, S. (5 de Marzo de 2015). Tratamiento y disposición de aguas residuales (tesis de grado). Universidad de Chile, Chile.
- Álvarez. (20 de julio de 2010). Las enfermedades infecciosas y su importancia en el sector avícola. *Medicina Veterinaria*.
- Arango, A., & Garces, L. (2007). *Diseño de una celda de*. Obtenido de <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/download/764/672/>
- Bayramoglu, M. (2006). Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater. *El Sevier*.
- Beltran, K. (2017). *Análisis de la Varianza con un Factor (ANOVA)*. Obtenido de [http://www.ecotec.edu.ec/documentacion%5Cinvestigaciones%5Cestudiant es%5Ctrabajos\\_de\\_clases/37190\\_ESTADISTICA.doc](http://www.ecotec.edu.ec/documentacion%5Cinvestigaciones%5Cestudiant es%5Ctrabajos_de_clases/37190_ESTADISTICA.doc)
- Caldera, Y. (2012). Desinfección de aguas residuales de una industria avícola para su reutilización. *Tecnocientífica URU*.
- Chávez, I. (2007). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de agua residual. *Dominio de la Ciencia*.
- Clarke, R. (2017). A quantitative microbial risk assessment model for total coliforms and E. coli in surface runoff following application of biosolids to grassland. *El Sevier*.

- Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Ley 0 Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017*. Obtenido de <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/05NOR2017-COA.pdf>
- Constitución Política del Ecuador . (2015). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Constitución Política Del Ecuador. (2008). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)
- Fernández, A. (2015). *Evaluación de la condición del agua para consumo humano en América Latina*. (Vol. 1). Argentina: Safe Water.
- Garcés. (2014). *Investigación Científica de las aguas residuales* (Vol. 1). Ecuador: Abya Yala.
- Gómez, E. (2012). Estudio de gestión ambiental para la empresa avícola agrícola Mercantil del Cauca (Maestría). Universidad de Manizales , Colombia.
- Gutierrez, E., Travaglini, A., Uzcategui, G., & Caldera, Y. (2012). *Desinfección de aguas residuales de una industria*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/282723297\\_Desinfeccion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_de\\_una\\_industria\\_avicola\\_para\\_su\\_reutilizacion](https://www.researchgate.net/publication/282723297_Desinfeccion_de_aguas_residuales_de_una_industria_avicola_para_su_reutilizacion)
- Kleifa, A. (2017). Removal of fluoride, SDS, ammonia and turbidity from semiconductor wastewater by combined electrocoagulation–electroflotation. *El Sevier*.
- Koby, M. (2006). Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation. *El Sevier*.
- Lettinga, G. (2017). Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Agua Tuya*.

- Limón, J. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales ¿Problemas o recursos?* Obtenido de [http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc\\_ingreso\\_guaberto\\_limon\\_trabajo\\_de\\_ingreso.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_guaberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf)
- López, E. (2011). Tratamiento biológico de aguas residuales aplicable a la industria avícola. *Avicultura*.
- López, M. (2007). *Engormix*. Obtenido de <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/tratamiento-biologico-aguas-residuales-t27072.htm>
- Maldonado, D. (2020). Diseño de un filtro de carbon activado a base de estopa de coco para la eliminación de aceites y grasas en las aguas residuales avícolas. Obtenido de [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MALDONADO%20MITE%20DIEGO%20JOSE\\_compressed.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MALDONADO%20MITE%20DIEGO%20JOSE_compressed.pdf)
- Marcos, F. (2020). Informe de ensayos. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Martinez, M. (julio de 2011). *Patente nº WO 201 1/158195 AI*. España.
- Matsumura. (2012). Water conservation and reuse in poultry processing plant. *El Sevier*.
- Mejía, R. (2000). *Guía Ambiental para el Subsector avícola*. Colombia: Fenavi.
- Méndez, E. (2008). *Aplicación de tecnología para el tratamiento de aguas*. México: Pantel.
- Morales, N. (Junio de 2010). Sistema de electrocuagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas. *Neogranadina*.
- Morales, O. (2012). Evaluación del sistema de tratamiento de Aguas Residuales de una planta de procesos Avícola (Tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua.

