



**Universidad  
Popular del Cesar**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



[www.unicesar.edu.co](http://www.unicesar.edu.co)  
Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217 EXT. 1129  
Línea de atención al ciudadano 01 8000 400380  
Valledupar Cesar Colombia



**Universidad  
Popular del Cesar**  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA



**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y SEMILLA DE  
*Tamarindus indica* COMO TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO PARA REMOCIÓN DE  
ACEITES Y GRASAS EN AGUAS RESIDUALES CÁRNICAS DEL MATADERO MUNICIPAL  
DE AGUSTÍN CODAZZI**

**AUTOR:**

NICOLÁS ARTURO CORZO DAZA

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR - CESAR  
2022**



[www.unicesar.edu.co](http://www.unicesar.edu.co)  
Campus Universitario Sabanas, Of. 105 D. PBX (57) (5) 5848217 EXT. 1129  
Línea de atención al ciudadano 01 8000 400380  
Valledupar Cesar Colombia



**Universidad  
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**Ingeniería  
Ambiental y Sanitaria**

**EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LA CASCARILLA DE ARROZ Y SEMILLA DE  
*Tamarindus indica* COMO TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO PARA REMOCIÓN DE  
ACEITES Y GRASAS EN AGUAS RESIDUALES CÁRNICAS DEL MATADERO MUNICIPAL  
DE AGUSTÍN CODAZZI**

**AUTOR:**

NICOLÁS ARTURO CORZO DAZA

**DIRECTOR / ASESOR:**

HERNANDO CARLOS OÑATE BARRAZA

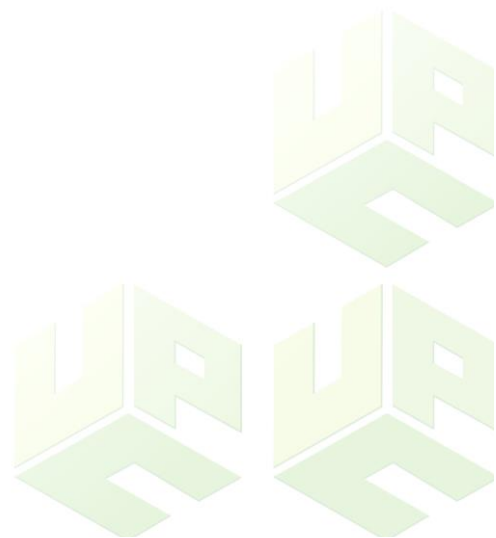
**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR - CESAR  
2022**



### Dedicatoria

A Dios por protegerme, guiarme, darme sabiduría y conocimiento y al universo por conspirar a mi favor y permitirme alcanzar esta meta después de tantos problemas y retrasos.

A mis padres José Alfonso Corzo Maestre y Rosario Elena Daza González y mi hermano José Camilo Corzo Daza por brindarme todo su amor, bendiciones, consejos y apoyo en cada momento de la vida. Por siempre motivarme a seguir adelante y ayudarme a ser la persona que soy hoy en día.



## Agradecimientos

A Dios y al universo, por darme vida, salud y fuerzas para poder superar todo impase que se presentara y así culminar con éxito este proyecto.

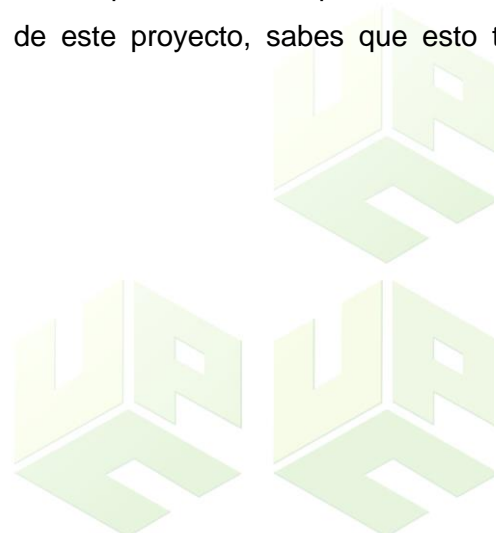
Al señor Mateo y al matadero de Codazzi por permitirnos tomar muestra del agua residual proveniente de este, así como brindarnos la facilidad para recorrer sus instalaciones y conocer cómo se lleva a cabo todo este proceso allí dentro.

Al ingeniero Hernando Oñate por brindar todos sus conocimientos, por facilitar las mejores maneras para abordar todo aquel problema que surgía, por su ayuda a la hora de encontrar el lugar mas optimo para realizar el proyecto y sobre todo por aceptar ser el director de este proyecto.

Al ingeniero Alberto Ajos por su ayuda y colaboración al momento de tomar las muestras de agua, así como para la obtención de las cascarillas de arroz y en todo aquello que estuviera a su alcance para llevar con éxito todo este proceso.

A la ingeniería Melissa Martínez, por todo su apoyo, colaboración, ayuda, consejos y paciencia en la realización de todos los procesos a realizar en los laboratorios y en la ayuda para resolver algunos problemas que se presentaron en el transcurso del tiempo, gracias por todo, por los días de irse tarde y toda la colaboración brindada para la culminación de este proyecto.

Y como lo mejor se deja para último, a mi hermana de otra madre, mi colega y amiga Cristina Isabel Armenta Fuentes (mi tóxica favorita) por todo su apoyo en todos estos casi 5 años de amistad, de pelea, pero siempre apoyándonos el uno al otro, gracias por todos tus consejos, tu apoyo en los momentos difíciles y ayuda en cada problema que tenia tanto personal como académico, aunque tu nombre no esté en la portada de este proyecto, sabes que esto te pertenece mas a ti que a mí.



### Resumen

Se evaluó la eficiencia de coagulantes para el tratamiento de Aguas Residuales de una Planta de Beneficio Bovina ubicada en el municipio de Codazzi-Cesar. Se realizaron pruebas de jarra con los coagulantes semilla de tamarindo en concentraciones de 100, 200, 300, 400 y 500ppm y un ayudante de coagulación cascarilla de arroz en concentraciones entre 10 y 2000ppm los cuales se compararon con el Policloruro de Aluminio (PAC) en concentraciones de 800, 900, 1100 y 1200ppm. Estas aguas también se caracterizaron para los parámetros de pH, Temperatura, Alcalinidad, Turbidez, DQO, Conductividad y AyG, las cuales arrojaron concentraciones promedio de 10.24; 27.14°C; 1109.50mg/L; 1277.83NTU; 7600mg/L; 4780.88  $\mu$ S/cm; 281.25 mg/L respectivamente. La semilla de tamarindo para los parámetros de A y G, DQO y turbidez con 300mg/L como mejor dosis y estando el agua con un pH de 6 dio una eficiencia promedio de 72.42%, 88.33% y 98.61% respectivamente. La Cascarilla de arroz por su lado no presentó un porcentaje de eficiencia en la remoción de estos parámetros. Mientras que el PAC para esos mismos parámetros con 1000mg/L como mejor dosis removió valores de 75.86%, 62.5% y 77%.

Palabras claves: Coagulante, aguas residuales, planta de beneficio.



