

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS  
TRATAMIENTOS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y  
COAGULACIÓN/ FLOCULACIÓN PARA LA  
REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE AGUAS  
RESIDUALES DEL CAMAL CONCHUCOS, LIMA,  
2021”

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniera Ambiental**

**Autoras:**

Ruth Megumi Miyashiro Aguirre  
Jeny Meliton Romero

**Asesor:**

Msc. Margeo Javier Chuman López

<https://orcid.org/0000-0002-4038-7591>

Lima - Perú

**JURADO EVALUADOR**

<b>Jurado 1</b> <b>Presidente(a)</b>	<b>Haniel Josue Torres Joaquin</b>	<b>45772010</b>
	<b>Nombre y Apellidos</b>	<b>Nº DNI</b>

<b>Jurado 2</b>	<b>Margarita Del Carmen Cateriano Calderón</b>	<b>40529938</b>
	<b>Nombre y Apellidos</b>	<b>Nº DNI</b>

<b>Jurado 3</b>	<b>Denisse Milagros Alva Mendoza</b>	<b>45535817</b>
	<b>Nombre y Apellidos</b>	<b>Nº DNI</b>

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo y esfuerzo logrado a nuestra familia, porque reconocemos y valoramos cada consejo y soporte que impulsó llevar a cabo el termino de nuestra etapa universitaria.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a nuestro Dios por acompañarnos y guiarnos en todo este tiempo.

A nuestros padres por el apoyo incondicional.

A nuestros hermanos por habernos apoyado y ser de mucho ejemplo para nosotras.

A mi hija Zoe por ser mi inspiración en mi crecimiento profesional y personal.

A nuestra Ing. Margarita Cateriano por orientarnos durante proceso de esta  
investigación, de lo cual estamos muy agradecidas

**TABLA DE CONTENIDO**

JURADO CALIFICADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
<b>1.1. Realidad problemática</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Bases teóricas</b>	<b>12</b>
<b>1.3. Formulación del problema</b>	<b>35</b>
<b>1.4. Objetivos</b>	<b>35</b>
<b>1.5. Hipótesis</b>	<b>36</b>
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	37
<b>2.1. Población y muestra</b>	<b>37</b>
<b>2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos</b>	<b>37</b>
<b>2.3. Procedimiento</b>	<b>39</b>
CAPÍTULO III: RESULTADOS	47

<b>3.1. Resultados de las características físico-químicos del agua residual del camal de Conchucos</b>	<b>47</b>
<b>3.2. Resultados del tratamiento de coagulación-floculación.</b>	<b>48</b>
<b>3.3. Resultados del tratamiento de electrocoagulación.</b>	<b>54</b>
<b>3.4. Comparación de los tratamientos óptimos con los Valores Máximos Admisibles (VMA)</b>	<b>59</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	<b>61</b>
<b>4.1 Discusión</b>	<b>61</b>
<b>4.2 Conclusiones</b>	<b>64</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Efectos positivos y negativos de un sistema de electrocoagulación.....	26
<b>Tabla 2</b> Instrumentos de recolección de datos.....	38
<b>Tabla 3</b> Metodologías usadas para la parte experimental.....	38
<b>Tabla 4</b> Características físicos-químicos de los efluentes del Camal De Conchucos S.A .	47
<b>Tabla 5</b> Resultados del promedio, desviación estándar, máximo y mínimo del %DQO Reducido en el sistema de tratamiento de coagulación-floculación.....	48
<b>Tabla 6</b> Resultados del %DQO Reducido en el sistema de tratamiento de coagulación-floculación por medio del Diseño Central Compuesto a base de cuatro factores .....	48
<b>Tabla 7</b> ANOVA de cuatro factores en el sistema de tratamiento de coagulación-floculación. ....	50
<b>Tabla 8</b> Ajustes del modelo de superficie de respuesta de la remoción de DQO en el sistema de tratamiento de coagulación-floculación.....	52
<b>Tabla 9</b> Resultados del promedio, desviación estándar, máximo y mínimo del %DQO Reducido en el sistema de tratamiento de electrocoagulación. ....	53
<b>Tabla 10</b> Resultados del %DQO Reducido en el sistema de tratamiento de electrocoagulación por medio del Diseño Central Compuesto a base de dos factores.....	54
<b>Tabla 11</b> ANOVA de dos factores en el sistema de tratamiento de electrocoagulación. ...	55
<b>Tabla 12</b> Ajustes del modelo de superficie de respuesta de la remoción de %DQO en el sistema de tratamiento de electrocoagulación. ....	57
<b>Tabla 13</b> Comparación de los resultados con los modelos predictivos .....	59
<b>Tabla 14</b> Comparación de los resultados con los modelos experimentales.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Distribución en porcentajes del agua en el mundo .....	13
<b>Figura 2</b> Moléculas de Agua.....	14
<b>Figura 3</b> Clasificación de contaminantes del agua por partícula de tamaño y los principales métodos de tratamiento dependiendo del tamaño de partícula.....	22
<b>Figura 4.</b> Principales pasos en el proceso de la electrocoagulación .....	24
<b>Figura 5</b> Partes de un sistema de electrocoagulación .....	24
<b>Figura 6</b> Flujograma de la experimentación .....	40
<b>Figura 7</b> Toma de muestra y recolección del agua residual de mataderos en el camal Conchucos .....	41
<b>Figura 8</b> Modelo del sistema de floculación-coagulación.....	42
<b>Figura 9.</b> Pruebas de test de jarras experimentando con el coagulante-floculante.....	43
<b>Figura 10</b> Esquema del sistema de electrocoagulación .....	44
<b>Figura 11</b> Sistema de electroremediación implementado en laboratorio .....	44
<b>Figura 12</b> Efectos significativos de los factores de dosis de coagulante y la velocidad de agitación lenta.....	51
<b>Figura 13</b> Gráficos de deseabilidad 2D para la optimización del %DQO en el sistema de tratamiento de coagulación-floculación.....	53
<b>Figura 14</b> Efectos significativos de los factores de tiempo de agitación y velocidad de agitación.....	56
<b>Figura 15</b> Gráficos de deseabilidad 2D para la optimización del %DQO en el sistema de tratamiento de electrocoagulación. ....	58

## RESUMEN

En este trabajo se comparó los tratamientos de coagulación-floculación y electrocoagulación en la remoción de contaminantes de aguas residuales del camal Conchucos, Lima. Para el tratamiento de coagulación-floculación se trabajó con 4 variables independientes con sus respectivos rangos de experimentación, dosis de coagulante (600-1000 mg/L), dosis de floculante (4-8 mg/L), velocidad de agitación rápida (250-350 rpm), velocidad de agitación lenta (80-100 rpm), para la electrocoagulación los parámetros de velocidad de agitación (250-350 rpm) y tiempo de agitación (15-30 rpm). Se usó el método de diseño central compuesto (DCC) optimizando mediante superficie de respuesta (RSM) como método experimental para la reducción de contaminantes en función de la demanda química de oxígeno (%DQO), se usó un equipo de prueba de jarras para la coagulación-floculación y un agitador de un litro con electrodos de placa de aluminio a 30 V. Los resultados muestran que la coagulación/floculación y electrocoagulación presentaron modelos estadísticos con valores F de 5.33, 20.30, significancias  $p < 0,05$ , con ajustes de  $R^2$  de 0,6179, y 0,7571 para un arreglo óptimo con predicciones de reducción de %DQO, respectivamente. El tratamiento de electrocoagulación presentó una reducción de 75.43% similar al modelo predecido, de los 2 tratamientos comparados la electroremediación está por debajo de los valores máximos admisibles (VMA) en DQO, DBO y Aceites y Grasas cumpliendo los parámetros necesarios para el vertimiento a la red de alcantarillado.

**PALABRAS CLAVES:** Matadero; coagulación-floculación; diseño central compuesto, método de superficie de respuesta, optimización, valores máximos admisibles

## ABSTRACT

In this work, the coagulation-flocculation and electrocoagulation treatments were compared in the removal of pollutants from wastewater from the Conchucos slaughterhouse, Lima. For the coagulation-flocculation treatment, we worked with 4 independent variables with their respective experimental ranges, coagulant dose (600-1000 mg / L), flocculant dose (4-8 mg / L), fast stirring speed (250-350 rpm) , slow stirring speed (80-100 rpm), for electrocoagulation the parameters of stirring speed (250-350 rpm) and stirring time (15-30 rpm). The central compound design method (DCC) optimizing by response surface (RSM) was used as an experimental method for the reduction of pollutants as a function of chemical oxygen demand (% COD), a jar test equipment was used for the coagulation-flocculation and a one-liter shaker with aluminum plate electrodes at 30 V. The results show that coagulation / flocculation and electrocoagulation presented statistical models with F values of 5.33, 20.30, significance  $p < 0.05$ , with adjustments of  $R^2$  of 0.6179, and 0.7571 for an optimal arrangement with % COD reduction predictions, respectively. The electrocoagulation treatment presented a reduction of 75.43% similar to the predicted model, of the 2 treatments compared, the electroremediation is below the maximum admissible values (VMA) in COD, BOD and Oils and Fats, complying with the necessary parameters for the discharge to the sewerage system.

**PALABRAS CLAVES:** slaughterhouse; coagulation-flocculation; central compound design, response surface method, optimization, maximum allowable values

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Aborda Las aguas residuales se han convertido en la principal fuente de contaminación del medio ambiente, que comúnmente se vierte en masas de agua con poco o ningún tratamiento debido a la limitada disponibilidad de instalaciones de tratamiento en muchos países del mundo (Wu, 2020). En Latinoamérica el 70% de las aguas residuales no son tratadas y son devueltas completamente contaminadas a los ríos (Yee-Batista, 2013), es así que la contaminación tiene consecuencias ecológicas adversas que afectan a todos los seres vivos que se encuentran en la zona de influencia de los ríos. Siendo de los mayores desarrollar técnicas innovadoras más eficaces y económicas, para el tratamiento de aguas residuales industriales (Carrasquero et al., 2015).

El crecimiento demográfico mundial ha generado una gran demanda de consumo de productos alimenticios como las carnes rojas y sus derivados consumo mundial de carnes de cerdo, ganadero, así como aves de corral, lo que sugiere una alta demanda por los derivados de estos productos (Arguello et al., 2012; Borowski & Kubacki, 2015), que al procesarlas e industrializarlas demandan una gran cantidad de agua, las cuales se convierten en aguas residuales (Guamuro Diaz & Cieza Quispe, 2018). El efluente que se genera al procesar estos alimentos con la sangre de los animales en muchas ocasiones no es tratado adecuadamente por lo que impacta a los cuerpos receptores de manera negativa, por lo que la Agencia de Protección del Medio Ambiente clasifica los efluentes de los camales como nocivos (Seif & Moursy, 2001).

Para el caso de los camales de cerdo, su producción genera como residuos; sangre (Ruiz & Veca, 1993) ; rumen que es el contenido de los estómagos del ganado vacuno junto

con la sangre, que son los residuos que produce mayor contaminación; sólidos gruesos que corresponden a restos de carne, piel, huesos, pelos y viseras, que se producen en el despiece son arrastrados con las aguas residuales y aguas residuales que se caracterizan por un alto contenido de nitrógeno, fósforo, sales, ácidos grasos volátiles y aminas principalmente (Bugallo et al., 2014). En ese sentido, las altas concentraciones de materia orgánica, sólidos en suspensión, aceites y grasas, nitrógeno y fósforo de las aguas requieren un adecuado tratamiento para ser vertidos en el alcantarillado.

Actualmente, los camales utilizan tecnologías como la dosificación química, la ósmosis inversa, la digestión anaeróbica, la flotación por aire disuelto y los biorreactores de membrana para tratar sus aguas residuales (Hakizimana et al., 2017). En los últimos años, una serie de estudios han investigado el potencial de incorporar el proceso de electrocoagulación junto o en lugar de las tecnologías de tratamiento más convencionales para tratar estos efluentes residuales (Bazrafshan et al., 2012).

Por lo tanto, el tratamiento por electrocoagulación comparado con el proceso convencional de coagulación/ floculación puede obtener ventajas y puede ser el más adecuado para promover el tratamiento de aguas residuales de los camales (Sandoval & Salazar, 2021) generando aguas limpias y que además cumplan con la normativa vigente reduciendo costos económicos.

## **1.2. Bases teóricas**

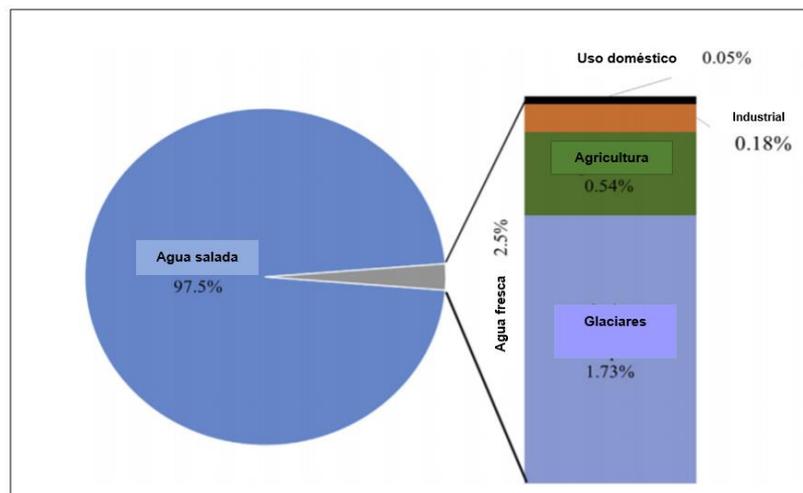
### **1.2.1. Agua**

El agua es un compuesto inagotable y más valioso que nutre la vida y cubre más del 70% en la superficie y solo el 3% del agua es dulce; disponible en estado gaseoso, líquido y sólido con un 0.06 % accesible al ser humano, considerado como el solvente universal y en

el rango de 20 a 25 grados Celsius es inodoro, insípido e incoloro con tendencia a color azul (Hossain, 2015).

El agua es un componente crítico de la economía, ya que está presente en el proceso productivo de numerosos artículos, como productos químicos, medicamentos, ungüentos, champús, agentes embellecedores, limpiadores y también bebidas. La población no podría estar sin beber agua durante más de un par de días, dependiendo de las condiciones del clima, los niveles de movimiento y las diferentes variables, mientras que otros nutrientes pueden ignorarse durante un tiempo bastante largo, incluso meses. Ningún otro nutriente es más básico o se requiere en cantidades tan grandes (Chaplin, 2001). Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2.700 millones de personas no tendrán agua limpia para 2025. Para empeorar las cosas, las enfermedades relacionadas con el agua matan entre 5 y 10 millones de personas al año, en su mayoría niños, en todo el mundo.