- Muñoz, M. (2016). Formulación de alternativas de producción más limpia para la línea genética avícola en una incubadora del sector (Tesis de grado). Universidad de la Salle, Colombia.
- Posada, N. B. (2010). Sistema de tratamiento de agua residual galvánica. *Neogranadina*.
- Propel Fundes Colombia. (2001). Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotécnica. *Fundes*.
- Reyes, O. (2015). Evaluación ambiental de residuos en la granja avícola CAFARI del municipio de San Pedro- Valle del Cauca (Tesis de grado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Colombia.
- Ruiz, P. (2017). *Prototipo de una celda de electrocoagulación abastecida con energía fotovoltaica para tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/160120161.pdf>
- Rumsie , C. (2017). The role of baseflow in dissolved solids delivery to streams in the Upper Colorado River Basin. *Polyplus*, 31.
- Santinelli, M. E. (2012). Impacto ambiental y proyecto de tratamiento de aguas residuales. Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Schennach, R. (2010). Electrocoagulation (EC) — science and applications. *El Sevier*, 84.
- Secretaría del agua. (2014). *Ley orgánica de los recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua*. Ecuador: Obtenido de Registro oficial N. 305.
- Takdastan, A. (2017). Electrocoagulation process to Chemical and Biological Oxygen Demand treatment from carwash grey water. *El Sevier*.
- Torres, P. (2007). *Compostaje de biosólidos de planta de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v27n1/21.pdf>

- Vásquez. (2015). Evaluación de un tratamiento de floculación-flotación para el agua residual generada en el procesamiento de subproductos avícolas. Universidad Libre, Colombia.
- Vasquez, & Vargas. (2018). Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16425/1/Trabajo%20de%20Grado%20-%20%20Lodos%20Funza.pdf>
- Vermat, A., & Wei, X. (2013). Predicting the total suspended solids in wastewater: A data-mining approach. *El Sevier*.
- Water Environment Federation. (2010). *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants: WEF Manual of Practice No. 8 ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 76, Fifth Edition*. Obtenido de <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071663588>