### Abstract

The efficiency of coagulants for the treatment of Residual Water from a Bovine Processing Plant located in the municipality of Codazzi-Cesar was evaluated. Jar tests were carried out with tamarind seed coagulants at concentrations of 100, 200, 300, 400 and 500ppm and a rice husk coagulation assistant at concentrations between 10 and 2000ppm, which were compared with Polyaluminum Chloride (PAC) in concentrations of 800, 900, 1100 and 1200ppm. These waters were also characterized for the parameters of pH, Temperature, Alkalinity, Turbidity, COD, Conductivity and AyG, which yielded average concentrations of 10.24; 27.14°C; 1109.50mg/L; 1277.83NTU; 7600mg/L; 4780.88  $\mu$ S/cm; 281.25 mg/L respectively. The tamarind seed for the parameters A and G, COD and turbidity with 300mg/L as the best dose and with the water having a pH of 6 gave an average efficiency of 72.42%, 88.33% and 98.61% respectively. The rice husk, on the other hand, did not present a percentage of efficiency in the removal of these parameters. While the PAC for these same parameters with 1000mg/L as the best dose removed values of 75.86%, 62.5% and 77%.

Keywords: Coagulant, wastewater, benefit plant.



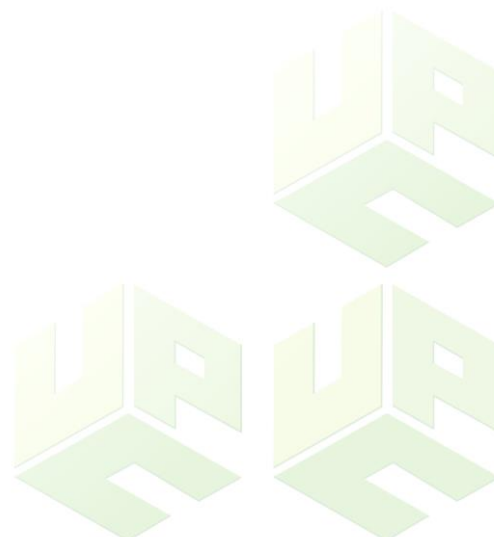


### Tabla de contenido

Introducción .....	1
1. Planteamiento del Problema.....	3
2. Justificación.....	5
3. Objetivos .....	6
3.1 Objetivo General.....	6
3.2 Objetivos Específicos.....	6
4. Marco Referencial .....	7
4.1 Antecedentes de la Investigación.....	7
4.1.1 Antecedentes Internacionales.....	7
4.1.2 Antecedentes Nacionales .....	9
4.1.3 Antecedentes Locales.....	11
4.2 Marco Teórico.....	12
4.3 Marco Conceptual.....	23
4.4 Marco Contextual.....	24
4.5 Marco Legal.....	26
5. Marco Metodológico .....	28
5.1 Línea y Sublínea de Investigación .....	28
5.2 Tipo de Investigación .....	28
5.3 Nivel de Investigación.....	28
5.4 Población de Estudio .....	28
5.5 Muestra Poblacional .....	28
5.6 Diseño Experimental.....	29
5.7 Desarrollo Metodológico .....	30
5.7.1 Etapa 1: Caracterización de las Aguas Residuales del Matadero .....	30
5.7.2 Etapa 2: Determinación del comportamiento de la semilla de tamarindo y casarilla de arroz.....	35
5.7.3 Etapa 3: Comparación de la eficiencia de los coagulantes orgánicos y el PAC en la remoción de A y G .....	40
6. Resultados y Análisis .....	41
6.1 Etapa 1. Caracterización de la Muestra .....	41
6.2 Etapa 2. Determinación del comportamiento de la semilla de tamarindo .....	46
6.3 Etapa 3. Comparación de la Eficiencia de los Coagulantes Orgánicos y el PAC en la remoción de A y G .....	61



7.	Conclusiones.....	67
8.	Recomendaciones.....	68
9.	Referencias Bibliográficas .....	69



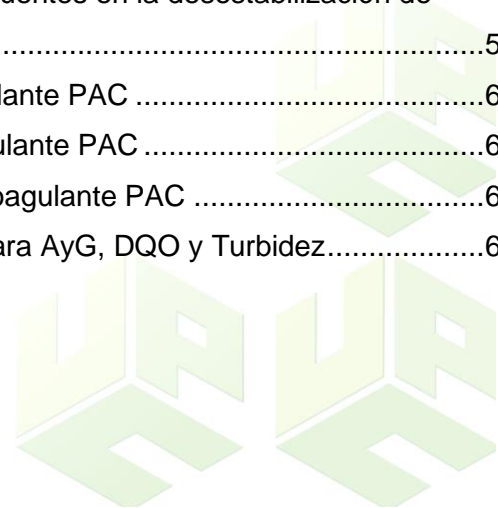
### Lista de Tablas

Tabla 1 Normatividad aplicable al manejo de aguas residuales cárnicas .....	26
Tabla 2 Parámetros vs pH en estudio para el ANOVA de un solo factor .....	29
Tabla 3 Residuos líquidos producidos por las actividades del matadero municipal .....	41
Tabla 4 Caracterización inicial de las muestras de agua residual del matadero .....	44
Tabla 5 Resultados ensayos previos para determinación de la dosis óptima .....	46
Tabla 6 Parámetros de referencia para la dosis óptima de los pH en estudio .....	48
Tabla 7 Análisis de Varianza AyG con respecto al pH.....	48
Tabla 8 Prueba de Tukey para AyG por efecto principal de pH.....	49
Tabla 9 Análisis de Varianza Turbidez con respecto al pH.....	51
Tabla 10 Prueba de Tukey para Turbidez por efecto principal de pH.....	51
Tabla 11 Análisis de Varianza DQO con respecto al pH .....	53
Tabla 12 Prueba de Tukey para DQO por efecto principal de pH.....	53
Tabla 13 Replicas para el tratamiento a pH 6 y dosis de 300mg/L de T. Indica.....	58
Tabla 14 Primer tratamiento cascarilla de arroz .....	60
Tabla 15 Segundo tratamiento cascarilla de arroz .....	60
Tabla 16 Tercer tratamiento cascarilla de arroz .....	60