Figura 1  
Distribución en porcentajes del agua en el mundo



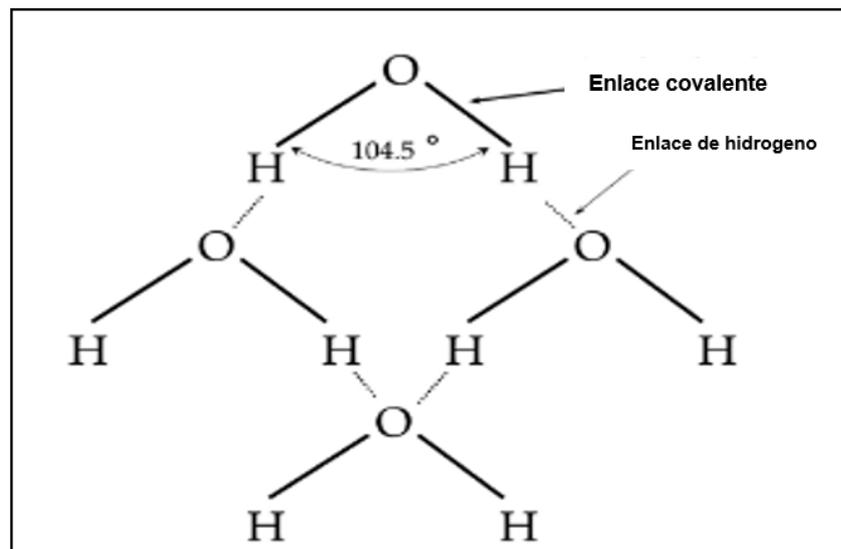
Nota. Adaptado de Sillanpää & Shestakova, (2017)

El agua a condiciones normales de temperatura y presión se encuentra en estado líquido, 2 átomos de hidrogeno que tienen carga positiva y 1 átomo de oxígeno con carga

negativa conforman una molécula de agua dicha composición le convierte en el líquido que más sustancias disuelve (Brusseau et al., 2019; Dodds et al., 2020).

Esta polaridad inducida les permite a las moléculas de agua atraer iones positivos y negativos a los respectivos polos de la molécula. También hace que las moléculas de agua se atraigan entre sí y formen un enlace denominado puente de hidrógeno. Este contribuye a la viscosidad del agua y a la capacidad de disolución del agua para diferentes materiales. Esta naturaleza única del agua la convierte en un conducto fácil para la disolución y el transporte de una gran cantidad de contaminantes. Debido a que muchos materiales se disuelven completamente en agua, su eliminación a menudo es difícil (Brusseau et al., 2019).

**Figura 2**  
*Moléculas de Agua*



*Nota.* Extraído de Dodds et al., (2020).

Los recursos hídricos son de una parte muy crítica tanto para los ecosistemas naturales como para el desarrollo humano. La calidad del agua en cualquier ecosistema brinda información relevante sobre el estado de la flora y fauna del ecosistema. La buena calidad de los recursos hídricos depende de una gran cantidad de parámetros físicos,

químicos y de características biológicas. La gran mayoría de estos parámetros en el Perú están estipulados en los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA). El desarrollo de un adecuado ecosistema debe de contar con un buen estado de los parámetros biológicos y físico-químico del agua como se detallan a continuación (Li & Liu, 2019).

### **1.2.1.1. Parámetros Físicos**

#### **a. Turbiedad**

La turbidez es una medida de la presencia de partículas en suspensión en el agua perdiendo su transparencia. Es causada por partículas en suspensión como microorganismos, materia inorgánica. El hábitat de organismos acuáticos podrían ser vulnerados por elevadas concentraciones de partículas en suspensión. La turbidez excesiva está relacionada a una posible contaminación microbiológica, la cual generalmente es de origen antropogénico (Brasington & Richards, 2000).

#### **b. Temperatura**

La temperatura ( $T^{\circ}$ ) del agua puede afectar muchos aspectos críticos del ecosistema acuático como la distribución espacial de los peces, el crecimiento microbiano, la salinidad y el oxígeno disuelto (OD) lo cual generaría efectos nocivos a la vida acuática. La temperatura también influye en la tasa de fotosíntesis de algas y plantas acuáticas. Las actividades humanas que afectan la temperatura del agua incluyen la descarga de efluentes domésticos e industriales, la agricultura y las actividades relacionadas al proceso de tala de árboles (Terzi & Verep, 2012).

#### **c. Sólidos suspendidos totales**

Los sólidos suspendidos totales (SST) generalmente se definen como partículas en agua mayores de 0.005 mm. Estas partículas son arrastradas en dirección del flujo de agua y

precipitan cuando el flujo es insuficiente para mantenerlas en suspensión. El agua con alto contenido de sólidos en suspensión puede ser estéticamente insatisfactoria para el uso diario, incluido el baño. Una alta presencia de SST también evita que la luz solar penetre en el agua lo cual afecta a las plantas en el medio acuático ya que no pueden realizar la fotosíntesis (Boman et al., 2002).

### **1.2.1.2. Parámetros Químicos**

#### **a. pH**

El pH es un indicador importante para determinar la calidad del agua, muchos procesos biológicos en sistemas acuáticos depende de este parámetro que toma valores desde 0.0 a 14.0, valores menores a 7 indican presencia de iones hidrogeno (solución ácida), el valor de 7 indica solución neutra y valores mayores a 7 indican presencia de iones hidroxilo (solución básica o alcalina) (Li et al., 2019)

Las aguas naturales generalmente presentan valores de pH en el rango de 4 a 9, y la gran mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos provenientes del lavado de rocas calizas, aumentando de forma natural el pH de estas aguas, ya que hidroliza parcialmente al agua liberando iones hidroxilo. Por otro lado, un pH bajo ( $\text{pH} < 4$ ) puede ser dañino para los organismos acuáticos, afectando las funciones fisiológicas del ecosistema acuática a través de la reducción de la actividad y efectividad de las enzimas (Mosley et al., 2015).

#### **b. Conductividad eléctrica**

Es la capacidad de una solución acuosa que permite el paso de la corriente eléctrica sobre él, directamente está representado por la concentración de iones en la solución permitiendo medir indirectamente los parámetros como los sólidos disueltos totales (SDT)

y la salinidad, los compuestos orgánico en general no son conductores de la electricidad caso contrario a los compuestos inorgánicos (Crescentini et al., 2011).

Medir la conductividad eléctrica proporcionará una buena información sobre el estado de las aguas naturales con respecto a la idoneidad del agua tanto para la vida acuática como para la bebida. La conductividad se mide normalmente en microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Li et al., 2019).

**c. Demanda bioquímica de oxígeno**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) también llamada demanda biológica de oxígeno es la cantidad de oxígeno disuelto que los microorganismos aeróbicos necesitan para la descomposición del material orgánico presente en una muestra de agua a cierta temperatura y durante un período de tiempo específico (Kaiser, 1998).

**d. Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto (OD) se refiere a la cantidad de oxígeno gaseoso libre presente en el agua u otros líquidos. Es un parámetro importante para poder evaluar la calidad del agua debido a su influencia en los organismos que viven dentro de un cuerpo de agua (Nilesh V. Gandhare et al., 2015). El OD es esencial para la supervivencia de la flora y fauna acuática y es un indicador importante de contaminación y / o eutrofización en los sistemas acuáticos. La solubilidad del oxígeno eta relacionado directamente con la temperatura y salinidad del agua. El agua en equilibrio con el aire normalmente está saturada de oxígeno y el OD puede expresarse como % de saturación o en términos de concentración como  $\text{mg}/\text{L}$  de  $\text{O}_2$  (Li et al., 2019).

La eutrofización es el aumento de los productores primarios (fotosíntesis) en un cuerpo de agua debido a una mayor disponibilidad o uso de nutrientes. Es uno de los

problemas más comunes que afecta la calidad del agua en sistemas acuáticos en todo el mundo (Li et al., 2019).

#### **e. Demanda química de oxígeno**

La demanda química de oxígeno (DQO) mide el grado de contaminación en aguas superficiales y residuales como las sales ferrosas, sulfuros, orgánicos, nitritos, entre otros, que son susceptibles a ser oxidados por medios químicos, es expresado en miligramos de oxígeno consumido sobre el volumen de la solución en litros (mg/L) (Li et al., 2019).

#### **1.2.2. Clasificación de contaminantes del agua**

El agua dulce es consumida por muchos sectores de la vida de las personas, como el procesamiento, transporte y extracción de energía, para riego de cultivos, para ganado, uso doméstico, salud, ecosistemas, minería y producción de bienes y servicios. El agua industrial y doméstica gastada no puede devolverse directamente al medio ambiente ni devolverse a un ciclo tecnológico porque está contaminada con impurezas mecánicas y contaminantes orgánicos e inorgánicos (Sillanpää & Shestakova, 2017).

La calidad de las aguas naturales está íntimamente ligada al estado del suelo, clima y actividades humanas. La contaminación del agua puede ser determinada por cualquier cambio en las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua en los cuerpos de agua causado por la entrada de compuestos líquidos, sólidos y gaseosos que ponen en peligro la biota acuática, la salud y la seguridad pública y conducen al detrimento de la economía nacional. Existen las siguientes formas de cambiar la calidad natural del agua:

Descarga directa de aguas residuales industriales y municipales a cuerpos de agua y fuentes de agua subterránea (incluida la actividad minera, derrames de camiones cisterna y

plataformas petrolíferas, fugas de líneas de alcantarillado, rafting de madera y descargas del transporte por agua y ferrocarril.

Escorrentías superficiales causadas por precipitaciones (incluidas las escorrentías de vertederos y campos agrícolas);

Todos los contaminantes del agua se pueden dividir en pocas categorías según su origen, naturaleza, tamaño, toxicidad, etc. La clasificación por fuente divide los contaminantes en antropogénicos o naturales. Los contaminantes antropogénicos son causados por actividades industriales, agrícolas, mineras, domésticas y de tráfico. La formación de contaminantes naturales es causada por procesos geológicos como la actividad de los volcanes, depósitos epitermales, lixiviación de contaminantes de rocas y suelos, y productos de descomposición de la descomposición biológica de materiales vegetales y animales muertos. Dependiendo de la naturaleza, los contaminantes se pueden clasificar en compuestos orgánicos e inorgánicos, patógenos y contaminación térmica y radiactiva.

### **1.2.3. Características de los efluentes de un matadero**

Los efluentes de un matadero están directamente relacionado al animal en sacrificio como puede ser aves de corral, cerdo, caballos y vacas cuyo proceso empieza con el sacrificio, sangrado, evisceración y refrigeración.

#### **1.2.3.1. Descripción del proceso**

Recepción y estabulación del animal: Se procede con un tiempo de retención con el ganado vivo de 12 h en los establecimientos del camal (Ruiz & Veca, 1993), el objetivo es obtener una buena calidad de carne el cual se logra con la regulación de la adrenalina de los animales. En el caso de los ganados se les aturde con anestesia y posteriormente se les

cuelgan (Bugallo et al., 2014) y en las aves de corral se le aplica descargas eléctricas en la parte de la cabeza.

**Sacrificio y despiece:** En los casos de los cerdos y ganados al cortarles los vasos del cuello se les extrae la sangre y se le direcciona a un canal y en el caso de las aves de corral se realiza cortes en la yugular y la sangre se reutiliza, ya muerto el animal se le arranca la piel o plumas (Ruiz & Veca, 1993)

**Lavado de viseras:** se lava la molleja, hígado, intestinos, corazón entre otros y se extrae los residuos de los estómagos.

### **1.2.3.2. Residuos generados en el proceso**

**Residuos de los establos:** Son residuos fundamentalmente sólidos que contienen excrementos, orina estiércol, paja.

**Sangre:** Es la causa de la mayor contaminación producida, aportando una DQO total de 375000 mg/L (Ruiz & Veca, 1993). Por lo tanto, su recuperación en tanques separados es la más importante de las medidas internas para reducir la contaminación (orgánica); además, esta sangre puede ser aprovechada en otras instalaciones.

**Rumen:** Es el contenido de los estómagos del ganado vacuno junto con la sangre, son los residuos que produce mayor contaminación. La mayor parte es lignocelulosa, mucosas y fermentos digestivos. También tiene un alto contenido en microorganismos patógenos, por lo que no puede ser utilizado sin un tratamiento previo. Por su alto contenido de sólidos generalmente se recoge separadamente y se prensa para reducir su volumen y tratarlo a parte de la corriente líquida.

**Aguas Residuales:** Entre 80-95% del agua utilizada en el proceso se libera en forma de aguas residuales. Se caracterizan por su alta carga orgánica (debido a la presencia de sangre, grasa o suspensión), alta temperatura y alto contenido de nitrógeno, fósforo, sales, ácidos grasos volátiles y aminas principalmente (Bugallo et al., 2014). También contiene hidratos de carbono como glucosa o celulosa y pueden detener detergentes y desinfectantes procedentes de aguas de limpieza. Desde el punto de vista microbiológico hay que tener en cuenta el contenido de patógenos. La carga orgánica de estas aguas residuales considerando que exista retirada de sangre y rumen oscila entre 1000 y 6000 mg DQO/L (Ruiz & Veca, 1993). Las variaciones, en este caso, son debidas a la eficacia de los sistemas de separación y a la cantidad de ganado sacrificado.

**Sólidos gruesos:** Restos de carne, piel, huesos, pelos y viseras, que se producen en el despiece son arrastrados con las aguas residuales. Estos sólidos gruesos se retiran de la corriente líquida mediante rejillas antes de proceder a cualquier tipo de tratamiento.

Como se muestra, los efluentes del matadero se caracterizan por altas concentraciones de materia orgánica, sólidos en suspensión, aceites y grasas, nitrógeno y fósforo. La sangre, las heces y la grasa son las principales fuentes de materias orgánicas y nutrientes (Barana et al., 2013).

#### **1.2.4. Métodos de tratamiento de aguas**

Los métodos de tratamiento de aguas residuales se pueden dividir en métodos mecánicos, químicos, físico-químicos, biológicos y combinados en el caso de que se utilicen conjuntamente unos pocos métodos (Sillanpää & Shestakova, 2017) .

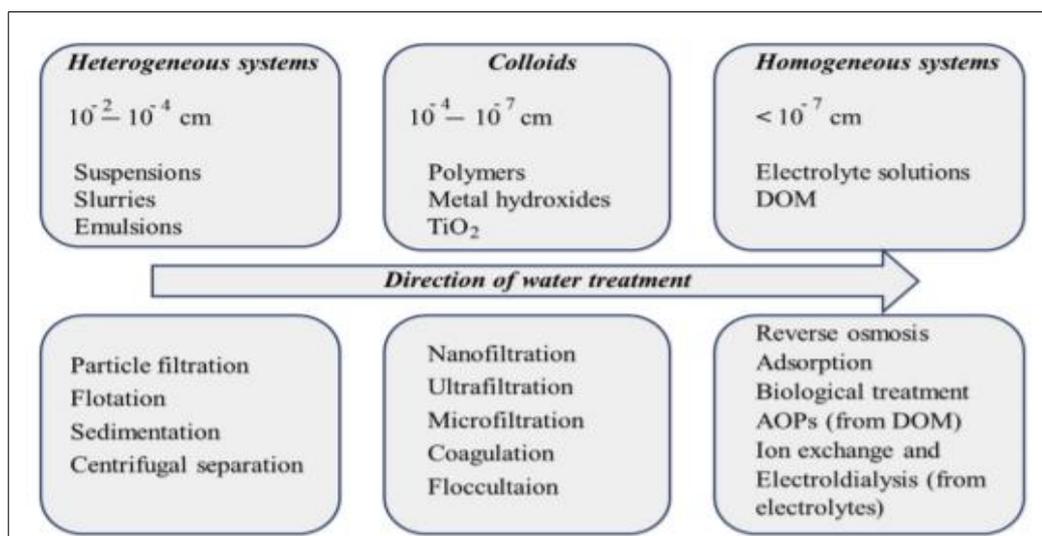
El uso de un método particular en un caso particular depende de la naturaleza de los contaminantes y su grado de peligro. El tratamiento químico se caracteriza por la adición de

reactivos químicos, que reaccionan con los contaminantes y en la mayoría de los métodos precipitan en forma de precipitados insolubles. Puede usarse como pretratamiento, tratamiento primario o tratamiento secundario. Los métodos químicos de tratamiento de aguas residuales incluyen neutralización, oxidación y reducción. Los métodos fisicoquímicos de tratamiento de aguas residuales eliminan las impurezas inorgánicas finamente dispersas y disueltas, descomponen materia orgánica y compuestos recalcitrantes, recuperan metales, etc. Coagulación, flotación, cristalización, tratamiento electroquímico, sorción, extracción, ultrasonido (Sillanpää & Shestakova, 2017), y el intercambio iónico son los métodos fisicoquímicos más difundidos.