## 9. Anexos

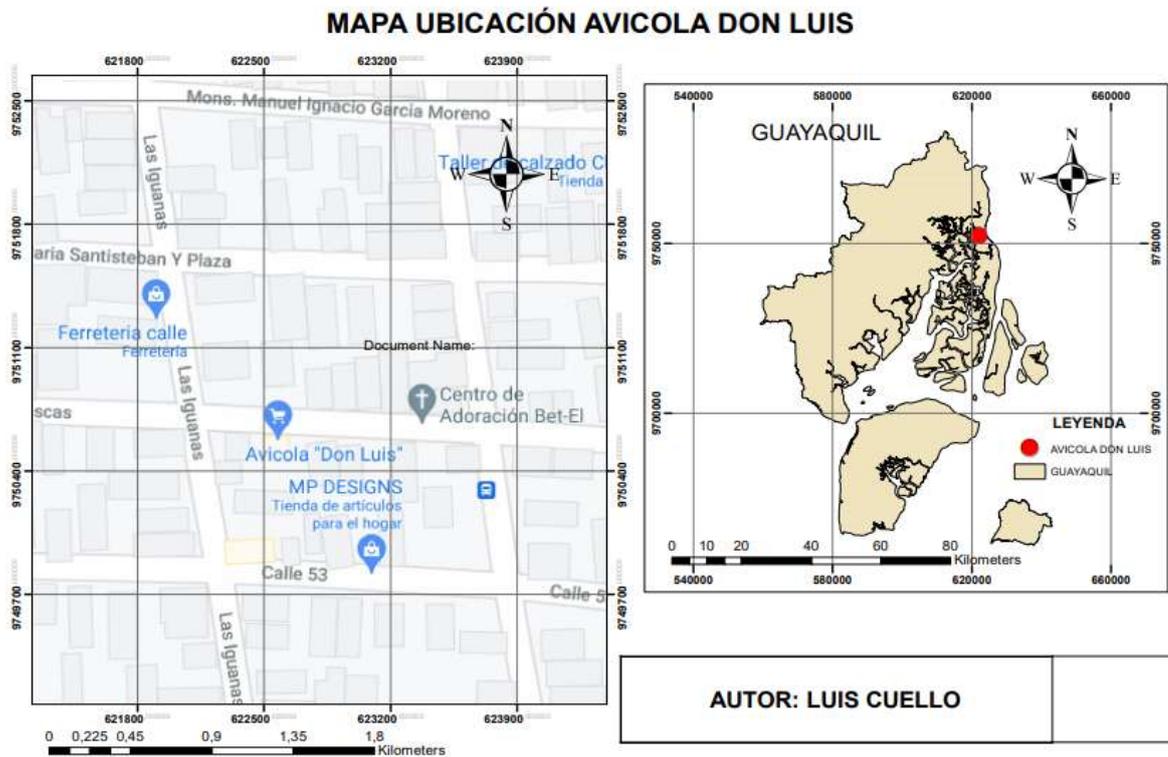


Figura 7. Mapa de ubicación de la Avícola Don Luis

Coello, 2021



Figura 8. Ubicación del Avícola Don Luis