### Lista de Figuras

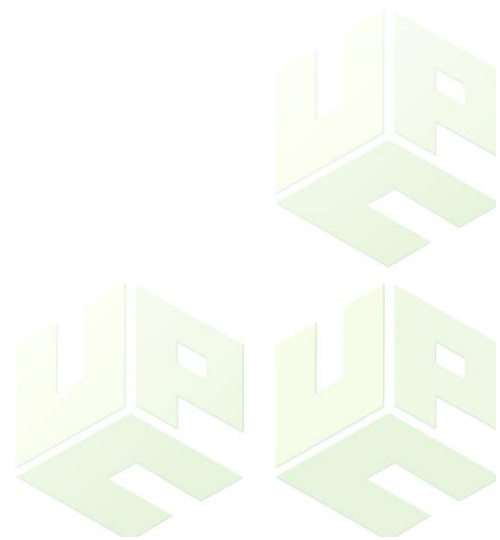
Figura 1 Ubicación de Agustín Codazzi en el Departamento.....	24
Figura 2 Localización del Matadero Municipal.....	25
Figura 3 Toma de muestra y determinación de pH.....	31
Figura 4 Determinación de la Turbidez mediante el turbidímetro .....	32
Figura 5 Determinación de AyG de las aguas residuales .....	33
Figura 6 Determinación de la DQO en las aguas residuales .....	34
Figura 7 Proceso de preparación del polvo de la semilla T. indica .....	36
Figura 8 Obtención del polvo de la cascarilla de arroz .....	37
Figura 9 Pruebas de coagulación- Floculación en el equipo de “Jar- Test” .....	39
<i>Figura 10</i> Relación entre la conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> ) y la concentración de sales (mg L <sup>-1</sup> ) .....	45
Figura 11 ICs simultáneos de 95% de Tukey para AyG .....	50
Figura 12 Gráfica de intervalos de AYG vs. Tratamiento.....	50
Figura 13 ICs simultáneos de 95% de Tukey para Turbidez .....	52
Figura 14 Gráfica de intervalos de Turbidez vs. Tratamiento .....	52
Figura 15 ICs simultáneos de 95% de Tukey para DQO .....	54
Figura 16 Gráfica de intervalos de DQO vs. Tratamiento .....	54
Figura 17 Concentraciones finales de AyG con el coagulante T. indica. ....	56
Figura 18 Concentraciones finales de DQO con el coagulante T. indica .....	57
Figura 19 Concentraciones finales de Turbidez con el coagulante T. indica .....	58
Figura 20 Representación esquemática del modelo de puentes en la desestabilización de partículas .....	59
Figura 21 Concentraciones finales de AyG con el coagulante PAC .....	62
Figura 22 Concentraciones finales de DQO con el coagulante PAC .....	63
Figura 23 Concentraciones finales de Turbidez con el coagulante PAC .....	64
Figura 24 Porcentaje de remoción de los coagulantes para AyG, DQO y Turbidez.....	65





### Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Determinación de Aceites y Grasas.....	32
Ecuación 2. Determinación de DQO .....	34
Ecuación 3. Determinación de Alcalinidad Total.....	34
Ecuación 4. Reacción Oxido- Reducción .....	44



## Introducción

Los avances industriales que se han presentado en el mundo han traído consigo beneficios para la humanidad que no son un misterio, pero estos vienen acompañados de efectos secundarios en el ambiente, este sector genera cada vez más volúmenes de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, los cuales son transmitidos al medio ambiente por medio de cuerpos hídricos, así como también por suelo y aire, llevando de esta manera a la generación de contaminación.

Con el fin de preservar al medio ambiente y con ello garantizar la salud de la humanidad, se hace necesario tomar medidas para tratar estos residuos producto de estas industrias; para ello Colombia y el resto del mundo han planteado normativas con la finalidad de regular las concentraciones de los parámetros químicos, biológicos y físicos de las aguas residuales para que puedan ser vertidas de una manera correcta.

En el municipio de Codazzi, Cesar una industria que se ve involucrada en esto es la industria cárnica; ya que como resultado de sus actividades son generadas grandes cantidades de residuos tanto sólidos como líquidos, en donde sus principales fuentes son las de lavado y aquellas producto de sus procesos de beneficio.

Las aguas residuales de la industria cárnica se caracterizan por tener altas concentraciones de materia orgánica, materia suspendida y coloidal, Aceites y Grasas (A y G) y proteínas. Debido a la problemática que se puede generar por estas cargas contaminantes en el tratamiento de una industria cárnica, se hace necesario la eliminación de estos.

En este orden de ideas, la utilización de coagulantes y/o floculantes así como adsorbentes se plantea como una alternativa para la optimización de las unidades de tratamiento, ya que permite la remoción de materia orgánica presente en las aguas residuales de industria cárnica.

El objetivo de esta investigación es evaluar la efectividad de coagulantes para el tratamiento de las aguas procedentes de la planta de beneficio municipal del municipio de Agustín Codazzi.

La siguiente investigación permite dar a conocer la estructura de la industria cárnica en estudio, así como también el tratamiento utilizado para las aguas residuales, su caracterización, la cual va desde el muestreo, pasando por la metodología utilizada para determinar los parámetros fisicoquímicos y finalizando con el desarrollo de las pruebas de laboratorio que determinan cada una de las dosis óptimas de los coagulantes.

Se presentan los resultados obtenidos durante la fase de experimentación de esta investigación, el análisis y la discusión de este. Estos resultados van de la mano con las diferentes etapas que conforman el proceso para tratar las aguas residuales de una planta de beneficio cárnica, evaluando la manera en la que se comportan los parámetros fisicoquímicos para los diferentes tratamientos con los coagulantes utilizados.



## 1. Planteamiento del Problema

Las industrias cárnicas generan grandes cantidades de aguas residuales por la naturaleza de sus procesos, ya que requieren numerosas operaciones de lavado para mantener la calidad de sus productos y asegurar el cumplimiento de las condiciones higiénicas mínimas exigidas por las normas sanitarias que rigen este tipo de actividades (Decreto 1500 de 2007, Decreto 2270 de 2012 y resolución 240 de 2013). Los efluentes de estas industrias poseen elevadas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos, aceites y grasas (A y G), entre otros, que sin el debido tratamiento puede llegar a afectar los cuerpos receptores (lagos, ríos, lagunas) o sistemas de alcantarillado, contribuyendo así al deterioro de los recursos naturales y el ambiente (Álvarez, et al, 2012).

El matadero del municipio de Agustín Codazzi de acuerdo a la Corporación autónoma del Cesar-Corpopesar en el año 2014, comunicó por medio de una resolución que esta es una planta de beneficio que genera una alta carga contaminante procedente de las diferentes actividades realizadas en el proceso de beneficio, la cual es vertida de una manera inadecuada, generándose así una alteración en el estado de los recursos naturales que se encuentran cercanos a este punto, así como también la proliferación de enfermedades ya que está cercano a viviendas de la comunidad.

Entre los tratamientos primarios para la eliminación de A y G, se encuentra los procesos fisicoquímicos como la coagulación-floculación, donde se busca la aglomeración de las partículas desestabilizadas para su posterior sedimentación. Diferentes investigaciones han demostrado que en este proceso se alcanzan a remover porcentajes superiores al 70%, utilizando para esto sustancias denominadas coagulantes, entre los que cabe mencionar por su precio y fácil adquisición, el sulfato de aluminio y policloruro de aluminio (Briones, et al, 2020; Baldion & Perea, 2019); las desventajas de este tipo de coagulantes inorgánicos se ven reflejadas en la producción de grandes cantidades de lodos no biodegradables, convirtiéndose en una amenaza para el ambiente (Guzmán, et al, 2013). Otros de los tratamientos que han tenido un buen comportamiento en la remoción de A y G es la adsorción, con porcentajes de efectividad de alrededor de 90% (Castillo, 2015; Guilcamaiga, et. al, 2019).

El uso de compuestos orgánicos para el tratamiento de aguas residuales ha sido poco estudiado, ya que aún existen vacíos en su mecanismo de acción y efectividad (Baldion &

Perea, 2019). Por ello, se requiere mayor información sobre este tipo de compuestos naturales en la remoción de contaminantes; así, la presente investigación está encaminada a responder el siguiente interrogante:

¿Cuál es la capacidad de remoción de aceites y grasas de la cascarilla de arroz y semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) como tratamiento fisicoquímico para las aguas residuales cárnicas del matadero municipal de Codazzi?