El tratamiento biológico es el método de tratamiento principal y elimina los nutrientes disueltos como el nitrógeno y el fósforo y los contaminantes orgánicos mediante el uso de microorganismos (bacterias y protozoos) o lombrices de tierra, que se denominan lodos activados o biofilm. Como resultado del tratamiento, el contenido de DQO y DBO del agua disminuye. En el tratamiento se pueden utilizar microorganismos tanto aeróbicos como anaeróbicos. Desde un punto de vista técnico, existen varios métodos de tratamiento biológico. De momento se activan los principales lodos (tanques de aireación), biofiltros, tanques de digestión, biorreactores de membrana y humedales artificiales.

### **Figura 3**

*Clasificación de contaminantes del agua por partícula de tamaño y los principales métodos de tratamiento dependiendo del tamaño de partícula.*



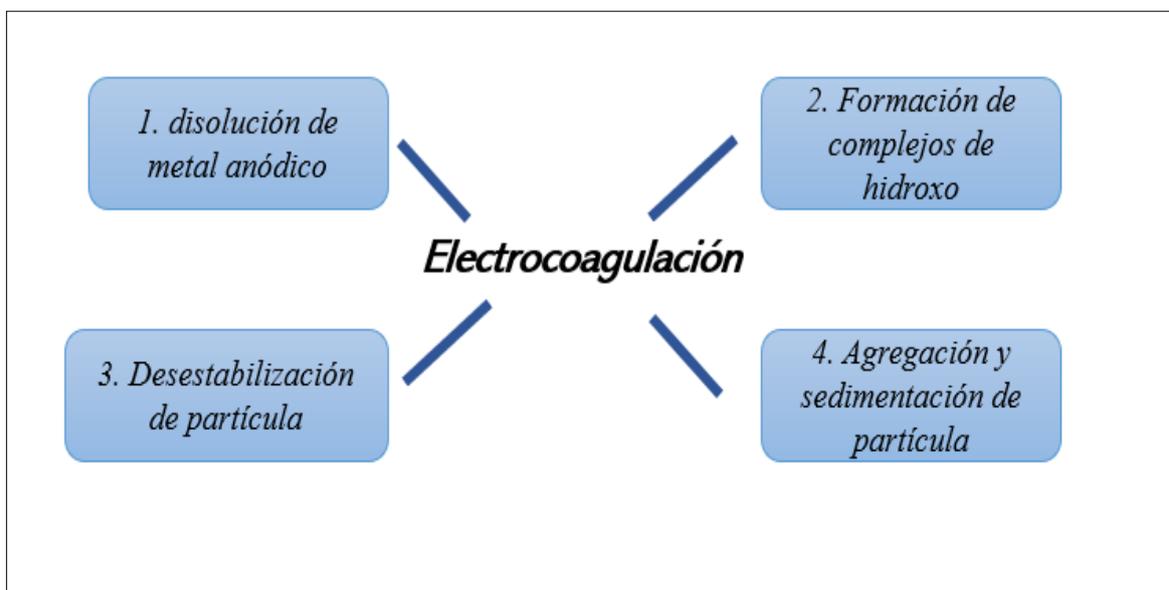
Nota. Extraído de Sillanpää & Shestakova, (2017)

### 1.2.5. Electrocoagulación

La electrocoagulación se basa en el proceso fisicoquímico de coagulación de sistemas coloidales bajo la acción de una corriente eléctrica continua. Mientras se realiza la electrólisis de aguas residuales con ánodos de acero o aluminio, tiene lugar la disolución electroquímica del metal anódico. Los cationes disueltos de aluminio y hierro se hidrolizan y actúan como coagulantes, que inician la adhesión y fusión de las partículas. En general, la coagulación significa la pérdida de estabilidad agregada en sistemas dispersos que conduce a la separación de fases. Se puede eliminar una amplia gama de contaminantes del agua mediante electrocoagulación (Sillanpää & Shestakova, 2017).

proceso. Son microorganismos patógenos, cianobacterias, contaminantes orgánicos, arcillas y otros coloides inorgánicos, la mayoría de los cuales están cargados negativamente. En este sentido, la adición de cationes cargados positivamente puede neutralizar y desestabilizar los coloides obligándolos a coagularse. El mecanismo simplificado de electrocoagulación se muestra en la Figura 4.

**Figura 4.**  
*Principales pasos en el proceso de la electrocoagulación*

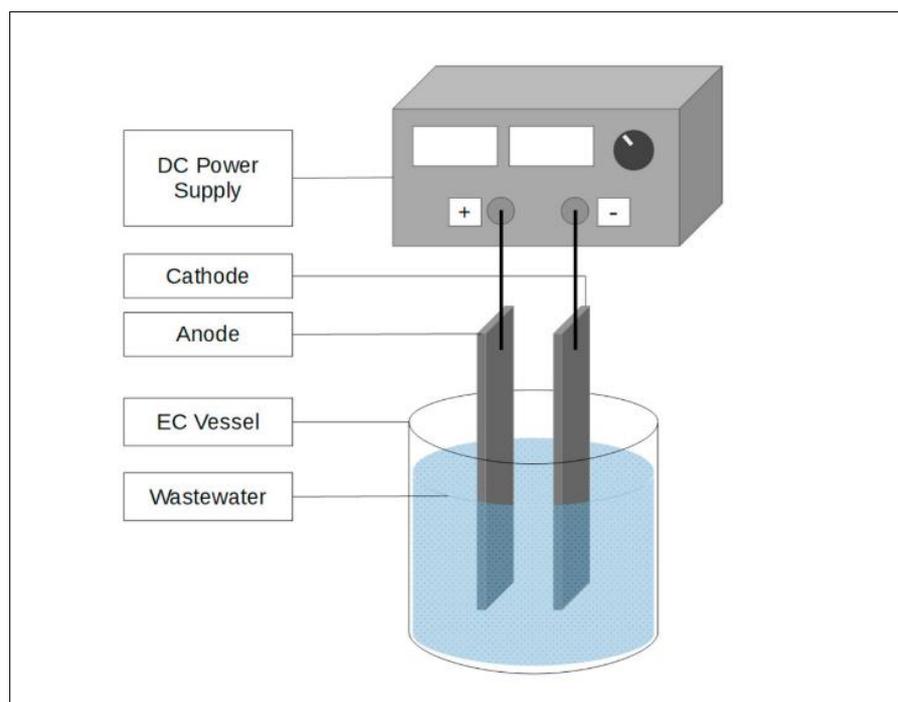


Nota: Extraído de *Sillanpää & Shestakova, (2017)*

Por lo general, un equipo de electrocoagulación consta de electrodos de cátodo y ánodo alimentados por corriente continua, que están parcialmente sumergidos en un tanque que contiene una solución contaminada (Figura 5). Estos electrodos pueden variar en forma, tamaño y número, pero a menudo se utilizan placas de forma rectangular (Hakizimana et al., 2017).

Los metales más comunes utilizados para fabricar electrodos en un electrocoagulador son de aluminio y hierro porque son rentables, están ampliamente disponibles y no son peligrosos (Tirado et al., 2018). El sistema de electrocoagulación se puede operar en modo discontinuo o continuo, ya sea tratando un volumen fijo de efluentes residuales por ciclo de proceso o mediante el tratamiento de un flujo continuo de la corriente residual.

**Figura 5**  
*Partes de un sistema de electrocoagulación*



*Nota:* Extraído de Reilly et al., (2019)

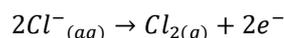
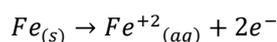
La electrólisis se utiliza en la electrocoagulación para provocar la disolución del ánodo metálico (de sacrificio) en las aguas residuales. El flujo de iones metálicos del ánodo de sacrificio actúa como agente coagulante para unir contaminantes. Una vez en solución,  $Al_3^+$  y Los iones  $Fe_2^+$  reaccionarán con los grupos  $OH^-$  para formar hidróxidos, que se unen a los contaminantes por complejación o atracción electrostática (Thirugnanasambandham et al., 2014).

A menudo, la dispersión del coagulante es ayudada por una breve ráfaga de agitación mecánica rápida, como el caso de agitadores magnéticos. Una vez que los contaminantes se han unido, el aumento resultante en su tamaño de partícula permite el uso de tecnología de filtración o sedimentación de bajo costo para eliminar los sólidos coagulados, lo que permite la posterior recuperación de agua limpia. Además de la disolución de los iones metálicos, se

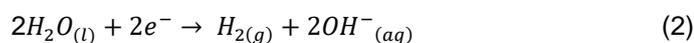
produce gas  $H_2$  en el cátodo y la presencia de iones  $Cl^-$  en una corriente residual puede dar lugar a la formación de burbujas gaseosas de  $Cl_2$  en el ánodo (Hakizimana et al., 2017).

La liberación de burbujas de gas en la celda de EC ayuda con el proceso de tratamiento al proporcionar flotabilidad a algunos contaminantes coagulados, lo que hace que floten hacia la superficie, de donde pueden desprenderse (Torres-Sánchez et al., 2014). Se representan las reacciones químicas clave que ocurren en el ánodo y el cátodo cuando se usan electrodos de Al y Fe. por las siguientes ecuaciones (Hakizimana et al., 2017).

En el ánodo:



En el cátodo:



Así mismo, los sistemas de electrocoagulación poseen aspectos positivos y negativos en el tratamiento de las aguas residuales, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1**

Efectos positivos y negativos de un sistema de electrocoagulación

<b>Positivos</b>	<b>Negativos</b>
<b>Bajo requerimiento de energía</b>	Reemplazo regular de ánodos y cátodos
<b>Bajo requerimiento de energía</b>	Requiere una fuente de electricidad
<b>Sin requerimiento de químicos peligrosos</b>	El ensuciamiento o pasivación de las placas de electrodos puede causar ineficacia en el proceso

---

**Bajo riesgo de contaminación secundario**

---

**Bajo costo de capital**

---

**Bajo costo operativo**

---

**Puede eliminar gran cantidad de contaminantes**

---

Nota: Extraído de *Reilly et al., (2019)*

### **1.2.6. Coagulación/Floculación**

La coagulación y la floculación son procesos muy conocidos en el tratamiento de las aguas residuales. De hecho, son procesos importantes en diversas disciplinas, pero especialmente en el tratamiento de aguas residuales. Esta tecnología puede ser utilizada en un proceso inicial o intermedio durante el tratamiento de aguas residuales. Son dos procesos distintos, pero siempre se utilizan de manera simultánea para el tratamiento de aguas residuales (Adam et al., 2019).

#### **1.2.6.1. Coagulación**

La coagulación consiste en desestabilizar las partículas en suspensión (coloides), a través de coagulantes químicos, alterando su carga eléctrica y produciéndose la neutralización de las fuerzas que las tiene separadas para su posterior formación de flóculos. Esta tecnología es muy eficaz en el tratamiento de aguas residuales, pero también si la dosis del coagulante está mal calculada puede producir alteraciones a la calidad del agua (Adam et al. 2019; Hunter 2002; Shammass et al., 2005).

#### **1.2.6.2. Mecanismos de coagulación**

Se produce por desestabilizar químicamente a las partículas coloidales por medio de reacciones de tipo fisicoquímicas entre la superficie de las partículas, coagulantes y la alcalinidad del medio (Hunter, 2002).

**a. Compresión de doble capa**

Cuando se agrega un coagulante en una solución que presenta partículas coloidales, los iones del coagulante que presentan carga opuesta a la de los coloides penetran la doble capa difusa que rodea a las partículas, haciéndola más densa y, por lo tanto, más delgada y de menor volumen además se forman dos tipos de capas que dependen si la unión entre los iones del coagulante con las partículas coloidales es fuerte se produce una capa adherida o comprimida y si es débil una capa difusa, esas capas conlleva a que la solución y la superficie de la partícula se produzca un potencial electrostático conocido también como el potencial Zeta. La adicción de iones divalentes o trivalentes dará como resultado una disminución más rápida y pronunciada de la doble capa. La neutralización de cargas permitirá que las partículas se aglutinen entre sí y se aglomeren (Hunter 2002).

**b. Adsorción y neutralización de carga**

La absorción y neutralización de una carga es la capacidad de una sustancia química (Coagulante) para desestabilizar partículas coloidales presentes en un medio acuoso. Las aminas orgánicas de cadena larga ( $R-NH_3^+$ ) son frecuentemente utilizadas como coagulantes, ya que la carga sobre las partículas coloidales se neutraliza y la repulsión electrostática se debilita o se elimina, lo que conlleva a una desestabilización del coloide y, por lo tanto, su aglomeración. La sobredosis de iones ( $R-NH_3^+$ ) podría conducir a una inversión de carga del medio de negativa a positiva y la re estabilización del sistema coloidal (Hunter 2002).

**c. Atrapamiento de partículas en el precipitado**

Al adicionar coagulantes como el alumbre [ $Al_2(SO_4)_3$ ] o cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) en concentraciones optimas, estos reaccionan con los hidróxidos ( $OH^-$ ) para formar

precipitados de hidróxido metálico,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  o  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  respectivamente. Las partículas coloidales quedan atrapadas en los precipitados de hidróxido metálico durante el proceso de formación del precipitado o justo después. Este tipo de coagulación por enredamiento de coloides en precipitados es conocido como coagulación de barrido esto podría conllevar a que las partículas coloidales requieran una menor dosis del coagulante (Hunter 2002).

#### **d. Adsorción y puente entre partículas**

Cuando se utilizan polímeros como coagulantes, estos desestabilizan las partículas coloidales por medio de la formación de puentes que se extienden entre ellos. Los polímeros contienen grupos químicos en todas sus ramificaciones de tal forma que una partícula coloidal es atrapada en unas extremidades, mientras que los otros extremos están libres para atrapar otras partículas coloidales. Si el polímero llega a absorber alguna partícula coloidal o si hay una sobredosis del polímero, las ramificaciones libres del polímero se podrían envolver alrededor de una misma articulación cual conllevaría a la re-estabilización del coloide. La re-estabilización también podría ocurrir por una agitación prolongada o mezcla agresiva, que puede quebrar el puente entre las partículas (Hunter 2002).