Google Earth, 2020

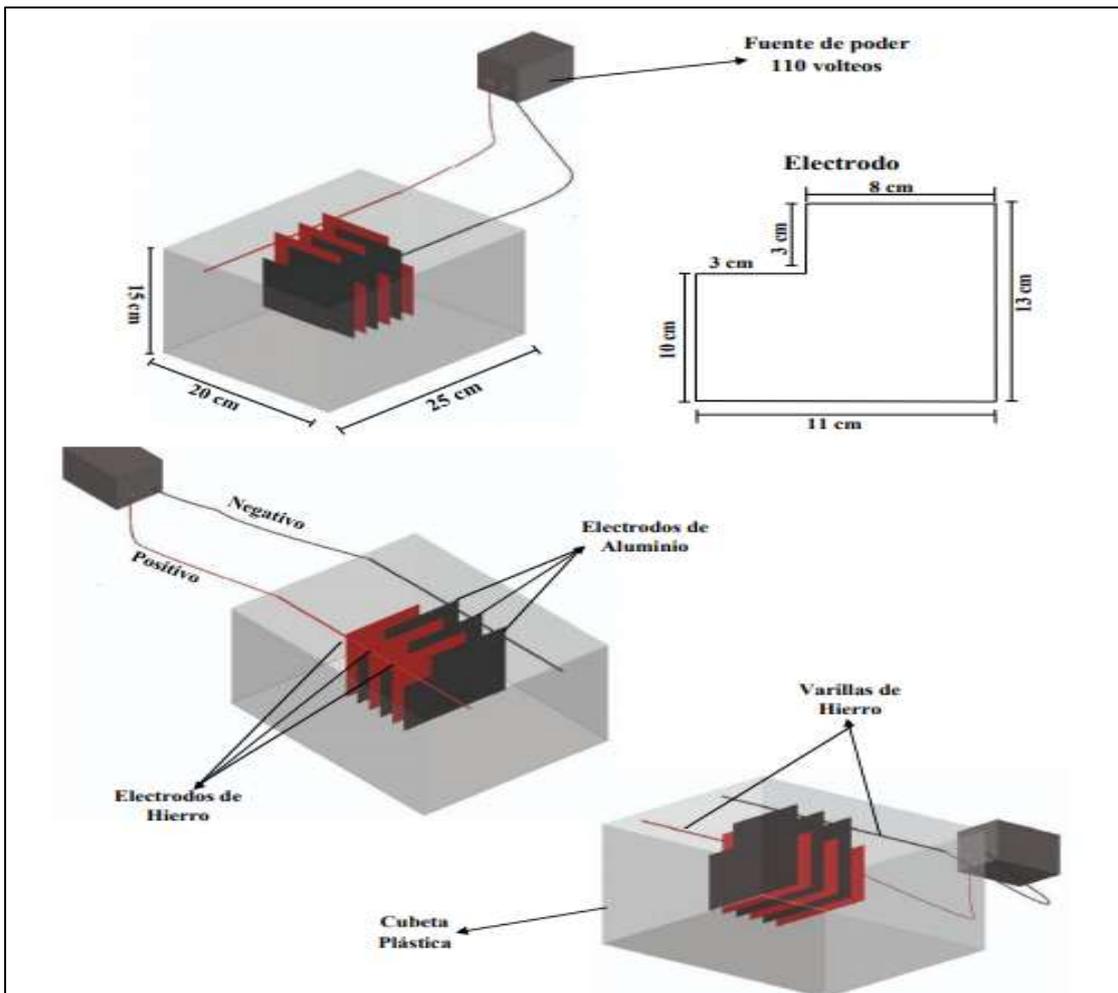


Figura 9. Diseño piloto del reactor para el proceso de electrocoagulación elaborado en Autocad