## 2. Justificación

Las aguas residuales que provienen de las industrias cárnicas son abundantes, esto ya que es necesaria una gran cantidad de agua para llevar a cabo los diferentes procesos, así como también para la conservación de la limpieza y calidad del producto; En estas aguas abundan las altas concentraciones de materia orgánica, aceites y grasas, sólidos suspendidos, además del color rojizo característico debido a la mezcla de la sangre, con el agua utilizada (Caldera, et al, 2017). Por ello se hace necesario la implementación de estrategias que ayuden a la eliminación o reducción de estos compuestos.

Los procesos para el tratamiento, así como para la disposición de los efluentes residuales, que son el resultado de las diferentes actividades por parte de las industrias cárnicas es una de las tareas más importantes para las industrias de este sector, esto no solo por la normatividad vigente, sino también por la conciencia ambiental que se ha venido tomando desde ya hace varios años, para la conservación del medio ambiente y la reducción de los impactos negativos generados hacia él.

Para darle solución a estos problemas se han planteado diferentes tratamientos tanto físicos como químicos, entre los cuales se pueden mencionar la coagulación/floculación, filtración, flotación, entre otros; de los cuales se destaca el de coagulación/floculación, debido a que en la práctica ha demostrado su alta eficiencia gracias a la adición de sustancias, siendo las de origen químico las más utilizadas, pero también a su vez las que causan más daño al ambiente, e incluso a los seres vivos; debido a esto se han comenzado a estudiar a nivel mundial la posibilidad de utilizar compuestos orgánicos para el tratamiento de aguas residuales así como de aguas crudas, arrojando como resultados que los coagulantes de origen natural (llamados también orgánicos) no generan riesgos ambientales como los químicos.

En este sentido y conociendo la situación reportada anteriormente por Corpocesar sobre la planta de beneficio en estudio, se plantea la utilización de la cascarilla de arroz y semilla de *tamarindus indica* como una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del matadero municipal de Agustín Codazzi, con el fin de que se disminuya la carga contaminante generada por todas sus actividades y con ello se dé una sostenibilidad ambiental a los recursos que se ven afectados por este vertimiento.

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo General

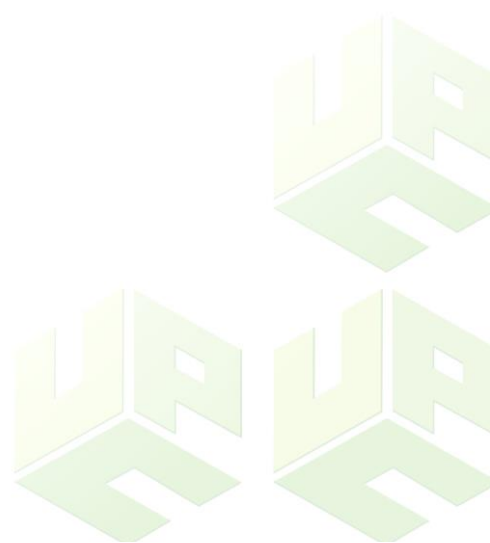
Evaluar la efectividad de la cascarilla de arroz y semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) como tratamiento fisicoquímico para la remoción de aceites y grasas de las aguas residuales cárnicas del matadero municipal de Agustín Codazzi.

#### 3.2 Objetivos Específicos

Caracterizar las aguas residuales provenientes de la zona de sacrificio, con respecto a los parámetros turbidez, alcalinidad, potencial de hidrogeno (pH), temperatura, Demanda Química de Oxígeno (DQO), conductividad, y Aceites y Grasas (A y G).

Determinar mediante el montaje de simulación de prueba de jarras el comportamiento de la semilla de tamarindo y cascarilla de arroz como coagulante y/o ayudante de coagulación en la remoción de A y G.

Comparar la eficiencia de la cascarilla de arroz y semilla de tamarindo con un coagulante comercial (Policloruro de Aluminio, PAC) en la remoción de A y G.



## 4. Marco Referencial

### 4.1 Antecedentes de la Investigación

A continuación, se describen los antecedentes que sirvieron como base para el diseño de la presente investigación.

#### 4.1.1 Antecedentes Internacionales

Guilcamaiga, et al, (2019), desarrollaron su investigación “Adsorción de aceites y grasas en aguas residuales de lavadoras y lubricadoras de vehículos utilizando adsorbentes naturales” con el objetivo de realizar un estudio sobre la remoción de aceites y sólidos suspendidos mediante el uso de adsorbentes naturales (Bioadsorción) y el tratamiento de coagulación-floculación. Su metodología consistió en utilizar compuestos naturales, considerados desechos tales como la hoja de choclo, cascarilla de arroz y cascara de naranja en el proceso de bioadsorción. Se realizaron las pruebas de pH, turbidez, DQO, aceites y grasas antes y después del tratamiento. Luego de someter al agua residual al tratamiento de bioadsorción se determinó que la cascarilla de arroz presentó una mayor remoción de turbidez (80.39%). Después del proceso de coagulación-floculación tuvo una reducción de este parámetro de 454 a 2 NTU (99.11%), una remoción de 99.96% de la DQO y de 99,55% de aceites y grasas. El producto de la investigación fue un bio-adsorbente a partir de los desechos de la agroindustria de arroz con una capacidad de remoción de aceites y grasas superior al 99%, con la ayuda de la coagulación-floculación. Los aportes directos al presente proyecto de investigación es la metodología utilizada para la preparación del bio-adsorbente a partir de la cascarilla. Esta investigación es necesaria ya que establece que este compuesto orgánico (cascarilla de arroz), estudiado en el presente proyecto, podría convertirse en una alternativa para el tratamiento de aguas residuales industriales con altos contenidos de aceites y grasas.

Leitón, L. (2017), en su investigación “Proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de sodas- comedor del Tecnológico de Costa Rica, Sede Central” con el objetivo de optimizar el proceso de tratamiento actual (trampa de grasas) por coagulación-floculación con quitosano como coagulante e hidroxiclورو de aluminio como floculante, de las aguas residuales procedentes de tres sodas-comedor del Tecnológico de Costa Rica. Su metodología consistió en la toma de muestra de las tres sodas a la salida de las trampas de grasa y la caracterización de los parámetros DQO, Aceites y Grasas (A y G), detergentes (SAAM),

Sólidos Sedimentables (SSed), Turbiedad, pH y Temperatura. Luego, a través de un equipo de prueba de jarras determinaron las dosis óptimas del coagulante orgánico y del floculante. El producto de la investigación fue un tratamiento más eficiente que las trampas de grasas utilizadas en los comedores. Los resultados arrojaron que el proceso de coagulación-floculación con quitosano e hidroxiclورو de aluminio tuvo un porcentaje de remoción de G y A (77-93)%, DQO (43-72)%, turbidez (39-100)% y SAAM (96-98)%, teniendo en cuenta que los valores iniciales fueron: G y A (749-268)mg/L, DQO (4963-1159)mg/L, turbidez (161-154)NTU y SAAM (2.9-22.50)mg/L. El aporte directo de esta investigación es la información relacionada con el uso de coagulantes de origen natural en la remoción de G y A de aguas residuales. Esta investigación es necesaria ya que avala el uso de este tipo de coagulantes que posee porcentajes de remoción superiores a los obtenidos con las trampas de grasas.