#### **1.2.6.3. Factores que influyen en la coagulación**

Con el propósito de optimizar el proceso de coagulación se debe de tomar en cuenta aquellos factores que intervienen en dicho proceso.

##### **a. Concentración coloide**

La concentración coloidal tiene una importancia tanto en la dosis requerida de coagulante como en la eficiencia del proceso de coagulación en sí. La dosis requerida para la desestabilización de una dispersión coloidal está relacionada estequiométricamente con la concentración de partículas coloidales presentes en la solución (Shammas et al., 2005). Sin

embargo, para los sistemas coloidales que se encuentran en mayoría diluidos, la velocidad de coagulación es muy lenta debida al menor número de coloides en suspensión y, por lo tanto, no hay suficiente interacción entre las partículas. En estas condiciones, aumentar la dosis del coagulante a una suspensión coloidal diluida mejoraría la velocidad de coagulación (Hunter, 2002).

#### **b. Dosis de coagulante**

Actualmente se han estudiado y evaluado con gran detalle el efecto de la dosificación del coagulante de aluminio y hierro sobre la coagulación, medida por el grado de barrido de las partículas coloidales que causan turbidez en el agua. Según Shammass et al. (2005) ,el proceso está dividido en cuatro zonas, empezando con la primera zona que utiliza una de dosis baja y va aumentando la dosis progresivamente hasta la dosis más alta que se aplica en la cuarta zona:

- Zona 1: No hay suficiente coagulante presente en el sistema coloidal para la desestabilización.
- Zona 2: Se ha agregado suficiente coagulante para que se dé lugar a la desestabilización.
- Zona 3: El exceso de coagulante puede provocar la inversión de carga y la re-estabilización de partículas.
- Zona 4: La sobresaturación con precipitado de hidróxido metálico atrapa las partículas coloidales y produce una coagulación de barrido muy efectiva.

El rango de dosificación del coagulante que desencadenará la eliminación de las partículas coloidales dependerá de la concentración de partículas coloidales y el valor del pH. Cuando la dosis del coagulante se da en exceso, se produce la reestabilización del sistema coloidal; invirtiéndose las cargas de las partículas respecto al original.

**c. Potencial zeta**

La potencial zeta describe la carga neta de las partículas coloidales. En consecuencia, cuanto la potencial zeta es más intenso, mayor es la magnitud de la fuerza de repulsión entre las partículas coloidales y, por lo tanto, más estable es el sistema coloidal. La magnitud del potencial zeta se determinará en función de la medición electroforética de la movilidad de partículas en un campo eléctrico (Hunter 2002; Lee 2019; Shammass et al., 2005).

**d. Afinidad de coloides por agua**

Los coloides hidrofílicos son muy estables y, por lo tanto, muy difíciles de precipitar en un sistema coloidal. Debido a sus grupos polares que interaccionan fuertemente con las moléculas de agua, los productos químicos (coagulantes) no pueden reemplazar fácilmente las moléculas de agua adheridas y, en consecuencia, son difíciles de coagular y eliminar de la suspensión. La estabilidad de las partículas coloidales hidrofílicas depende más de su afinidad por el agua que de su carga electrostática. Se estima que los sistemas coloidales que contienen tales partículas requieren de 10 a 20 veces más coagulante de lo que normalmente se necesita para desestabilizar las partículas hidrofóbicas. Por otro lado, Las partículas hidrofóbicas son más fáciles desestabilizarse y precipitar. Generalmente en un sistema coloidal el agua turbia exhibe propiedades hidrofóbicas-hidrofílicas (Hunter 2002; Lee 2019; Shammass et al., 2005)

**e. Valor de pH**

El pH es el factor más importante en el proceso de coagulación, ya que la solubilidad de las partículas coloidales se ve afectado radicalmente por el cambio de pH, para cada tipo de agua a tratar existe un rango de pH óptimo para que la coagulación sea eficaz. En el caso

el pH del agua no está dentro del rango se procede a subir la dosis del coagulante (Hunter 2002; Lee 2019; Shammas et al., 2005).

#### **f. Aniones en solución**

El uso de coagulantes para la formación de aniones en una solución cumple una función muy importante que es la desestabilización de las partículas coloidales en el proceso de coagulación. Sin embargo, Una mala dosificación del coagulante podría generar una inversión de la carga y la reestabilización de los coloides(Hunter 2002; Lee 2019; Shammas et al., 2005).

#### **g. Cationes en Solución**

La presencia de cationes algunos divalentes, como  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , en una solución coloidal se considera no solo útil en el proceso de coagulación de las partículas coloidal, sino también necesaria. Según (Shammas et al., 2005), se han sugerido tres razones para estar detrás de este efecto beneficioso:

- Compresión de la doble capa coloidal.
- Reducción de la carga negativa coloidal y minimización del potencial repulsivo.
- Reducción en el rango de barrera repulsiva entre polímeros adsorbidos.

#### **h. Temperatura**

La influencia de las bajas temperaturas en el proceso de coagulación por sales metálicas se ve afectada negativamente, debido a que se incrementa la viscosidad de la solución anulando el transporte de las partículas. En algunos coagulantes como el alumbre  $[\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3]$ , el efecto de la temperatura es más pronunciado, de ahí la recomendación de cambiar a sales de hierro cuando se trabaja a bajas temperaturas(Hunter 2002; Lee 2019; Shammas at al., 2005).Según (Shammas et al.,2005),las altas temperatura contribuyen a un

aumento en la velocidad y efectividad de la coagulación, esto se puede justificar con lo siguiente:

- Aumento de la velocidad de las moléculas y, por lo tanto, de la energía cinética.
- Aumento de la velocidad de las reacciones químicas.
- Disminución del tiempo de formación de flóculos.
- Disminución de la viscosidad del agua.
- Alteración en la estructura de los flóculos que resulta en una mayor aglomeración.

#### **1.2.6.4. Floculación**

Culminado el proceso de la coagulación prosigue la floculación que consiste en una mezcla lenta del producto final de la coagulación produciéndose la aglomeración de los flóculos logrando aumentar en peso y tamaño para precipitar con facilidad (Adam et al. 2019; Hunter 2002; Shammam et al.,2005).

#### **1.2.7. Tipos de coagulantes**

Entre los tipos de coagulantes que son utilizados en el tratamiento del agua, se tienen los siguientes:

##### **1.2.7.1. Coagulantes Inorgánicos**

Por muchos años y también en actualidad se utiliza coagulantes de sales metálicas como el sulfato férrico [ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ], sulfato de aluminio [ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ], cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) y sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), uno de los motivos a su utilización es que son efectivos y el bajo costo. El funcionamiento de esta sal comienza cuando las sales reaccionan formándose hidróxidos de hierro o aluminio siendo de naturaleza insolubles logrando formar precipitados, unas de las desventajas en su uso radican en la disposición final de los fangos por la presencia de metales que pueden causar daño a los seres humanos y al medio ambiente (Julen Yanguas Sáenz, 2016).

### **1.2.7.2. Coagulantes Orgánicos**

Los coagulantes orgánicos están constituidos por polímeros de consistencia líquida presentando alta eficiencia además la alteración del pH y la conductividad es mínima (Julen Yanguas Sáenz, 2016).

#### **a. Coagulantes naturales**

Los coagulantes naturales tienen el mismo principio que los coagulantes sintéticos, proviniendo de restos vegetales o animales logrando obtener una efectividad igual o mayor a los de origen sintéticos además cuentan con propiedades antimicrobianas que destruyen microorganismos patógenos, su característica natural permite ser biodegradable (Julen Yanguas Sáenz, 2016) y los lodos que se forman al finalizar el proceso pueden ser aplicables en el sector agricultura por la ausencia de metales en los coagulantes además se obtienen menores volúmenes de lodos (Julen Yanguas Sáenz, 2016).

### **1.2.8. Ensayo de prueba de Jarras**

Esta prueba es un procedimiento a escala de laboratorio que simula una planta de tratamiento de aguas o aguas residuales para proporcionar información útil para la coagulación-floculación. Permitiendo determinar tipo y dosificación del coagulante y valores como el pH óptimo, tiempo de sedimentación y velocidad de agitación, para que de esa forma se determine y se aplique la dosis óptima en el tratamiento con coagulante. Las condiciones óptimas se miden en términos de una mayor calidad del agua (Teng et al., 2014).

El procedimiento consiste medir los parámetros iniciales de la muestra de agua para luego colocarlos en los vasos precipitados y luego añadir diferentes concentraciones de coagulante y ser sometidos a dos tipos de agitaciones la rápida (homogenización) y lenta

(formar flóculos) y luego el reposo. Al finalizar se analiza las muestras y compararlas con las iniciales..

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema General**

En qué medida el tratamiento de electrocoagulación respecto al proceso de coagulación/ floculación tendrá una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes de las aguas residuales del camal Conchucos, Lima, 2021.

#### **1.3.2. Problema Específicos**

-¿Cuáles serán las características del agua residual del camal de Conchucos?

-¿Cuáles serán los arreglos óptimos en los parámetros de operación del tratamiento de electrocoagulación y el tratamiento de coagulación/floculación para la mayor remoción de %DQO del agua residual del camal de Conchucos?

-¿En qué medida los tratamientos cumplen con los valores máximos admisibles (VMA) en los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub> y aceites y grasas (A&G) para la descarga al sistema de alcantarillado?

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Comparar la eficiencia de remoción de contaminantes mediante el tratamiento de electrocoagulación y el proceso de coagulación/ floculación en las aguas residuales del camal Conchucos, Lima, 2021.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

-Determinar las características físico-químicos del agua residual del camal de Conchucos.

-Determinar los arreglos óptimos en los parámetros de operación del tratamiento de electrocoagulación y el tratamiento de coagulación/floculación para la mayor remoción de %DQO del agua residual del camal de Conchucos.

-Comparar los tratamientos en el cumplimiento de los valores máximos admisibles (VMA) en los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub> y aceites y grasas (A&G) para la descarga al sistema de alcantarillado.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipotesis General**

Comparar la eficiencia de remoción de contaminantes mediante el tratamiento de electrocoagulación y el proceso de coagulación/ floculación en las aguas residuales del camal Conchucos, Lima, 2021.

### **1.5.2. Hipotesis Específicos**

- El agua residual producido en el camal Conchucos no cumplen con los valores máximos admisibles para su vertimiento en la red de alcantarillado.

- Existe algún arreglo óptimo en los parámetros de operación del tratamiento de electrocoagulación y el tratamiento de coagulación/floculación para la mayor remoción de %DQO del agua residual del camal de Conchucos.

- Al menos uno de los tratamientos cumple con los valores máximos admisibles (VMA) en los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub> y aceites y grasas (A&G) para la descarga al sistema de alcantarillado.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1. Población y muestra**

La población de estudio será el total, del agua residual generada por el camal de Conchucos. La muestra se realizó en base a un tipo de muestreo no probabilístico. Siguiendo los lineamientos de muestreo del Institución Nacional de Calidad (INACAL, 2016), se estableció un volumen de muestras considerando los rangos de operación del proceso generador de descarga de aguas residuales de la empresa, en ese sentido, el camal tiene una producción diaria donde su recolección es u sistema de pozos por lo que las muestras se recolectaron directamente.

Se precisa que los caudales de la empresa son variables de acuerdo a la producción diaria por lo que la toma de muestra se recolecto del tanque de almacenamiento de aguas residuales. Para la presente investigación se utilizarán 20 litros de agua residual del matadero del camal de Conchucos.

### **2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

La técnica de investigación usada el la observación experimental (Ñaupas et al., 2014). Los instrumentos de investigación evidencian datos generales, lugar de muestreo, tipo de agua residual, fecha y hora de muestreo, métodos utilizados por el laboratorio para el análisis de los parámetros evaluados y los resultados obtenidos del análisis de la muestra (Tabla 2).

Para la toma de datos se ha generado una ficha de recolección de datos donde se presenta el arreglo experimental y el parámetro medido. Par esta investigación se ha generado 2 fichas de registro de datos, la primera para la toma de muestra de los ensayos de

optimización y la segunda para la toma de muestra de los ensayos de comparación (Anexo

3). En la Tabla 2 se muestra los instrumentos utilizados en la presente investigación

**Tabla 2**

Instrumentos de recolección de datos

<b>Instrumento</b>	<b>Fuente</b>	<b>Resultado</b>
<b>Informe De ensayo</b>	Analytical Laboratory E. I. R. L (ALAB)	Concentración de Parámetros de estudio
<b>Fichas de observación experimental</b>	Elaboración propia	Formato de registro de datos experimentales

El muestreo del agua residual del camal Conchucos se realizó de acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 214.060 2016 Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado (INACAL, 2016). Luego de recolectadas se llevaron al laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. (ALAB) la cual está acreditada por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). En la Tabla 3 se muestra la metodología utilizada por dicho laboratorio para la toma de muestras.

**Tabla 3**

*Metodologías usadas para la parte experimental*

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Año</b>	<b>Unidad</b>
<b>Grasas y Aceites</b>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed Partition-Gravimetric Method	2017	mg/L
<b>Conductividad</b>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23 rd Ed	2017	mS/cm
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-day BOD Test.	2017	mgDBO <sub>5</sub> /L

<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method	2017	mgO <sub>2</sub> /L
<b>pH</b>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. pH Value Electrometric Method.	2017	unidad de pH
<b>Turbidez</b>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 23rd Ed. Turbidity. Nephelometric Method.	2017	NTU
<b>Aceites y grasas</b>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed		

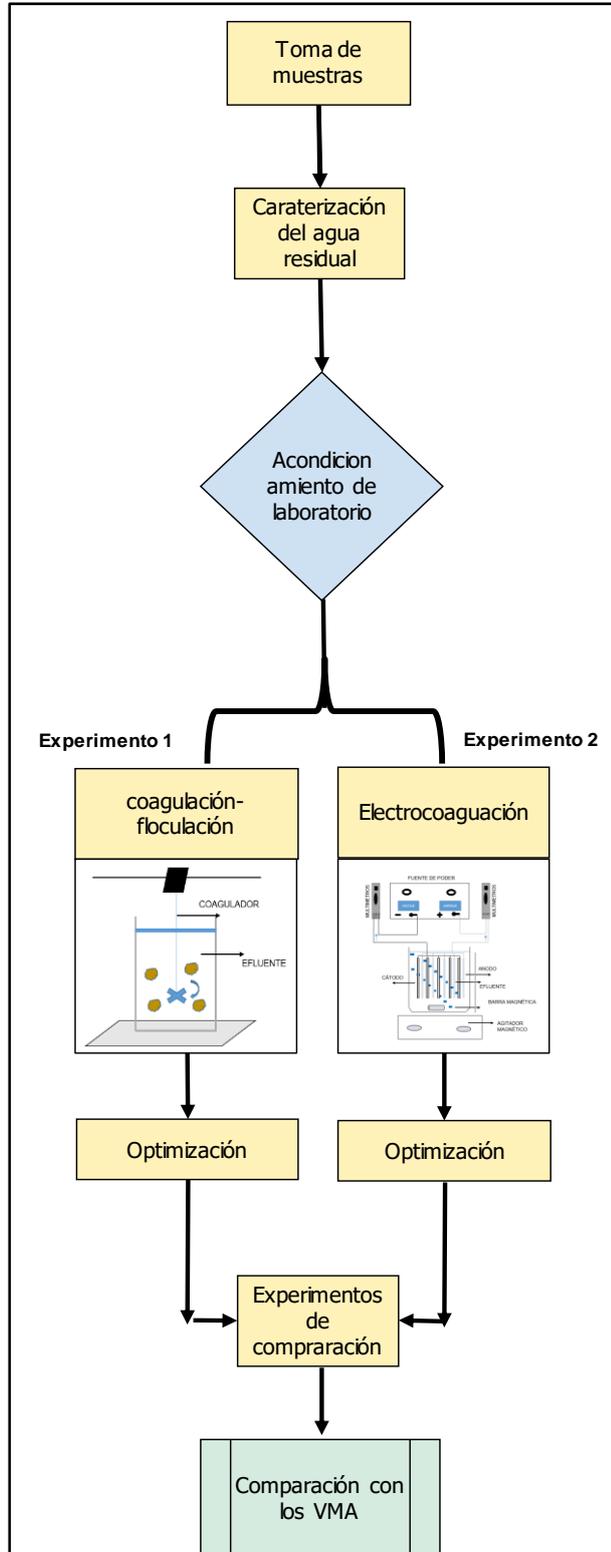
### 2.3. Procedimiento

Para el desarrollo experimental de la investigación se ha desarrollado los procedimientos que se presenta en Figura 6.