Coello, 2021

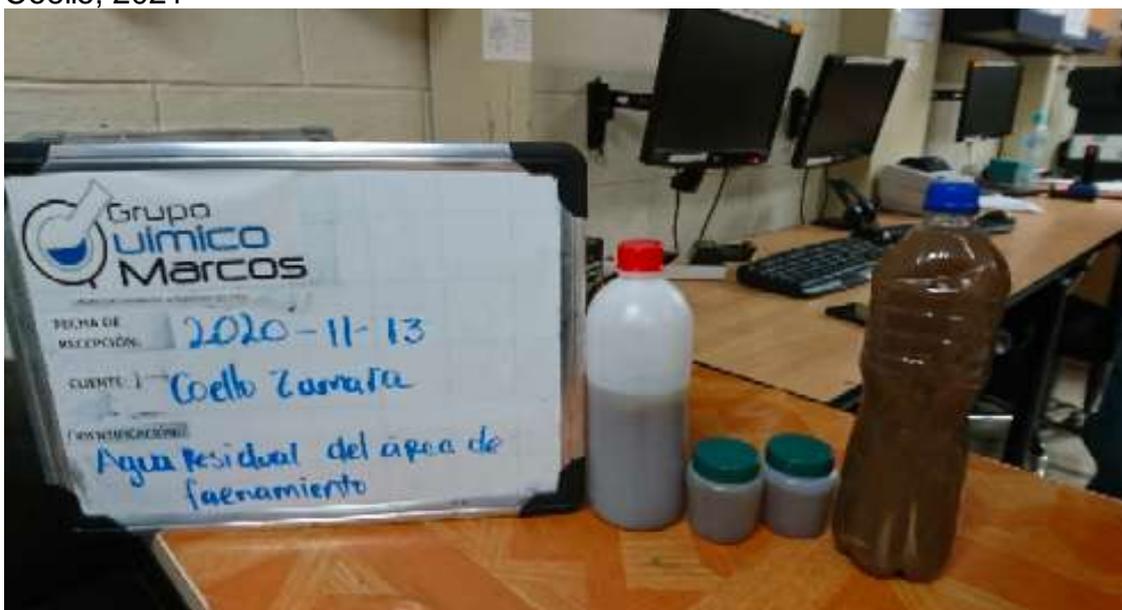


Figura 10. Memoria fotográfica del análisis inicial del agua de la avícola

Grupo Químico Marcos, 2020



Figura 11. Primer experimento

Coello, 2021



Figura 12. Segundo experimento

Coello, 2021



Figura 13. Tercer experimento

Coello, 2021



Figura 14. Cuarto experimento

Coello, 2021



Figura 15. Quinto experimento

Coello, 2021

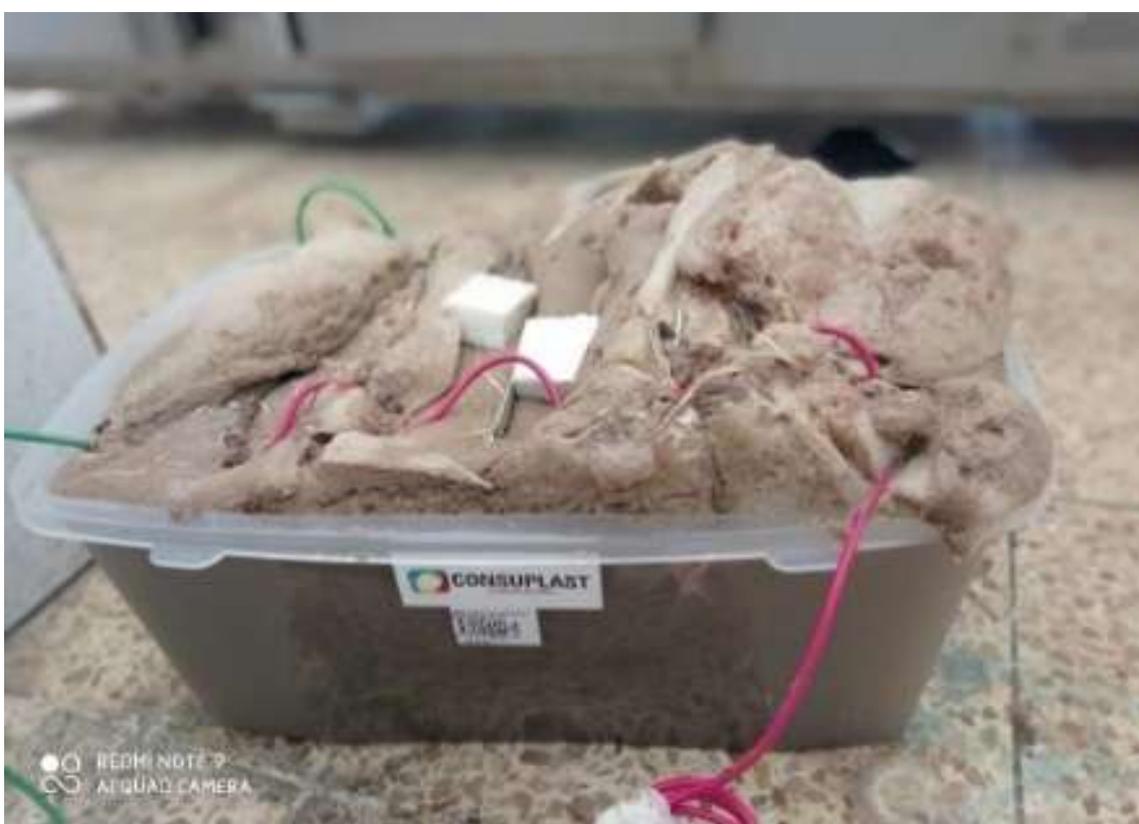


Figura 16. Sexto experimento

Coello, 2021



Figura 17. Séptimo experimento

Coello, 2021



Figura 18. Octavo experimento

Coello, 2021



Figura 19. Materiales para la elaboración del filtro

Coello, 2021



Figura 20. Tesista Luis Coello recogiendo la muestra de agua

Coello, 2021



Figura 21. Muestras de agua tratadas y filtradas listas para analizar

Coello, 2021



1901202101099131531400120010020000151660001516615

#### DATOS DE LA MUESTRA

|                             |  |                                    |                    |
|-----------------------------|--|------------------------------------|--------------------|
| NO. ORDEN: 82407            |  | FECHA DE LLEGADA: 2021/01/18 17:02 |                    |
| <u>Datos de Informe</u>     |  |                                    |                    |
| CLIENTE:                    | Ensayo COELLO ZAMORA LUIS ALBERTO  |                                    |                    |
| DIRECCIÓN:                  | Fertiza Coop. Santiaguito Roldos Mz 12 Solar 1211  |                                    |                    |
| N:                          | Ing. Luis Alberto Coello   |                                    |                    |
| ATENCIÓN:                   | A:   |                                    |                    |
| <u>Datos de Facturación</u> |  |                                    |                    |
| FACTURAR:                   | COELLO ZAMORA LUIS ALBERTO   |                                    |                    |
| A:                          | Fertiza Coop. Santiaguito Roldos Mz 12 Solar 1211  |                                    |                    |
| DIRECCIÓN:                  | Ing. Luis Alberto Coello   |                                    |                    |
| ATENCIÓN A:                 | A:   |                                    |                    |
| ENTREGA DE RESULTADOS:      | 2021/01/24   | PRIORIDAD:                         | NO. DE MUESTRAS: 2 |
| FECHA Y HORA DE MUESTREO:   | 2021/01/17   | MATRIZ:                            | Agua               |
| LUGAR MUESTREO:             | Guayaquil  |                                    |                    |
| IDENTIFICACIÓN:             | Agua residual (8 Placas de Hierro - 4 de Aluminio)   |                                    |                    |