Castillo (2015), desarrolló su investigación titulada “Diseño de un tratamiento de aguas residuales de lubricado mediante bio-adsorción y coagulación-floculación”; con la finalidad de diseñar un proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado y lubricado de autos utilizando la bio-adsorción y tecnologías de coagulación-floculación, mediante la evaluación del potencial de adsorción del bagazo de caña, aserrín y estopa de coco en la remoción de aceites lubricantes. La metodología fue la siguiente: en primer lugar, se tomaron las muestras y se les realizó su caracterización mediante los parámetros de turbidez, conductividad, pH, DQO, DBO5, tensoactivos, índice de lodos, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), metales pesados, aceites y grasas. Prepararon los bioadsorbentes a base de aserrín, caña de azúcar y estopa de coco y se realizaron las respectivas pruebas de bioadsorción y coagulación-floculación con el equipo de jarras, utilizando como coagulantes el policloruro de aluminio (PAC) y cloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>). Los resultados determinaron que la estopa de coco tiene una alta eficiencia, superior al 95%, en la remoción de aceites y grasas. Adicionalmente, presenta una eficiencia superior al 80% en la remoción de metales pesados y SST (63.53%), DBO5 (60%), DQO (70.1%) y turbidez (99.76%). El aporte directo al presente estudio es la recomendación de la autora que indica que probablemente al aumentar el tiempo de contacto del bioadsorbente y el agua residual la remoción de aceites y grasas será mayor, factor que será evaluado como se indica en el diseño experimental. Esta investigación es necesaria ya que contiene información experimental de los

posibles compuestos naturales, entre ellos la cascarilla de arroz, que poseen propiedades adsorbentes para la remoción de A y G de las aguas residuales.

Guardián y Coto (2011), llevo a cabo su investigación “Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación- floculación de aguas residuales”, con el objetivo de comparar el comportamiento de los coagulantes químicos sulfato de aluminio y cloruro de hierro (III), con el de la semilla de tamarindo en dos tipos de agua residuales, con alta turbiedad (56,8 NTU), proveniente de la industria textil y otra con baja turbiedad (30,3 NTU) del tipo doméstico. La metodología que se siguió fue la siguiente: en primer lugar, para la toma de muestra de las plantas de tratamiento de aguas residuales (industrial y doméstico). Posteriormente realizaron la caracterización de las muestras con respecto a los parámetros: pH, turbidez, sólidos totales, DQO, DBO y alcalinidad. Y finalmente, la eficiencia de los coagulantes químicos y la semilla T. indica se determinó con base a la comparación en la remoción de DQO y turbidez. El producto de esta investigación es un coagulante orgánico a partir de la semilla de tamarindo, poco estudiada hasta ese entonces en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados concluyeron que la semilla de tamarindo no mostró un buen desempeño en la remoción de turbidez para ambas aguas, pero en la remoción de DQO en la muestra de agua de la industria textil presento una ligera diferencia en comparación con los coagulantes químicos utilizados, con un porcentaje de remoción cercano al 44%, además se determinó que la relación DBO/DQO fue de 0.25, estableciendo que el efluente de esta industria es poco biodegradable. Los aportes directos a la investigación son los datos prácticos que permite establecer que la semilla de tamarindo tiene un desempeño similar en la remoción de DQO a los coagulantes como el sulfato de aluminio, donde bien podrían estar incluidos los aceites y grasas por ser considerados de degradación lenta. Esta investigación se hace necesaria para el presente proyecto por ser pionera en el estudio de la semilla de tamarindo como coagulante en el tratamiento primario de las aguas residuales.

#### **4.1.2 Antecedentes Nacionales**

Baldion y Perea, (2019) su investigación “Evaluación del efecto de la harina de semilla de moringa como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de pelambre de una curtiembre en Bogotá” tuvo como objetivo evaluar el efecto de la harina de semilla de Moringa Oleífera como coagulante en el

proceso de coagulación de aguas provenientes del proceso de pelambre de una curtiembre. La metodología utilizada por los autores consistió en la toma y caracterización de la muestra respecto a los parámetros pH, temperatura, G y A, DQO, DBO5, sólidos suspendidos totales (SST), alcalinidad y turbiedad. Luego, procedieron a la determinación de la dosis óptima mediante la prueba de jarras, con el coagulante de moringa y sulfato de aluminio tipo B. El producto de esta investigación fue un coagulante orgánico capaz de alcanzar los valores máximos permisibles en la resolución 0631 de 2015 con respecto a los parámetros SST, turbidez, DQO y DBO5. Los resultados indican que el coagulante químico es levemente más efectivo que el natural, pero este último posee porcentajes promedios de remoción de: Turbidez (93.9%), DQO (74.3%), SST (96.2%), G y A (64.5%), DBO5 (66.4%) y alcalinidad (43.1%). El aporte directo de esta investigación es la evidencia nacional de que los coagulantes de origen vegetal poseen la capacidad de remover G y A de las aguas residuales. Esta investigación es necesaria porque recomiendan utilizar un tipo de aditivo para optimizar el proceso de coagulación de los coagulantes naturales, el cual en este caso será la cascarilla de arroz.

Arias, et al (2017), en su investigación “atamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: Uso del polvo de la semilla de la M. oleífera como coagulante natural”, cuyo objetivo fue aportar evidencias de la eficiencia de la semilla de Moringa oleífera como coagulante orgánico en el proceso de coagulación- floculación de aguas residuales de una central de sacrificio. La metodología utilizada por los autores consistió en la toma de muestra en el efluente de la central y caracterización de los parámetros: pH, turbiedad, color, DQO, DBO5, sólidos suspendidos totales (SST), coliformes fecales y totales. Posteriormente, prepararon el coagulante a base de la moringa extrayendo los aceites y grasas de la semilla para volver más soluble el coagulante en el agua. Finalmente, procedieron a efectuar la prueba de jarras para determinar la eficiencia de la semilla de M. oleífera como coagulante la remoción de los parámetros antes mencionados. El producto de esta investigación fue un coagulante a partir de un compuesto natural, capaz de mejorar las características de las aguas residuales provenientes de dicha central de sacrificio. Los resultados de la investigación arrojaron porcentajes de remoción de 80% y 87% para turbidez y color, respectivamente, para la DBO5, DQO y SST, aunque no alcanzaron porcentajes superiores al 60%, se estableció que la utilización de la semilla como coagulante es un método efectivo como complemento de estos procesos. Los aportes directos al presente estudio son la evidencia práctica de la eficiencia de

la M. Oleífera en la remoción de parámetros en el tipo de agua en estudio (aguas residuales cárnicas), la cual, según Guardian y Coto (2011), posee los ácidos glutámico y aspártico, mismos que se encuentran en la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*), que serían los responsables de la coagulación. Esta investigación es necesaria ya que establece que productos de origen vegetal con propiedades coagulantes puede ser una alternativa que brinda mejorías sobre los tratamientos de aguas residuales provenientes de centrales de sacrificio bovino.