Para la caracterización inicial del agua de matadero se realizó durante horarios de operación del camal; en el periodo de Julio a noviembre 2021. Los parámetros analizados fueron la Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg DBO<sub>5</sub>/L), Demanda Química de Oxígeno (mgO<sub>2</sub>/L), Conductividad (mS/cm), pH (unidad de pH), Fósforo Total (mg/L), Aceites y Grasas (mg/L), Turbidez (NTU). La recolección de agua residual se realizó en 3 bidones de 40 L como se muestra en la Figura 7 y fueron trasladados al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional del Callao.

Figura 6

Flujograma de la experimentación



**Figura 7**

*Toma de muestra y recolección del agua residual de mataderos en el camal Conchucos*



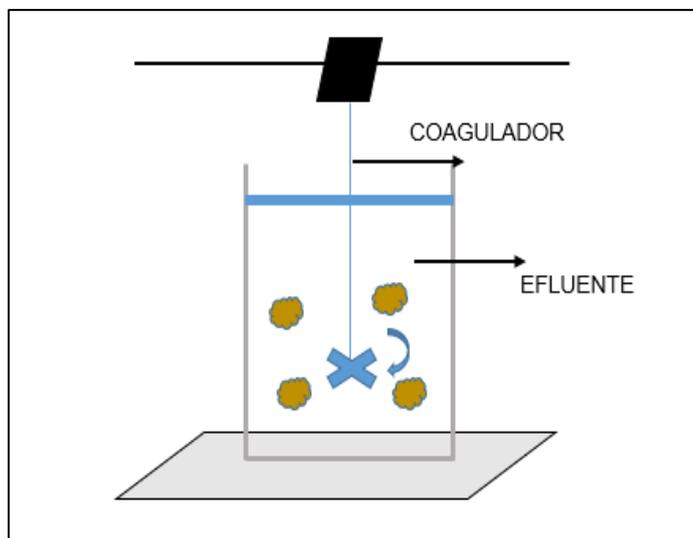
(  
a)



(  
b)

Para la experimentación con el tratamiento de coagulación-floculación se realizó una evaluación para obtener la mayor eficiencia en la remoción del DQO usando en modelo de superficie de respuesta (Figura 8). Se estudió el cambio de los parámetros de la siguiente manera: dosis de coagulante (600 a 1000 mg/L), dosis de floculante (4 a 10 mg/L), velocidad de floculación ((250 a 350 mg/L) y velocidad de coagulación (80 a 100 mg/L) con 2 réplicas, 5 puntos centrales y 6 puntos axiales.

**Figura 8**  
*Modelo del sistema de floculación-coagulación*



Las pruebas de coagulación-floculación se realizó en vasos precipitados de 1 L a través de un equipo de prueba de jarras, como se observa en la Figura 9, en un equipo de prueba de jarras de 6 vasos que cuenta con un regulador de velocidades. Como un punto importante sobre la velocidad de agitación (RPM), el rango propuesto para esta investigación está comprendida entre en 100 rpm a 250 rpm de acuerdo a las mejores eficiencias obtenidas en la investigaciones de Bayar et al., (2011a).

**Figura 9.**

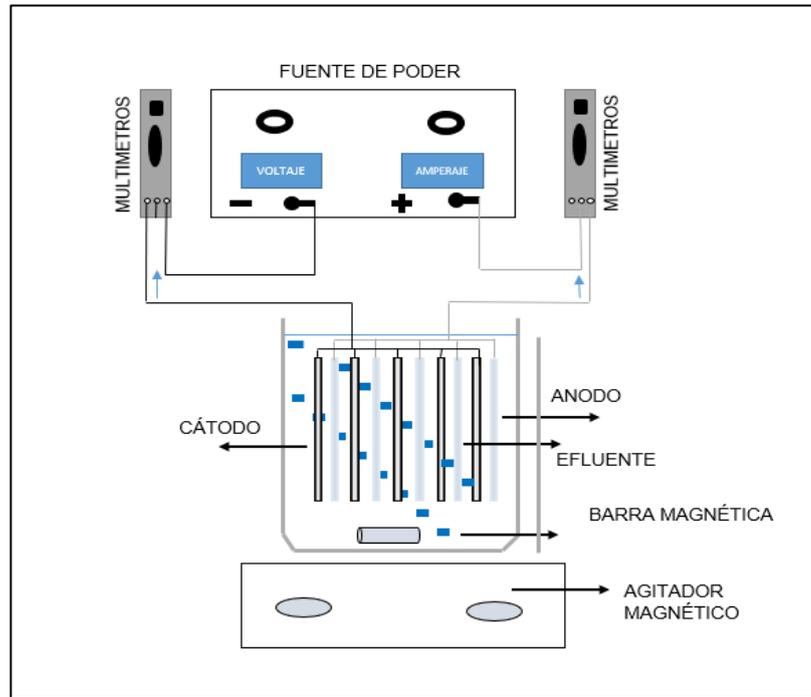
*Pruebas de test de jarras experimentando con el coagulante-floculante*



Para los experimentos en el sistema de electrocoagulación se utilizó una configuración como se muestra en la Figura 10, las placas de aluminio se colocaron verticalmente de acuerdo a la Figura 11. Se acondicionaron 2 placas de aluminio en el reactor electroquímico. Se conectaron a terminales de fuente de alimentación de corriente continua a 30 V de formato constante, mientras que el agitador magnético se agitó en un rango de 250 y 350 RPM.

Para obtener los valores óptimos de cada factor se utilizó un arreglo central compuesto donde cada factor. Se parámetros se estudiaron en los siguientes rangos: Velocidad de agitación (250 y 350 rpm) y Tiempo de agitación (15 y 30 min) con 2 réplicas y 4 punto centrales y 4 puntos axiales. Para este tratamiento se evaluó la optimización en base a la mayor remoción de DQO.

**Figura 10**  
*Esquema del sistema de electrocoagulación*



*Nota.* Adaptado de Bayar et al., (2011).

**Figura 11**  
*Sistema de electroremediación implementado en laboratorio*



Los experimentos comparativos entre el tratamiento de coagulación/floculación y electrocoagulación se optimizaron en función de la remoción del DQO, estas pruebas de optimización nos resultaron con las mejores condiciones de operación de cada tratamiento con la mayor remoción de DQO. Con estos resultados se procedió a realizar experiencia para comparar los tratamientos de la siguiente manera: 1 experimento de coagulación/floculación con replica, 1 experimento de electrocoagulación con replica y un tratamiento secuencial de coagulación/floculación y electrocoagulación con replica. Luego se realizó un comparativo de los experimentos óptimos con los Valores Máximos Admisibles (VMA) de vertimiento de efluentes al alcantarillado según Decreto Supremo 021-2009-Vivienda.

Para los análisis de datos se ha aplicado el método de superficie de respuesta con un Diseño Central Compuesto (DCC) que es un Diseño de Superficie de Respuesta basado en el diseño factorial que permitió optimizar la respuesta de la remoción de %DQO además cuentan con puntos axiales y centrales permitiendo estimar las curvaturas para luego poder optimizar. La Ecuación 3, muestra el modelo de regresión de segundo orden usado.

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{12} X_2^2 + \beta_{23} X_3^2 \quad (3)$$

**Dónde:**  $y$  es una respuesta,  $X_1$  y  $X_2$  son factores manipulados y  $\beta_0, \beta_1, \beta_{12}$  son parámetros desconocidos.

La comparación de los efectos de los factores y la obtención de las diferencias estadísticas significativas ocurren con el diseño factorial y para el análisis e interpretación de los datos se usa la ANOVA (Gutiérrez & Vara, 2004).

Para la validación del modelo se realizó el análisis de aceptabilidad donde el resultado está en función del F-valor y el p-valor y el ajuste del modelo en función del  $R^2$ ,  $R^2$  ajustado y  $R^2$  predictivo.

En la presente investigación, se están considerando los aspectos éticos oportunos en cuanto a la citación adecuada de fuentes utilizando las normas del Manual de Redacción UPN; en este sentido también se presentarán los datos fidedignos confiables ajustados a la investigación de campo realizada.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Resultados de las características físico-químicos del agua residual del camal de Conchucos

La Tabla 4 presenta las características de las aguas residuales del camal Conchucos. Se muestra altos valores de carga de materia orgánica, aceites y grasas que sobrepasan los VMA. Además, las aguas se caracterizan por no presentar una acidez, pero si una alta turbidez. Sobre los valores de fosforo total presenta altos valores, este parámetro es de importancia por la afinidad a elementos de hierro para una mejora en tratamientos.

**Tabla 4**

Características físicos-químicos de los efluentes del Camal De Conchucos S.A

Parámetros	Unidad	Resultado	VMA
Aceites y Grasas	mg/L	25	100
Conductividad	mS/cm	2.12	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mgDBO <sub>5</sub> /L	759	500
Demanda Química de Oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L	4005.4	1000-
pH	unidad de pH	6.88	-
Turbidez	NTU	485	
Fósforo Total	mg/L	244.5	

*Nota.* Ver informe de ensayo del laboratorio en Anexos

### 3.2. Resultados del tratamiento de coagulación-floculación.

#### 3.2.1. Análisis descriptivo

Luego de realizado el tratamiento de coagulación-floculación, se muestra en la Tabla 5 que la remoción promedio del 46.31% DQO con una máxima remoción 66.17 %.

**Tabla 5**

Resultados del promedio, desviación estándar, máximo y mínimo del %DQO Reducido en el sistema de tratamiento de coagulación-floculación.

Parámetros	Promedio	Desviación Estándar	Máximo	Mínimo
%DQO	46.31	+/-12.31	66.17	24.48

La Tabla 6 muestra el diseño central compuesto (DCC) de cuatro factores estudiados Dosis de coagulante, Dosis de floculante, Velocidad de coagulación, Velocidad de floculación de 2 niveles por cada factor con valores observados y pronosticados para la eliminación porcentual de DQO experimental y el DQO predicho por el modelo de regresión múltiple.

**Tabla 6**

Resultados del %DQO Reducido en el sistema de tratamiento de coagulación-floculación por medio del Diseño Central Compuesto a base de cuatro factores

N° de experimento	Dosis de coagulante	Dosis de floculante	Velocidad de coagulación	Velocidad de floculación	DQO (mg/L)	DQO (%) experimental	DQO (%) teórico
	mg/L	mg/L	RPM	RPM	R1	%	%
1	800	6	300	70	1500	62.55	71.79
2	600	4	250	100	2630	34.34	32.29
3	1200	6	300	90	2235	44.20	49.69
4	600	8	350	80	1700	57.56	53.74
5	800	6	300	90	2660	33.59	37.13
6	600	8	350	100	2635	34.21	33.87
7	1000	8	250	100	1705	57.43	50.39
8	600	4	250	80	1830	54.31	51.78
9	800	6	200	90	1730	56.81	59.06
10	800	6	300	90	2465	38.46	37.13
11	1000	8	350	100	2545	36.46	42.13
12	400	6	300	90	2590	35.34	31.43
13	800	2	300	90	2505	37.46	37.21

N° de experimento	Dosis de coagulante	Dosis de floculante	Velocidad de coagulación	Velocidad de floculación	DQO (mg/L)	DQO (%) experimental	DQO (%) teórico
	mg/L	mg/L	RPM	RPM	R1	%	%
14	800	6	300	110	2220	44.57	36.92
15	1000	4	350	100	2330	41.83	38.41
16	1000	4	350	80	1535	61.68	57.28
17	600	8	250	80	2030	49.32	48.02
18	800	6	300	90	2430	39.33	37.13
19	600	4	350	80	1800	55.06	57.38
20	1000	8	250	80	1395	65.17	61.9
21	1000	4	250	100	2410	39.83	46.79
22	1000	4	250	80	1355	66.17	61.79
23	800	10	300	90	2590	35.34	37.17
24	600	4	350	100	2900	27.60	34.02
25	800	6	400	90	1720	57.06	56.39
26	1000	8	350	80	1595	60.18	57.51
27	600	8	250	100	3025	24.48	32.02

### 3.2.2. Análisis ANOVA de la remoción %DQO del tratamiento de coagulación/floculación

La significancia de cada parámetro del modelo para remoción del %DQO que se presenta en la Tabla 6 se evaluó mediante la prueba F -value y los valores p-value para cada variable, incluida la interacción lineal, cuadrática y los valores de p-value inferiores a 0.05 identifican los coeficientes del modelo como significativos.

La Tabla 7 muestra que para el %DQO removido la precisión del modelo estadístico desarrollado fue confirmada por valores de F de 5.33 y de p de 0.0031 ( $p < 0.05$ ). De manera específica la concentración de dosis del coagulante (A), velocidad de agitación lenta (D) mostraron un efecto significativo en el modelo, mientras que la interacciones y los cuadráticos no son significativo.