| TABLA COMPARATIVA:          | ANEXO 1 LIBRO VI TULSMA ACUERDO MINISTERIAL 097A (2015-11) TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO |                                    |                    |
| COORDENADAS:                | ---  | NORMA TECNICA:                     | No                 |
| TIPO MUESTREO:              | Simple   |                                    |                    |
| MUESTREADO:                 | COELLO ZAMORA LUIS ALBERTO - CLIENTE   |                                    |                    |
|                             | ---  |                                    |                    |

| N. LAB.     | PARAMETRO | MÉTODO        | RESULTADO | UNIDADES | ANALIZADO POR |
|-------------|-----------|---------------|-----------|----------|---------------|
| 8240<br>7-1 | Turbidez  | PEE-GQM-FQ-25 | 17,8      | NTU      | 2021/01/19 SP |
| 8240<br>7-1 | SST       | PEE-GQM-FQ-06 | 47        | mg/l     | 2021/01/22 NS |
| 8240<br>7-1 | DBOs      | PEE-GQM-FQ-05 | 125       | mgO2/l   | 2021/01/26 SP |
| 8240<br>7-1 | DQO       | PEE-GQM-FQ-05 | 225       | mgO2/l   | 2021/01/30 NS |

Figura 22. Análisis final de laboratorio con mayoría de placas de aluminio

Coello, 2021

Tabla 13. Características de las aguas residuales de industria Avícola Zulina.

| Parámetro          | Máximo  | Mínimo | Valor promedio (desviación) | Descarga red de cloacas | Descarga (cuerpos de agua) |
|--------------------|---------|--------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| DQO soluble (mg/L) | 1815,7  | 1255   | 1584,23±197,48              | NR                      | NR                         |
| DBO (mg/L)         | 1357,74 | 993,45 | 1136,20±121,30              | 350                     | 60                         |
| SST (mg/L)         | 653,33  | 443,67 | 544,67±73,87                | 400                     | 80                         |
| SSV (mg/L)         | 604,67  | 382,33 | 484,38±75,15                | NR                      | NR                         |
| A y G (mg/L)       | 502,3   | 267,9  | 413,47±99,43                | 150                     | 20                         |
| NTK (mg/L)         | 123,2   | 102,71 | 109,94±7,53                 | NR                      | NR                         |
| P total (mg/L)     | 17,22   | 6,48   | 9,60±3,52                   | 10                      | 10                         |
| pH                 | 6,48    | 6,3    | 6,38±0,06                   | 6 - 9                   | 6 - 9                      |
| Alcalinidad        | 256,33  | 182    | 213,81±24,66                | NR                      | NR                         |
| Temperatura        | 32      | 28     | 30±2                        | NR                      | 40                         |
| Q promedio         |         |        | 11,76±2,33                  |                         |                            |

Caldera, 2012.