#### **4.1.3 Antecedentes Locales**

Chinchilla y Salazar (2011), en su investigación titulada “Evaluación de la eficiencia de un tratamiento químico con coagulante y/o floculante para la remoción de aceites y grasas en el tratamiento de aguas residuales de la fábrica Dairy Partners Americas – DPA Colombia Ltda, Valledupar”, fue llevada a cabo con el objetivo de evaluar la eficiencia de coagulantes y floculantes durante el tratamiento de las Aguas Residuales de una Industria Láctea (ARIL) ubicada en la ciudad de Valledupar, Cesar- Colombia. La metodología seguida por las autoras consistió en la toma y caracterización de las muestras con relaciones a los parámetros de DQO, SST, N, P, alcalinidad, A y G, pH y turbidez. Posteriormente se realizaron los ensayos de jarras con los polímeros: Coagulante 8100 NALCO®, Floculante 9909 NALCO®, Coagulante 614 EXRO®, y Floculante Flopam AN 934 VHM EXRO®. El producto de esta investigación son los polímeros evaluados como posibles alternativas para mejorar la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales de la fábrica DPA. Los resultados arrojados establecieron que el Coagulante 8100 NALCO® con 140 mg/L como mejor dosis, removió valores de DQO, SST, A y G y turbidez de 57%, 89%, 62% y 90%, respectivamente. Mientras que el Floculante 9909 NALCO® 30 mg/L removió para los mismos parámetros 70%, 83%, 76%, y 74% respectivamente. El Coagulante 614 EXRO®, con la dosis optima de 15mg/L, removió el 77% de DQO, el 92% de SST, el 83% para A y G y el 99,5% de turbidez. El aporte directo a esta investigación es la evidencia experimental que el proceso de coagulación-floculación para la remoción de A y G puede tener una eficiencia superior al 75%. Esta investigación es necesaria porque establece la posibilidad de tratar aguas residuales de este tipo con coagulantes no convencionales.

## 4.2 Marco Teórico

### *Aguas Residuales*

Las aguas residuales están constituidas por materiales derivados de aquellos residuos de origen domésticos o resultado de procesos industriales, las cuales por razones económicas y estética no pueden ser vertidas directamente a lagos u otra fuente hídrica sin haberles realizado previamente un tratamiento.

### *Tipo de aguas residuales*

**Domesticas.** Este tipo de aguas residuales es el agua de los hogares, que se produce básicamente por el metabolismo humano y las actividades del hogar.

**Industriales.** En este tipo de aguas residuales, se abarcan todas las aguas residuales descargadas de sitios con fines comerciales o industriales. Son diferentes de las aguas residuales domésticas y las aguas residuales de fuentes de agua de lluvia.

**Urbana o municipal.** Se refieren a aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales. También incluye agua de lluvia.

### *Parámetros Físicoquímicos Del Agua Residual*

**Turbidez.** Se debe a la presencia de material en suspensión que se haya en el agua tales como limo, materia orgánica y microorganismos. (Andrade & Saurith 2014)

**Alcalinidad.** La alcalinidad es la capacidad que tiene el agua de neutralizar o regular los cambios de acidez. Cuando esta es elevada no supone un riesgo directo en la salud, pero puede provocar daños económicos en tuberías haciendo que estas se obstruyan o tapen; este fenómeno es causado por las sales de bicarbonatos, las cuales reaccionan por la acción del CO<sub>2</sub> que se encuentran disueltos en los acuíferos naturales. (Londoño, et al, 1995)

**PH.** “El pH es una característica que tiene influencia en varios campos; este influye en la corrosión de metales en contacto con ella y en la fijación de determinados químicos” Rüdiger (1975).

**Temperatura.** La temperatura es un parámetro muy importante, pues valores muy bajos (inferiores a 12° C) o altos (superiores a 20° C) producirá interferencia en el proceso de tratamiento. El aumento de la temperatura del agua residual respecto a la temperatura ambiente viene como consecuencia del uso de los calentadores domésticos calderas, que le confieren al agua varios grados más. También algunas industrias contribuyen por sus procesos productivos a elevar la temperatura. Esta mayor temperatura ejerce una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc.

**DQO.** La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumida por sustancias en el agua que pueden oxidarse en condiciones operativas específicas. Esta medida corresponde al valor estimado de las sustancias oxidables presentes en el agua, ya sea orgánica o inorgánica. La medición de la demanda química de oxígeno debe realizarse lo antes posible después del muestreo para evitar la oxidación natural. De lo contrario, si se acidifica con ácido sulfúrico hasta un pH= 2-3, la muestra puede almacenarse durante un período de tiempo. Sin embargo, en presencia de cloruro, esta opción ya no es confiable. (Curt y Fernandez. S.f)

**Conductividad.** La conductividad es una medida de las propiedades que posee una solución para conducir la electricidad. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y temperatura de medición. Para determinar la conductividad, la medida física que se realiza en el laboratorio es la resistencia, en ohmios o mega ohmios. (Sanabria, 2006)

**Aceites y Grasas.** La grasa es un compuesto orgánico formado por carbono, hidrógeno y oxígeno, y es la fuente de energía más concentrada en los alimentos. Pertenecen a un grupo de sustancias llamadas lípidos y se encuentran en forma líquida o sólida. Todas las grasas son una combinación de ácidos grasos saturados e insaturados. (Vidales et al., 2010)

### ***Aguas Residuales De Industria Bovina***

Las aguas residuales industriales son el resultado de actividades industriales. La diversidad de aguas residuales industriales puede ser grande (agua de proceso, limpieza,

enfriamiento, etc.) porque puede contener contaminantes de muy diferente naturaleza. (Andrade & Saurith, 2014)

La mayoría de los procesos industriales utilizan agua de una forma u otra. Una vez utilizada el agua, ya sea devuelta al medio natural o vertido a la red de saneamiento, debe ser tratada antes de su vertido. En el primer caso se debe realizar un tratamiento adecuado para evitar que el derrame cause algún impacto ambiental en el medio receptor; si las aguas residuales se vierten a la red de salud pública, la composición de las aguas residuales debe cumplir con todos los parámetros físicos y químicos de la normativa vigente. Para las aguas residuales industriales que han sido tratadas, existe una tercera opción: la reutilización. (FAO, 1993)

### ***Origen de las aguas residuales de un matadero de bovino.***

Según la FAO (1993), la fuente de aguas residuales de mataderos y plantas de procesamiento depende de actividades que requieren grandes cantidades de agua durante la producción.

La prevención y el control de los desechos y subproductos cárnicos son condiciones necesarias para la economía y la salud pública. La principal fuente de contaminación son las aguas residuales de los mataderos, que incluyen heces, orina, sangre, pelusa, suciedad, residuos de carne, grasa corporal, pisos, utensilios, alimentos intestinales no digeridos, tripas de animales sacrificados y, a veces, vapor producto del proceso tratamientos viscerales. (Andrade y Saurith.2014)

### ***Tipos Existentes De Mataderos***

La FAO en su libro “Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo” escrito por Frederick Veall (1993) establece la siguiente clasificación para los mataderos:

**Mataderos municipales.** Las funciones específicas de los mataderos municipales dependen principalmente de la necesidad de control e higiene de la carne. La función principal es realizar el sacrificio de animales (a precio fijo), preparación de canales y otros servicios que

son brindados a los carniceros relacionados con el procesamiento de carne. Suelen recibir subvenciones de los impuestos locales porque no pueden realizar plenamente otras operaciones previstas por los mataderos privados.