**Tabla 7**

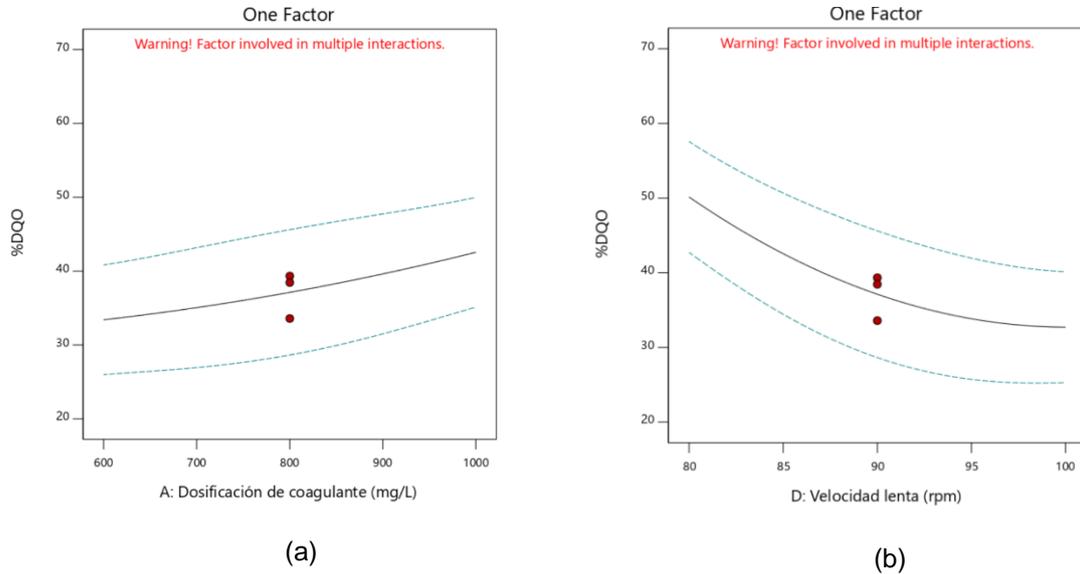
 ANOVA de cuatro factores en el sistema de tratamiento de coagulación-  
 floculación.

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	F-value	p-value
<b>Modelo</b>	3396.11	14	242.58	5.33	<b>0.0031</b>
A-Dosificación de coagulante (mg/L)	500.53	1	500.53	11.00	<b>0.0062</b>
B-Dosificación de Floculante (mg/L)	0.0026	1	0.0026	0.0001	0.9941
C-Velocidad rápida (rpm)	10.64	1	10.64	0.2337	0.6375
D-Velocidad lenta (rpm)	1823.83	1	1823.83	40.07	<b>&lt; 0.0001</b>
AB	14.98	1	14.98	0.3290	0.5768
AC	102.24	1	102.24	2.25	0.1598
AD	20.20	1	20.20	0.4437	0.5180
BC	0.0156	1	0.0156	0.0003	0.9855
BD	12.22	1	12.22	0.2684	0.6138
CD	14.98	1	14.98	0.3290	0.5768
A <sup>2</sup>	15.71	1	15.71	0.3452	0.5677
B <sup>2</sup>	0.0052	1	0.0052	0.0001	0.9917
C <sup>2</sup>	565.66	1	565.66	12.43	0.0042
D <sup>2</sup>	395.68	1	395.68	8.69	0.0122
<b>Residual</b>	546.22	12	45.52		
Falta de error	527.07	10	52.71	5.51	0.1634
Error total	19.15	2	9.57		
<b>Total</b>	3942.33	26			

En la Figura 12, se muestra los efectos significativos de la dosis del coagulante y la velocidad de floculación sobre el %DQO removido. Según la Figura 12.a,b la eliminación de % DQO tienen aumentar ligeramente a medida que la dosis del coagulante aumenta, contrario a la velocidad lenta cuanto más lento es la agitación existe un incremento en el porcentaje de eliminación de DQO.

**Figura 12**

Efectos significativos de los factores de dosis de coagulante y la velocidad de agitación lenta.



Nota. (a) Efecto de la dosificación de coagulante; (b) efecto de la velocidad de agitación lenta

### 3.2.3. Ajuste estadístico del modelo

Sobre la prueba experimental el modelo central compuesto de superficie respuesta plantea un modelo predictivo ( Ecuación 4) de la remoción del %DQO para el tratamiento de coagulación/ floculación, la validación del modelo permite optimizar el tratamiento.

$$\begin{aligned} \%DQO = & +37.13 + 4.57A - 0.0104B - 0.6658C - 8.72D + 0.9674AB - 2.53AC \quad (4) \\ & + 1.12AD + 0.0312BC + 0.8738BD + 0.9674CD + 0.8582A^2 \\ & + 0.0156B^2 + 5.15C^2 + 4.31D \end{aligned}$$

La Tabla 8 muestra que tanto para el tratamiento de coagulación el  $R^2$  y  $R^2$  ajustado son parámetros significativos en el modelo, mostrando una variación adecuada del modelo cuadrático a los datos experimentales. Lo valores  $R^2$  para la reducción del % DQO fueron 0.8614 y de  $R^2$  ajustado 0.6998 para el tratamiento de coagulación-floculación. La diferencia del  $R^2$  predictivo y  $R^2$  ajustado en el tratamiento de coagulación-floculación es 0.48.

La precisión adecuada (AP) ilustra el rango de los datos predichos (en los puntos de diseño) hasta el error de predicción promedio. AP mide la relación señal/ruido y sus valores superiores a cuatro son deseables. Por lo tanto, el modelo cuadrático se puede aplicar para navegar por el diseño de optimización. Los valores de AP están en 8.02 para la remoción de %DQO. El %CV representa el error entre los datos experimentales y los predichos. No puede ser más de diez para un modelo adecuado. En la investigación, los valores de CV estaban en 14,57 en la remoción de %DQO, para el tratamiento de coagulación y-floculación.

**Tabla 8**

Ajustes del modelo de superficie de respuesta de la remoción de DQO en el sistema de tratamiento de coagulación-floculación.

Descriptivos	Cogulación-Floculación
Desviación Estándar	6.75
Media	46.31
Coefficiente de varianza (CV%)	14.57
R <sup>2</sup>	0.8614
R <sup>2</sup> ajustado	0.6998
R <sup>2</sup> predictivo	0.219
Precisión adecuada (AP)	8.02

### 3.2.4. Optimización

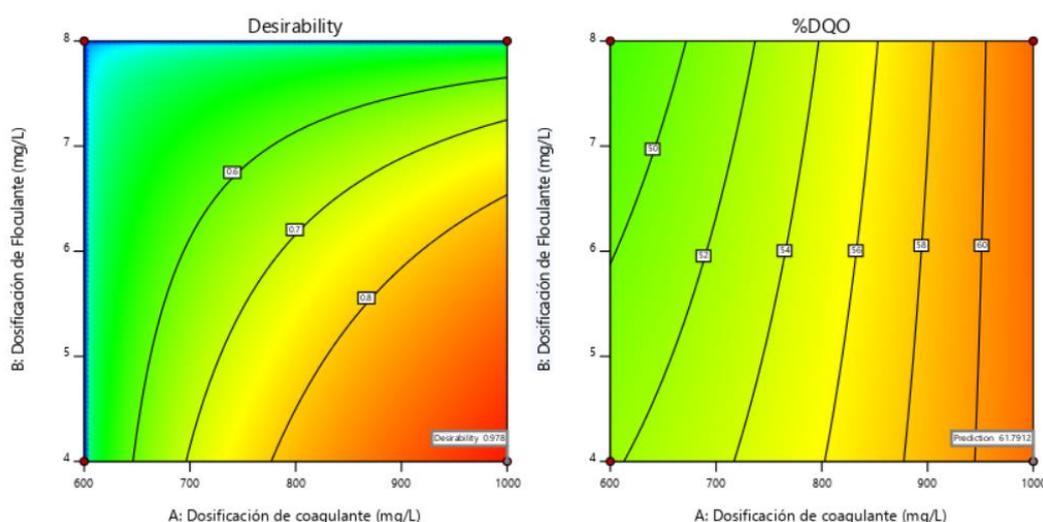
El método de superficie de respuesta planteadas en esta investigación permite determinar las condiciones experimentales óptimas para obtener el máximo porcentaje de remoción de DQO.

Para el tratamiento de coagulación-floculación se condiciona con un máximo en la dosificación de coagulante y un mínimo en los factores de dosis de floculantes, velocidad coagulación y la velocidad floculación.

La Figura 13 muestra que se encontró el valor de deseabilidad para el tratamiento de coagulación-floculación de 0.97 para lograr las remociones máximas de 61.79 para la remoción del %DQO.

**Figura 13**

*Gráficos de deseabilidad 2D para la optimización del %DQO en el sistema de tratamiento de coagulación-floculación*



### 3.3. Resultados del tratamiento de electrocoagulación.

#### 3.3.1. Análisis descriptivo

El tratamiento de electrocoagulación del agua de mataderos tuvo como resultado 75.99% de remoción de DQO como se muestra en la Tabla 9, con un a remoción máxima de 77.30%.

**Tabla 9**

Resultados del promedio, desviación estándar, máximo y mínimo del %DQO Reducido en el sistema de tratamiento de electrocoagulación.

Parámetros	Promedio	Desviación Estándar	Máximo	Mínimo
%DQO	75.99	+/-0.79	77.31	74.98

La Tabla 10 muestra el diseño central compuesto (DCC) de dos factores (Velocidad de agitación y Tiempo de electrocoagulación con 2 niveles por cada factor con valores de porcentaje de eliminación de DQO observados y predecido. Resultados del %DQO

**Tabla 10**

Resultados del %DQO Reducido en el sistema de tratamiento de electrocoagulación por medio del Diseño Central Compuesto a base de dos factores.

Corrida	Valor codificado		DQO (mg/L)			DQO (mg/L)	DQO <sub>experim.</sub>	DQO <sub>predictivo</sub>
	A:Velocidad rpm	B:Tiempo Min	R1	R2	R3	Promedio	%	%
1	350	15	986	960	986	977.3	75.5996	75.84
2	300	22.5	966	960	981	969.0	75.8077	75.61
3	300	9.88	979	986	987	984.0	75.4332	75.32
4	350	30	930	918	911	919.7	77.0393	77.28
5	384.09	22.5	902	914	910	908.7	77.3140	77.18
6	250	30	983	980	986	983.0	75.4581	75.72
7	250	30	979	979	988	982.0	75.4831	75.72
8	350	15	958	966	969	964.3	75.9242	75.84
9	250	15	995	984	993	990.7	75.2667	75.28
10	300	35.11	904	917	913	911.3	77.2474	76.91
11	215.91	22.5	972	973	973	972.7	75.7161	75.4
12	300	22.5	959	980	959	966.0	75.8826	75.61
13	300	22.5	975	983	984	980.7	75.5164	75.61
14	250	15	1000	998	1008	1002.0	74.9838	75.28
15	350	30	920	914	908	914.0	77.1808	77.28

### 3.3.2. Análisis del ANOVA de la remoción %DQO del tratamiento de electrocoagulación

La significancia de cada parámetro del modelo para remoción del %DQO que se presenta en la Tabla 11 se evaluó mediante la prueba F -value y los valores p-value para cada variable, incluida la interacción lineal y cuadrática. Como se muestra en la Tabla 11 los valores de p-value inferiores a 0.05 identificando los coeficientes del modelo como significativos.

De manera específica la velocidad de agitación (A), Tiempo de agitación lenta (B) y la interacción (AB) mostraron un efecto significativo en el modelo (menos a 0.001), mientras que el error experimental es bajo. Así también se muestra que el %DQO removido tiene una alta precisión de acuerdo al modelo estadístico desarrollado que es confirmada por valores de F de 20.30 y de p de 0.0001 ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 11**

ANOVA de dos factores en el sistema de tratamiento de electrocoagulación.

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	F-value	p-value
<b>Modelo</b>	8.03	5	1.61	20.30	0.0001
A-Velocidad de agitación	3.84	1	3.84	48.53	< 0.0001
B-Tiempo de electrocoagulación	3.04	1	3.04	38.38	0.0002
AB	0.5028	1	0.5028	6.36	0.0327
A <sup>2</sup>	0.5666	1	0.5666	7.16	0.0253
B <sup>2</sup>	0.3121	1	0.3121	3.95	0.0782
<b>Residual</b>	0.7117	9	0.0791		
Falta de error	0.5338	3	0.1779	6.00	0.0308
Error total	0.1779	6	0.0296		
<b>Residual</b>	8.74	14			

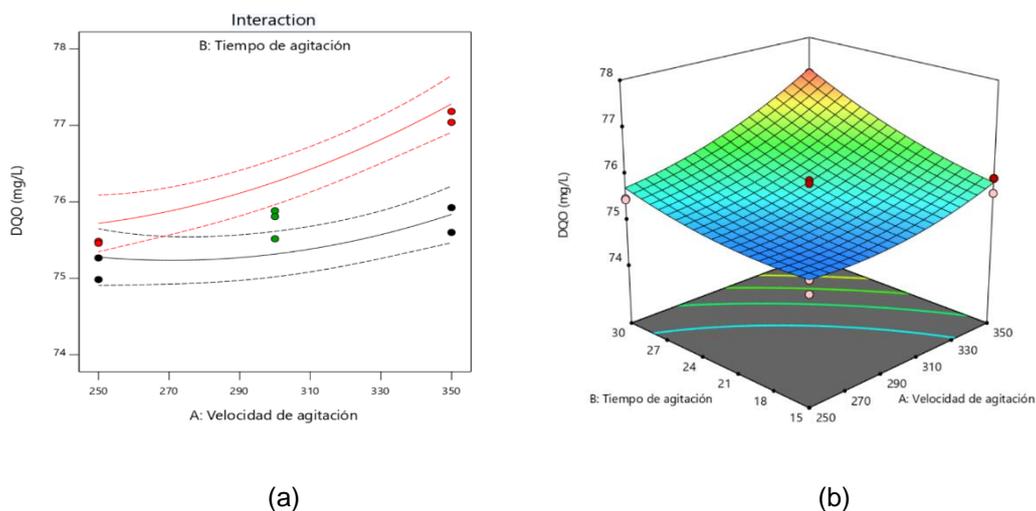
En la Figura 14a, se ilustra el efecto de la velocidad de agitación y el tiempo de electrocoagulación del afluente, sobre la reducción de %DQO. Se puede observar que la velocidad de agitación y el tiempo de la electrocoagulación son directamente proporcionales a las remociones porcentuales de %DQO. Este ligero efecto se refiere a las reacciones electrocinéticas como factor no limitante de la remoción del %DQO; por tanto, la eliminación de %DQO se debe únicamente a reacciones de reducción y oxidación.

La Figura 14b de interacciones de factores cruzados entre variables independientes se trazaron en gráficos de superficies 3D. El efecto de interacción de factores cruzados entre velocidad de agitación y el tiempo de agitación del afluente (AB) es altamente significativa

en el modelo. Sobre este grafico se puede inferir que, a un mayor tiempo de agitación y velocidad de agitación, es posible lograr una remoción máxima de %DQO.

**Figura 14**

Efectos significativos de los factores de tiempo de agitación y velocidad de agitación.



### 3.3.3. Ajustes estadísticos del modelo

Sobre la prueba experimental el modelo central compuesto de superficie respuesta plantea un modelo predictivo (Ecuación 5) de la remoción del %DQO para el tratamiento de electrocoagulación, la validación del modelo permite optimizar el tratamiento.

$$\%DQO = +75.61 + 0.5301A + 0.4714B + 0.2507 AB + 0.2396A^2 + 0.1779B^2 \quad (5)$$

La Tabla 12 muestra que tanto para el tratamiento de electrocoagulación el  $R^2$  y  $R^2$  ajustado son parámetros significativos en el modelo, mostrando una variación adecuada del modelo cuadrático a los datos experimentales. El valor de  $R^2$  para la reducción del % DQO fue 0.9186 y de  $R^2$  ajustado 0.8733 para el tratamiento de electrocoagulación. En esta investigación, la diferencia del  $R^2$  predictivo y  $R^2$  ajustado es 0.17 teniendo un modelo predictivo representativo.

La precisión adecuada (AP) ilustra el rango de los datos predichos (en los puntos de diseño) hasta el error de predicción promedio. AP mide la relación señal/ruido y sus valores superiores a cuatro son deseables. Por lo tanto, el modelo cuadrático se puede aplicar para navegar por el diseño de optimización. Los valores de AP estaban en 11.26 para la remoción de %DQO. El %CV representa el error entre los datos experimentales y los predichos. No puede ser más de diez para un modelo adecuado. En la investigación, los valores de CV están en 0.37 para la remoción de %DQO, para el tratamiento electrocoagulación.

**Tabla 12**

Ajustes del modelo de superficie de respuesta de la remoción de %DQO en el sistema de tratamiento de electrocoagulación.

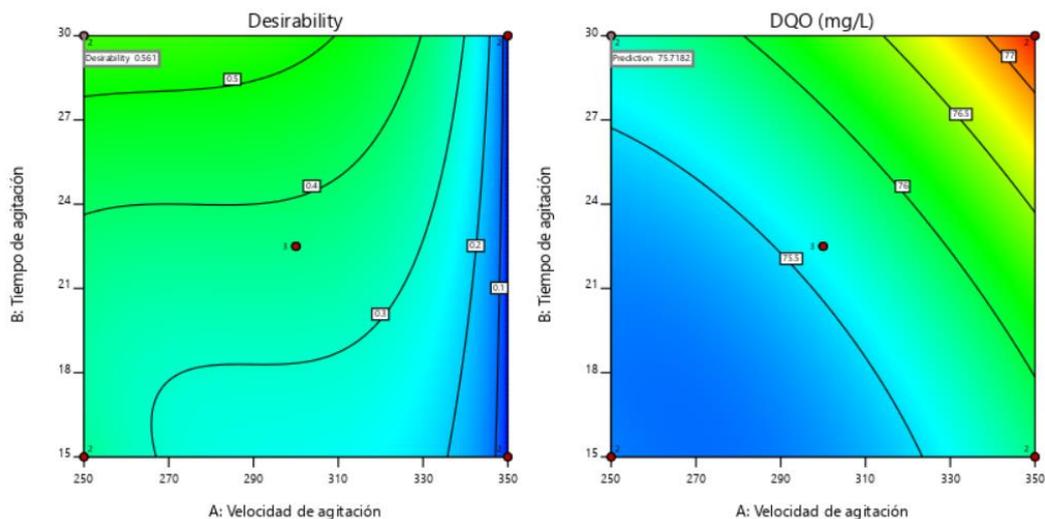
<i>Descriptivos</i>	<b>Cogulación-Floculación</b>	<b>Electroremediación</b>
<i>Desviación Estándar</i>	6.75	0.2812
<i>Media</i>	46.31	75.99
<i>Coefficiente de varianza (CV%)</i>	14.57	0.3701
$R^2$	0.8614	0.9186
$R^2$ ajustado	0.6998	0.8733
$R^2$ predictivo	0.219	0.7081
<i>Precisión adecuada (AP)</i>	8.02	11.26

### 3.3.4. Optimización

Para el tratamiento de electrocoagulación se condiciono a un gasto mínimo de energía en la velocidad de agitación manteniendo un máximo de tiempo. La Figura 15 muestra que se encontró el valor de deseabilidad para el tratamiento de electrocoagulación de 0.56 para lograr las remociones máximas de 75.71 para la remoción del %DQO.

**Figura 15**

Gráficos de deseabilidad 2D para la optimización del %DQO en el sistema de tratamiento de electrocoagulación.



### 3.4. Comparación de los tratamientos óptimos con los Valores Máximos Admisibles (VMA)

Como resultado final, las condiciones óptimas de operación obtenidas se utilizaron en otra corrida experimental para validar los valores predichos. En consecuencia, la remoción de DQO de 61.79% y 75.71% se obtuvieron experimentalmente, lo que se espera confirmar la confiabilidad del modelo del tratamiento de electroremediación ya que todos los parámetros del modelo estuvieron dentro del IC del 95% mientras se espera una variación referente al tratamiento de coagulación-floculación.

La Tabla 13 muestra la comparación entre los valores predictivos y los experimentales, se puede notar que el tratamiento de electrocoagulación tiene resultados esperados.

**Tabla 13**

Comparación de los resultados con los modelos predictivos

Parámetros	Unidad	Tratamientos			
		Coagulación-Floculación		Electrocoagulación	
		Predictivo	Experimental	Predictivo	Experimental
Demanda Química de Oxígeno	%.	61.79	68.09	75.71	75.43

Para fines comparativos con los Valores Máximos Admisibles (VMA) de vertimiento de efluentes al alcantarillado según Decreto Supremo 021-2009-Vivienda, se realizaron la medición de diferentes parámetros según esta normativa. La comparación se realiza con el tratamiento de coagulación-floculación, electrocoagulación y se adiciona un tratamiento combinado entre la coagulación-floculación seguido de la electrocoagulación.

La Tabla 14 muestra que el tratamiento de floculación no cumple con la normativa en los parámetros de DQO y DBO pero si presenta una alta reducción de aceites y grasas mientras que todos los valores de tratamiento de electrocoagulación están por debajo del VMA del mismo modo que el sistema combinado.

**Tabla 14**

Comparación de los resultados con los modelos experimentales

Parámetros	Unidad	Valores iniciales	Tratamientos			VMA
			Coag-Floc	Electro	Coag-Floc+ Electro	
Demanda Química de Oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L	4005.4	1280.25	983.75	521.75	1000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mgDBO <sub>5</sub> /L	759	677.25	470.57	138.54	500
pH	unidad de pH	6.88	7.09	9.09	8.27	-
Turbidez	NTU	485	30.4	11.54	9.77	-
Conductividad	mS/cm	2.12	5.32	4.82	5.15	-
Aceites y Grasas	mg/L	25	<0.48	2.5	2.5	100

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

La Tabla 6 muestra que la dosis de coagulante, la dosis del floculante y la velocidad de agitación lenta tienen un efecto significativo en el tratamiento, en función de estos parámetros se obtienen una remoción máxima de 66.17 % en DQO (Tabla 5) y una media de remoción 46.31% (Tabla 8). Se debe tener en cuenta que el porcentaje de remoción de materia orgánica dependen del tipo de coagulante caso del sulfato de aluminio y cloruro férrico tienen altas eficiencias de remoción a velocidades lentas (Azabache et al., 2020). Gökçek y Özdemir, (2020) usando el método de superficie de respuesta Box-Behnken hay una mínima relación entre la dosis de coagulante/floculante y tasa de reducción del DQO. Cuando la simple neutralización de carga juega un papel principal, la baja dosis de coagulantes/floculantes no es suficiente para desestabilizar todas las partículas coloidales en el agua residual (Yang et al., 2016).

Los estudios (Cabrera, 2015) de encontró que la turbidez residual y la demanda bioquímica de oxígeno disminuía cuando se aumentaba coagulantes como cloruro férrico y sulfato de aluminio y consorcios microbianos, Aguilar et al., (2005) reporta una alta remoción de sulfato férrico. En otras palabras, coagulación/floculación del de cloruro férrico tiene una alta ventaja. exhibiendo altas eficiencias (Terán et al., 2021). Para coagulantes/floculantes inorgánicos como sales de aluminio, sales de hierro y polímeros inorgánicos, el pH afecta directamente la reacción de hidrólisis y polimerización del aluminio, los iones de hierro. Las formas de los iones de aluminio en el agua no dependen de otros elementos, sino únicamente de la dosificación de las sales de aluminio y del pH (Canizares et al., 2008). En esta investigación el pH se ha mantenido neutro.

El tratamiento de electrocoagulación consiste en electrodos de ánodo y cátodo alimentados por una corriente continua, y están parcialmente sumergidos en un tanque que contiene una solución contaminada. Estos electrodos pueden variar en forma, tamaño y número, pero a menudo se utilizan placas de forma rectangular (Hakizimana et al., 2017).

Todos los estudios reportan que la aplicación de la electrocoagulación sea en operación de lotes o continuo generan remociones máximas de 70% en la DQO, mientras que la investigación realizada reporta una remoción óptima de 75.99% (Tabla 8) encontrándose en el rango de remoción reportada por los diferentes estudios, así mismo presenta a la velocidad de agitación y el tiempo de electrocoagulación (Tabla 10) como factores significativos en la electrocoagulación.

Varios estudios aplicaron la electrocoagulación para el tratamiento de aguas de mataderos por ejemplo Paulista et al., (2018) realizó el tratamiento de aguas de mataderos de aves de corral en lotes usando la electrocoagulación/electroflotación obteniendo valores de remoción de DQO (76-85%), color (93-99%), SST (95-99%), turbidez (95—99%). Gomes et al., (2018) aplico la electrocoagulación en modo continuo a aguas residuales de matadero de aves de corral obteniendo remociones de DQO (88,5 y 96,26) para disposiciones horizontales y verticales, respectivamente. DBO5 (97 %), coliformes fecales (100 %), SST (85 %). Pinedo-Hernández et al., (2020) realizó el tratamiento de aguas residuales de mataderos de ganados obteniendo una remoción en DQO (92.8%) con un funcionamiento a modo continuo. Paitan & Sifuentes, (2018) realizó en tratamiento por electrocoagulación de aguas de matadero y obtuvo como resultados 96,849 % de DBO; 94,538 % de DQO; 92,685 % de SST; 98,646 % en la turbiedad; 96,729 % en el contenido de aceites y grasas y 87,118 % en el contenido de nitrógeno. Alvino, (2019) presento la remoción de la DBO5 en un 96.28%, ST en un 97.8%, nitratos en un 70.2% y fosfatos en un 63.2%.

Las reacciones desarrolladas por los cátodos y ánodos generados por la electrocoagulación permiten la remoción de los contaminantes inorgánicos por su alta carga iónica mientras que los orgánicos tienen a polarizarse más débilmente. Por ello estudios como el Pinedo-Hernández et al., (2020) realizan la electrocoagulación en medio ligeramente ácido (pH 5) para la mejora de la remoción.

Los estudios reportan que los parámetros de operación con mayor influencia es la cantidad de amperaje inducido al tratamiento siendo el mejor material reportado los electrodos de aluminio, de igual forma, este estudio realizó la experiencia usando electrodos de aluminio. Otro parámetro que influye es la velocidad de agitación en el sistema en lotes, pero ninguno de los estudios reporta experiencias con velocidades agitación. Sobre los parámetros como el pH no se ve afectado por el tratamiento todos los estudios reportan un rango neutral de la variación de pH igual que este estudio. La aplicación de la electrocoagulación permite cumplir los Valores Máximos Admisibles (D.S N°010-2019-VIVIENDA) para la descarga de contaminantes al sistema de red alcantarillado con los valores reportados en esta investigación.

En la Tabla 14 se muestra que el efecto combinado de coagulación/floculación y la electrocoagulación presenta mayor remoción de los parámetros como el DQO, DBO y turbidez que el tratamiento de coagulación o el tratamiento de electrocoagulación. Estos resultados coinciden con la investigaciones de Bazrafshan et al., (2012) utilizaron un proceso combinado de productos químicos y electrocoagulación para tratar los efluentes de un matadero llegando a eficiencias superiores al 70% de remoción en contaminantes.

Este estudio muestra que uso del tratamiento de coagulación-floculación no es suficiente para cumplir los parámetros establecidos por el D.S N°010-2019-VIVIENDA,

mientras que la electrocoagulación cumple los requerimientos, así como un tratamiento combinado. Tanto el tratamiento de coagulación/floculación y la electrocoagulación tienen ventajas y desventajas, por lo que recomendar el uso combinado sería una buena alternativa, pero requiere mayores estudios.

## 4.2 Conclusiones

Se pudo desarrollar la comparación de los tratamientos de las aguas residuales del camal de Conchucos mediante el proceso electrocoagulación y coagulación/floculación para lograr la reducción de contaminantes.

Las características del agua del Camal Conchucos presentan altos valores de carga de materia orgánica, aceites y grasas que sobrepasan los VMA. Además, las aguas se caracterizan por no presentar una acidez, pero si una alta turbidez.

Se redujo un 75.99% y 46.31% promedio de remoción en %DQO en el tratamiento de electrocoagulación y coagulación/floculación, respectivamente, concluyendo la mayor eficiencia por el sistema de electrocoagulación. La coagulación/floculación presenta a la dosis de coagulante, dosis de floculante y la velocidad de agitación lenta como parámetros de operación significativos y para la electrocoagulación tanto el tiempo y la velocidad de agitación son significativos.

Las condiciones óptimas para el tratamiento de coagulación-floculación y electrocoagulación maximizando la reducción del %DQO, son del 61.79%, 75.71% para coagulación-floculación y electrocoagulación, respectivamente.

De los dos tratamientos comparados la electroremediación está por debajo de los valores máximos admisibles (VMA) en DQO, DBO y Aceites y Grasas cumpliendo los parámetros necesarios para el vertimiento a la red de alcantarillado.

## REFERENCIAS

- Aguilar, M. I., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., Ortuño, J. F., Meseguer, V., & Fuentes, A. (2005). Improvement of coagulation–flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid. *Chemosphere*, 58(1), 47–56.
- Alvino Albornoz, Y. Y. (2019). *Eficiencia de la electrocoagulación a nivel de laboratorio para tratamiento del agua residual del matadero municipal de Tingo María*. Universidad Nacional Agraria de La Selva.
- Arguello, H., Carvajal, A., Collazos, J. A., García-Feliz, C., & Rubio, P. (2012). Prevalence and serovars of *Salmonella enterica* on pig carcasses, slaughtered pigs and the environment of four Spanish slaughterhouses. *Food Research International*, 45(2), 905–912. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.017>
- Azabache, Y., Murrieta, E., Mora, P. G., Ayala, M., Caceres, G., & Garcia, M. (2020). Tratamiento del agua residual de un matadero: Eficiencia del proceso de coagulación-floculación. *Agroindustrial Science*, 10(1), 23–27.
- Bayar, S., Yildiz, Y. S., Yilmaz, A. E., & Irdemez, S. (2011). The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method. *Desalination*, 280(1–3), 103–107. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.06.061>
- Bazrafshan, E., Mostafapour, F. K., Farzadkia, M., Ownagh, K. A., & Mahvi, A. H. (2012). Slaughterhouse wastewater treatment by combined chemical coagulation and electrocoagulation process. *PloS One*, 7(6), e40108.
- Borowski, S., & Kubacki, P. (2015). Co-digestion of pig slaughterhouse waste with sewage sludge. *Waste Management*, 40, 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.021>
- Bugallo, P. M. B., Andrade, L. C., De la Torre, M. A., & López, R. T. (2014). Analysis of the slaughterhouses in Galicia (NW Spain). *Science of the Total Environment*, 481(1), 656–661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.079>
- Cabrera Espinoza, A. L. (2015). *Tratamiento de las aguas residuales porcinas mediante el uso de coagulantes y consorcios microbianos, en la Granja Porcina “JENNY”*–

*Sapallanga, Huancayo.* Universidad Nacional del Centro del Perú.