**Cooperativas De Productores.** El funcionamiento del matadero cooperativo de productores se basa en que sus empleados sean utilizados para el sacrificio de animales, la preparación de canales y la recuperación de subproductos de animales en sus correspondientes áreas de producción.

**Empresa Comercial Privada.** El tercer tipo de matadero es de propiedad privada, este puede sacrificar y preparar canales de animales comprados por el propietario o producidos en su propia granja. La carne procesada también se puede vender al por menor, pero el matadero necesitará instalaciones para cortar carne. Por lo general, la propia fábrica de carne es la que da soporte a este tipo de matadero, cuando no es un supermercado o grupo mayorista totalmente integrado, necesita comprar regularmente productos cortados al por menor. Para este tipo de actividad en particular, el matadero de tamaño medio y todas sus partes se considerarán como el mínimo de una opción estrictamente factible.

### ***Tipos Existentes De Planta De Beneficio En Colombia***

De acuerdo al decreto 2270 de 2012 las plantas de beneficio animal para consumo humano se clasifican en:

**Planta De Beneficio Animal De Categoría Nacional.** Es definida como aquella autorizada por el INVIMA para comercializar carne y productos cárnicos comestibles dentro de territorio nacional.

**Planta De Beneficio Animal Categoría De Autoconsumo.** Es aquella que cuenta con autorización del INVIMA para abastecer de carnes al municipio en donde se encuentra operando.

### ***Actividades Llevadas A Cabo En Los Mataderos***

De acuerdo a López. R. (2015) las actividades o fases llevadas a cabo en un matadero son las siguientes:

### **Faenado Inicial.**

**Recepción Y Confinamiento De Las Reses.** En esta etapa las reses se llevan al matadero y son sometidas a ayuno con el fin de disminuir el volumen intestinal y así reducir el riesgo de contaminación de la canal.

**Aturdimiento.** Antes del sacrificio y degüello de los animales, estos son sometidos a un método de aturdimiento con el fin de evitar el sufrimiento, así como por necesidades técnicas. Para esto existen 3 métodos utilizados: mecánico, eléctrico y gaseado.

**Sacrificio.** Las reses son conducidas desde los estables hacia la nave principal del matadero; estas van pasando una por una, quedando atrapadas en un cajon estrecho, donde el matarife las aturde primeramente y luego cuando es izada se le corta el cuello.

**Izado.** Consiste en colgar a la res por las patas traseras para transportarse por las diferentes partes del faenado.

**Desangrado.** Consiste en colocar sobre la cuba al animal sacrificado, donde se recogerá la sangre del mismo. Este procedimiento se puede realizar de manera vertical u horizontal, dependiendo de la posición en la que venga el animal.

**Pelado.** Consiste en la separación de cabeza, cuernos y piel.

**Desollado.** Es el desprendimiento de la piel. Se puede realizar manual o mecánicamente y se realiza por la parte posterior para evitar contaminación microbiológica por contacto con la carne.

**Corte De Cabeza.** Se suele realizar después del desollado. La cabeza será analizada posteriormente.

**Separación y Faenado De Las Vísceras.** La res es abierta en canal, dejando caer de esta manera sus vísceras en una cuba, las cuales son llevadas a una sala especial donde se limpian con agua a presión y son separadas las partes comestibles de las que no.

**Despiece.** Cuando la res es vaciada, esta se divide longitudinalmente y luego presentadas en la inspección post mortem.

**Faenado Final.**

**Lavado.** Las canales son limpiadas con agua fría, con el fin de eliminar los restos de sangre, grasas y otros despejos que hayan quedado.

**Oreo/Refrigeración.** Los canales son transportados hasta una sala de refrigeración cuyo objetivo es mantener estas a una temperatura igual o inferior a 7°C y de 3°C para los despojos.

**Despiece.** Las canales son divididas en partes más pequeñas y deshuesadas.

**Tratamiento De Aguas Residuales En Plantas De Beneficio De Bovinos**

Los tratamientos realizados en este tipo de industria, están determinados por las características del efluente y la economía que disponga la empresa. El propósito del tratamiento de aguas residuales es proteger la calidad de la fuente receptora de las aguas residuales, lo cual se logra mediante el siguiente sistema de purificación: reducción de DBO<sub>5</sub>, SST y coliformes totales. (Guevara y Martínez 2017)

**Pretratamiento.** El método de pretratamiento del agua residual es un método o series de métodos que se llevan a cabo para que el agua residual pueda ser sometida a posteriores procesos convencionales de tratamiento secundario biológico, estos tipos de pretratamiento incluyen: homogenización, rejillas de gruesos, eliminación de arenas y lavado con aire. (Guevara y Martínez, 2017)

**Tratamiento Primario.** Viveros (2016) dice que según el Manual Aguas Residuales Bovinas (2016) el tratamiento primario tiene como función remover aquel material en suspensión o sedimentado de gran tamaño que pueda generar algún problema en las unidades de tratamiento y con ello, disminuir la carga orgánica, lo cual se puede lograr a través de la decantación y la flotación.

**Tratamiento Secundario.** El objetivo principal es reducir el valor de  $DBO_5$ , debe ser un proceso que pueda biodegradar la materia orgánica en productos no contaminantes como  $H_2O$ ,  $CO_2$  y biomasa (o lodos). La biodegradación es el mecanismo principal para eliminar la materia orgánica en las aguas residuales. (Guevara y Martínez 2017)

Por otro lado, la FAO (1993) dice que se necesitarán procedimientos adicionales, principalmente cerca de las zonas urbanas donde se las descargas de los desechos tratados puedan ir a parar a capas freáticas o cerca de ellas. También dice que se necesitan normas superiores a las aceptables para aquellos sistemas de tratamiento en regiones remotas, dentro de los cuales tenemos: Aeróbicos; Procedimiento de cieno activado (convencional); Procedimiento de cieno activado (foso de oxidación); Tratamiento biológico anaeróbico (formación de estanques).

### ***Tecnologías Para El Tratamiento De Aguas Residuales***

**Coagulación.** Es el proceso por el cual los componentes de una suspensión o disolución que se encuentran estables (separados), son perturbados o desestabilizados por superación de las fuerzas que impiden su aglomeración (Aguilar et al., 2002), a través de la adición de una sustancia química o natural, llamada coagulante. Básicamente consiste en una serie de reacciones tanto físicas como químicas entre el coagulante, la superficie de las partículas y la alcalinidad del agua (Arboleda, 2000).

### ***Factores que influyen en el proceso de coagulación***

**Dosis del coagulante.** De acuerdo con Gómez (2005), la cantidad de coagulante está directamente relacionado con la eficiencia del proceso de coagulación así:

- Poca cantidad de coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, por ende, la formación de flóculos será escasa al igual que la remoción de la turbidez.
- Alta cantidad de coagulante puede producir la inversión de la carga de la partícula y los flóculos formados serán demasiado pequeños, lo que produciría una sedimentación muy lenta y no reduciría la turbiedad del agua (poca remoción)

- Dosis óptima, esta debe determinarse experimentalmente, pues varía según el tipo de coagulante y las características físico- químicas del agua.