- Canizares, P., Martínez, F., Jiménez, C., Sáez, C., & Rodrigo, M. A. (2008). Coagulation and electrocoagulation of oil-in-water emulsions. *Journal of Hazardous Materials*, 151(1), 44–51.
- Carrasquero, S., Marquina, D., Soto, J., Vilorio, S., Pire, M., & Díaz, A. (2015). Remoción de nutrientes de aguas residuales de un matadero de reses usando un reactor biológico secuencial. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 43–60.
- Gökçek, Ö. B., & Özdemir, S. (2020). Optimization of the Coagulation–Flocculation Process for Slaughterhouse Wastewater Using Response Surface Methodology. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 48(7–8), 2000033.
- Gomes, A. J. G., Atambo, D. O., Das, K. K., Cocke, D. L., & Das, K. P. (2018). Electrochemical remediation of chicken processing plant wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(5), 6028–6036.
- Guamuro Diaz, J., & Cieza Quispe, K. (2018). Diseño de planta de agua residual con reactor anaerobio para mitigar contaminantes del matadero municipal de Moyobamba, San Martín- 2018. In *Universidad Cesar Vallejo*. Universidad Cesar Vallejo.
- Hakizimana, J. N., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, C., Drogui, P., & Naja, J. (2017). Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*, 404, 1–21.
- INACAL. (2016). *Aguas residuales. Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado.*
- Ñaupas, H., Mehía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación Cuantitativa-cualitativa y redacción de la Tesis* (Ediciones de la U (ed.); 4 Edición).
- Paitan De La Cruz, M. A., & Sifuentes Cateño, G. (2018). *Remoción de contaminantes de aguas residuales de un matadero de equinos por el método de electrocoagulación a nivel de laboratorio.*
- Paulista, L. O., Presumido, P. H., Theodoro, J. D. P., & Pinheiro, A. L. N. (2018). Efficiency analysis of the electrocoagulation and electroflotation treatment of poultry slaughterhouse wastewater using aluminum and graphite anodes. *Environmental*

*Science and Pollution Research*, 25(20), 19790–19800.

- Pinedo-Hernández, J., Marrugo-Negrete, J., & Díez, S. (2020). Removal of cypermethrin and chemical oxygen demand from livestock wastewater by electrocoagulation. *Chemical Engineering & Technology*, 43(2), 211–217.
- Ruiz, I., & Veca, M. (1993). *Características de efluentes de mataderos, revisión de alternativas de tratamiento*.
- Sandoval, M. A., & Salazar, R. (2021). Electrochemical treatment of slaughterhouse and dairy wastewater: Toward making a sustainable process. *Current Opinion in Electrochemistry*, 26, 100662. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2020.100662>
- Seif, H., & Moursy, A. (2001). Treatment of slaughterhouse waste. *Sixth International Water Technology Conference, IWTC*, 269–275. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00143-6](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00143-6)
- Şengil, İ. A. (2006). Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 137(2), 1197–1205.
- Terán Hilares, R., Atoche-Garay, D. F., Pinto Pagaza, D. A., Ahmed, M. A., Colina Andrade, G. J., & Santos, J. C. (2021). Promising physicochemical technologies for poultry slaughterhouse wastewater treatment: A critical review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 105174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105174>
- Wu, B. (2020). Human health hazards of wastewater. In *High-Risk Pollutants in Wastewater* (pp. 125–139). Elsevier.
- Yang, R., Li, H., Huang, M., Yang, H., & Li, A. (2016). A review on chitosan-based flocculants and their applications in water treatment. *Water Research*, 95, 59–89.
- Yee-Batista, C. (2013). *70% de las aguas residuales de la región no son tratadas. Sacamos el agua, la usamos y la devolvemos a los ríos completamente contaminada*.

## **ANEXOS**

**ANEXO N°1. Matriz de consistencia y operacionalización**

**Matriz de consistencia**

<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>UNIDADES</b>
¿En qué medida el tratamiento de electrocoagulación respecto al proceso de coagulación/ floculación tendrá una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes de las aguas residuales del camal Conchucos, Lima, 2021.?	Evaluar el tratamiento de electrocoagulación respecto al proceso de coagulación/ floculación en la remoción de contaminantes de las aguas residuales del camal Conchucos, Lima, 2021.	El tratamiento de electrocoagulación respecto al proceso de coagulación/ floculación tendrá una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes de las aguas residuales del camal Conchucos, Lima, 2021.	<b>V1.</b> Tratamiento de electrocoagulación	<b>D.1</b> Parámetros de operación	Velocidad	(rpm)
					Tiempo	(min)
					Dosificación de coagulante	(mg/L)
<b>PROBLEMA ESPECIFICO</b>	<b>OBJETIVO ESPECIFICO</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICO</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>P.1</b> ¿Cuáles serán las características del agua residual del camal de conchucos ?.	<b>O.1</b> Determinar las características del agua residual del camal de conchucos.	<b>H1.</b> El agua residual producido en el camal conchucos no cumplen con los valores máximos admisibles para su vertimiento en la red de alcantarillado.	<b>V2.</b> Tratamiento de coagulación/ floculación	<b>D.2</b> Parámetros de operación	Dosificación de floculante	(mg/L)
					Velocidad de coagulación	(rpm)
					Velocidad de floculación	(rpm)
<b>P.2</b> ¿Cuáles serán los arreglos óptimos en los parámetros de operación del tratamiento de electrocoagulación y el tratamiento de coagulación/floculación para la mayor remoción de %DQO del agua residual del camal de Conchucos?	<b>O.2</b> Determinar los arreglos óptimos en los parámetros de operación del tratamiento de electrocoagulación y el tratamiento de coagulación/floculación para la mayor remoción de %DQO del agua residual del camal de Conchucos,	<b>H2.</b> Existe algún arreglo óptimo en los parámetros de operación del tratamiento de electrocoagulación y el tratamiento de coagulación/floculación para la mayor remoción de %DQO del agua residual del camal de Conchucos.	<b>VARIABLES DEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	Variación de la Turbiedad	NTU
<b>P.3</b> ¿En qué medida los tratamientos cumplen con los valores máximos admisibles (VMA) en los parámetros de DQO, DBO <sub>5</sub> y aceites y grasas (A&G) para la descarga al sistema de alcantarillado?	<b>O.3</b> Comparar los tratamientos en el cumplimiento de los valores máximos admisibles (VMA) en los parámetros de DQO, DBO <sub>5</sub> y aceites y grasas (A&G) para la descarga al sistema de alcantarillado.	<b>H3.</b> Al menos uno de los tratamientos cumple con los valores máximos admisibles (VMA) en los parámetros de DQO, DBO <sub>5</sub> y aceites y grasas (A&G) para la descarga al sistema de alcantarillado.			Variación de la DBO <sub>5</sub>	mg/L
					Variación de la DQO	mg/L
			Variación de la Conductividad eléctrica	uS/cm		
			<b>V3.</b> Remoción de contaminantes	<b>D.2</b> Características inorgánicas	Variación del pH	uni. pH
					Variación de Aceites y Grasas	mg/L

**Matriz de operacional**

VARIABLES INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM	UNIDADES
V1. Tratamiento de electrocoagulación	La electrocoagulación es el proceso de desestabilización de contaminantes suspendidos, emulsionados o disueltos en un medio acuoso mediante la introducción de una corriente eléctrica en el medio.	La influencia del sistema de electroremediación está determinada por la densidad de corriente, velocidad de agitación y dosis del coagulante.	D.1 Parámetros de operación	1. Velocidad (rpm)	1,2	250-650
				2. Tiempo (min)		15-30
				3. Dosificación de coagulante (mg/L)	600-1000	
V2. Tratamiento de coagulación/ floculación	La coagulación- floculación es el proceso mediante la adición de coagulantes y floculantes se eliminan solidos suspendidos contaminantes del agua.	La influencia del sistema de coagulación-floculación está determinada por la dosis del coagulante, velocidad de agitación, tiempo de agitación.	D.2 Parámetros de operación	4. Dosificación de floculante (mg/L)	3,4,5,6	4 - 10
				5. Velocidad de coagulación (rpm)		250-350
				6. Velocidad de floculación (rpm)		80-100
				7. Variación de la Turbiedad (NTU)		
V3. Remoción de contaminantes	El tratamiento de las aguas es un proceso utiliza con finalidad de mejorar la calidad del agua	La remoción de contaminantes del agua son evaluados mediante la medición de sus características fisico químicas.	D.2 Características inorgánicas	8. Variación de la DBO5 (mg/L)	7,8,9,10,11	
				9. Variación de la DQO (mg/L)		
				10. Variación de la Conductividad eléctrica (uS/cm)		
				Variación del pH (uni. pH)		
				11. Variación de Aceites y Grasas (mg/L)		

**ANEXO N°2. Fotos referentes a la investigación**



Camal de Conchucos S.A



Muestreo de las aguas de Camal para su caracterización



Prueba de fuente y placas de aluminio para la experiencia



Análisis de la DQO con el digestor y viales



Sistema de Test de jarras para la coagulación y floculación



Agua tratada por coagulación-floculación



Equipo de electrocoagulación



Agua tratada por electrocoagulación

### ANEXO N°3. Instrumentos de recolección de datos

#### INFORME DE OPINION DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

##### 1. DATOS GENERALES:

- 1.1. **Apellidos y Nombres del Experto Validador:** LUIGI BRAVO TOLEDO
- 1.2. **Especialidad del Experto Validador:** INGENIERO AMBIENTAL
- 1.3. **Grado Académico del Experto Validador:** INGENIERO
- 1.4. **Cargo e Institución donde labora:** FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES – UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
- 1.5. **Título de la Investigación:** "COMPARACION DE LOS TRATAMIENTOS DE ELECTROCOAGULACION Y COAGULACION/ FLOCULACION EN LA REMOCION DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL CONCHUCOS S.A - LIMA 2021"
- 1.6. **Autores del Instrumento:** MIYASHIRO AGUIRRE, RUTH MEGUMI; MELITON ROMERO, JENY.

##### Sobre la matriz de Operacionalización

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente e 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico.				X	
2. Objetividad	Esta expresado en conductas observables.				X	
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.				X	
4. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.				X	
5. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias.				X	
6. Consistencia	Basados en aspectos teóricos – científicos.				X	
7. Coherencia	Entre las variables, dimensiones e indicadores.				X	
8. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.				X	
9. Pertenencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.				X	
<b>PROMEDIO DE VALIDACION</b>					85	

## 2. ASPECTOS DE VALIDACION:

### PERTENENCIA DE LAS FICHAS O REACTIVOS DEL INSTRUMENTO

INSTRUMENTOS	Descripción	SUFICIENTE	MEDIANAMENTE SUFICIENTE	INSUFICIENTE
Ficha de Recolección de datos 1 - Floculación y coagulación		X		
Ficha de Recolección de datos 2 - electrocoagulación		X		

OBSERVACIONES:

a. -

b.

La evaluación se realiza de todos los ítems de la primera variable.

## 3. PROMEDIO DE VALORACION: 85%

## 4. OPINION DE APLICABILIDAD:

El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado.

El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

Fecha: 20/02/2022



Ing. Luigi Bravo Toledo

## INFORME DE OPINION DE EXPERTOS DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### 1. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y Nombres del Experto Validador: Chumán López Margeo Javier
- 1.2. Especialidad del Experto Validador: Ingeniero químico
- 1.3. Grado Académico del Experto Validador: Ingeniero
- 1.4. Cargo e Institución donde labora: Docente en Universidad Privada del Norte
- 1.5. Título de la Investigación: "COMPARACION DE LOS TRATAMIENTOS DE ELECTROCOAGULACION Y COAGULACION/ FLOCULACION EN LA REMOCION DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL CONCHUCOS S.A - LIMA 2021"
- 1.6. Autores del Instrumento: MIYASHIRO AGUIRRE, RUTH MEGUMI; MELITON ROMERO, JENY.

Sobre la matriz de Operacionalización

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. Claridad	Esta formulado con lenguaje apropiado y específico.				X	
2. Objetividad	Esta expresado en conductas observables.				X	
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.				X	
4. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.				X	
5. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias.				X	
6. Consistencia	Basados en aspectos teóricos – científicos.				X	
7. Coherencia	Entre las variables, dimensiones e indicadores.				X	
8. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico.				X	
9. Pertenencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.				X	
<b>PROMEDIO DE VALIDACION</b>					80	

## 2. ASPECTOS DE VALIDACION:

### PERTENENCIA DE LAS FICHAS O REACTIVOS DEL INSTRUMENTO

INSTRUMENTOS	Descripción	SUFICIENTE	MEDIANAMENTE SUFICIENTE	INSUFICIENTE
Ficha de Recolección de datos 1 - Floculación y coagulación		X		
Ficha de Recolección de datos 2 - electrocoagulación		X		

### OBSERVACIONES:

a. todo ok.

b.

La evaluación se realiza de todos los ítems de la primera variable.

## 3. PROMEDIO DE VALORACION: 80%

## 4. OPINION DE APLICABILIDAD:

El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado.

El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.



Fecha: 01/03/2022

**Fichas de recolección de experimentos**

FICHA DE RECOLECCION DE EXPERIMENTOS PARA EL EXPERIMENTO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN					
<b>Lugar:</b>					
<b>Empresa:</b>					
<b>Area:</b>					
<b>Proceso:</b>					
Valores codificados					
Corridas	Dosis de coagulan mg/L	Dosis de floculan mg/L	Velocidad de coagulación RPM	Velocidad de floculación RPM	DQO (mg/l) R1
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					

<b>FICHA DE RECOLECCION DE EXPERIMENTOS PARA EL EXPERIMENTO DE ELECTROCOAGULACIÓN</b>			
<b>Lugar:</b>			
<b>Empresa:</b>			
<b>Area:</b>			
<b>Proceso:</b>			
Corrida	Valor codificado		
	A:Velocidad rpm	B:Tiempo Min	DQO (mg/L)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			

## Informes de ensayo de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

### INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-4688

#### IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-16729
CÓDIGO DEL CLIENTE:				ECUALIZADOR
COORDENADAS:				NO APLICA
UTM WGS 84:				NO APLICA
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				11-05-2021 08:50
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	25,00
Conductividad (*)	µS/cm	NA	0,01	2 120,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	759,0
Demanda Química de Oxígeno (*)	COD as mg O2/L	2,0	5,0	4 005,4
pH (**)	Unidad de pH	NA	0,01	6,88
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	485,00

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(\*\*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

\*-: No ensayado

NA: No Aplica

#### V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

**"FIN DE DOCUMENTO"**

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-8992**

**IV. RESULTADOS**

ITEM	1	2	3	4	
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-31762	M-21-31763	M-21-31764	M-21-31765	
CÓDIGO DEL CLIENTE:	T1R1	T1R2	T2R1	T2R2	
COORDENADAS:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	
UTM WGS 84:	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
SUB PRODUCTO:	Residual Industrial	Residual Industrial	Residual Industrial	Residual Industrial	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA				
FECHA y HORA DE MUESTREO :	27-07-2021 16:50	27-07-2021 17:02	27-07-2021 17:08	27-07-2021 17:00	
<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>L.D.M.</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>RESULTADOS</b>	
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	<0,48	<0,48
				2,40	<0,48

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, \*<= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, \*<= Menor que el L.D.M.

\*: No ensayado

NA: No Aplica