**Intensidad y tiempo de mezcla.** Se requiere una mezcla adecuada para que el coagulante sea distribuido uniformemente sobre todo el volumen del agua (mezcla rápida), pues las reacciones químicas que allí se presentan suceden en cuestión de segundos y una inadecuada mezcla rápida conduciría al incremento en la producción de compuestos químicos (Gómez, 2005).

**Floculación.** La floculación es el proceso que sigue después de la coagulación, aquí la muestra de agua es sometida a una mezcla lenta con el objetivo de permitir la aglomeración y crecimiento de los coloides para formar el floc, y así poder sedimentar por la diferencia de densidades entre las macropartículas formadas y el agua (Andía, 2000).

**Sedimentación.** En la clarificación del agua se denomina sedimentación al proceso, netamente físico, al que es sometida la muestra de agua después de la coagulación-floculación, que consiste en la remoción de partículas en suspensión, por acción de la gravedad, en el cual las partículas (floc), con mayor peso específico al del agua, precipitaran (Pérez, 1981)

**Prueba de jarras.** La unidad Jar-Test, consiste en un equipo conformado principalmente por una serie de recipientes que contienen el agua problema, dentro de los cuales giran paletas especiales a velocidad controlable. Variando la cantidad de coagulante aplicado para un tiempo determinado de agitación, luego de haber dejado la muestra en reposo, se determinará cual es la dosis que permitió la mayor remoción de turbidez del agua. Esta es utilizada para determinar la cantidad de coagulante optima o dosis optima, pues en la práctica debe determinarse esta concentración experimentalmente, teniendo en cuenta las variaciones que pueda tener el agua en la planta, en lugar de cálculos fundados en generalizaciones y ecuaciones químicas (Unda & Salinas, 2002).

**Coagulante.** Los agentes coagulantes son una serie de sustancias químicas o naturales que son capaces de neutralizar las cargas electroestáticas de los coloides

suspendidos en el agua, permitiendo su aglomeración hasta formar partículas de mayor tamaño de fácil sedimentación (Ortiz et al., 2013).

### ***Tipos De Coagulantes***

**Coagulante Químico.** Los coagulantes químicos o tradicionales mayormente utilizados son las sales de aluminio, por su gran remoción de turbiedad. Sin embargo, el uso de estas sales debe ser controlado ya que podría dejar en el agua cierta cantidad de aluminio residual, este elemento podría alterar el sistema nervioso y está relacionado con el mal de Alzheimer (Dearmas & Ramírez, 2015).

**Coagulante Natural.** Los coagulantes naturales son compuestos polímeros como sacáridos o proteínas de origen vegetal o animal, los cuales pueden ser catiónicos, aniónicos o no iónicos. Son rentables por los bajos costos de producción, poco probable para producir agua tratada con pH extremo, y altamente biodegradables, ayudando a la reducción de lodos resultantes del proceso de clarificación del agua (Salgado, 2018).

### ***Semilla De Tamarindo***

**Características.** Según Salgado (2018), la semilla de tamarindo está compuesta en su mayoría por carbohidratos (57,1%), proteína (13,3%) y agua (11,3%). La fracción proteica está formada mayoritariamente por ácidos glutámico y aspártico, glicina y leucina. Las proteínas, a su vez, se componen sobre todo de ácido 24 glutámico y aspártico, glicina y leucina (Gurdián & Coto, 2011).

**Composición química.** Contiene: 11.3% de agua, proteína 13.3%, grasa 5.4%, carbohidratos 57.1%, ceniza 4.1% y fibra cruda 8.8 %. En la proteína de la semilla, la proporción de aminoácidos esenciales es de 33.6% (Pérez, 2016). Esta es rica en ácido glutámico (18 %), ácido aspártico (11.6 %), glicina (9.1%) y leucina (8.2%), los dos primeros serían los responsables de la coagulación (Guardián & Coto, 2011).

**Usos.** Peña, 2017 establece que los usos más comunes de la semilla de tamarindo son:

•**Industrial.** La pectina que contiene la semilla puede ser procesada y utilizada por industrias de alimentos para dar consistencia a la mermelada o gelatinas.

•**Adhesivo.** Las semillas pulverizadas resultan un buen pegamento debido a la presencia de polisacáridos.

•**Coagulante.** En los últimos años ha surgido como una nueva alternativa que disminuya la utilización de coagulantes químicos, por sus propiedades se ha demostrado que puede alcanzar cerca de un 90% de remoción de turbiedad de aguas crudas (Jara, 2018).

### ***Bioadsorción***

Maron y Prutton (1997), definen la adsorción como un proceso superficial, en el cual un compuesto (adsorbente) concentra o retiene otros compuestos sobre su superficie (adsorbato). Solo ciertos sólidos poseen esta propiedad de adsorción, esto depende tanto de su área superficial como de su porosidad; mientras más pequeño y mayor porosidad tenga el material adsorbente, mayor es el porcentaje de retención (Cuestas, 2020)

Rojas et al (2012), considera que, por lo general al llevar a cabo el proceso de adsorción, al adsorbente utilizado se le debe efectuar un tratamiento preliminar, para ello, en muchos casos es suficiente con realiza un secado durante un periodo de tiempo suficiente para evaporar o eliminar las moléculas de agua presentes en el material, que puedan afectar sus propiedades de adsorción.

Dependiendo del tipo de material, se le puede dar un segundo pretratamiento, a continuación, como la activación química, a través de hidróxido de potasio o ácido fosfórico (Lavado, et al., 2012)

Según lo establecido por Velladares, et al. (2016), existen dos tipos de adsorbentes:

**Convencionales.** Son aquellos compuestos, naturales o sintéticos, sobre los cuales se les debe aplicar un tratamiento especial previo para la activación de sus propiedades adsorbente, entre los cuales se puede mencionar el carbono, las arcillas, las membranas, etc.

**No Convencionales.** Son aquellos materiales de origen vegetal o biopolímeros, los cuales no requieren tratamientos previos especiales.

**Tipos De Adsorción.** Cuestas (2020); Rojas (2012) especifican que existen tres tipos de adsorción:

**Adsorción Física.** Cuando la interacción entre la superficie del adsorbente y las moléculas del adsorbato es debida a las fuerzas de Van der Waals.

**Adsorción Química.** Cuando la interacción entre el adsorbente y el adsorbato se debe a la formación de un enlace químico, mediante enlaces covalentes.

**Adsorción Iónica.** La cual se da cuando ocurre un intercambio de especies químicas (iones), que se mantienen en la superficie.

### **Cascarilla De Arroz.**

La cascarilla de arroz en Colombia, es considerado como uno de los desechos más relevante en la producción de arroz, esto por la cantidad que se genera anualmente (400.000 Ton/año), donde solo un porcentaje inferior al 20% es aprovechado y el resto es incinerado o llevado a los centros de disposición final de residuos sólidos, todo ello reflejado en repercusiones negativas sobre la calidad del ambiente (Lozano, 2020).

Las investigaciones sobre la cascarilla de arroz como material adsorbente, en el tratamiento de aguas residuales, han venido en aumento en los últimos años, ya que ha demostrado propiedades adecuadas para remover porcentajes superiores al 90% de compuestos orgánicos tales como aceites y grasas y colorantes, además de aprovechar este compuesto considerado como residuo en las actividades agroindustriales (Guilcamaiga, et al, 2019; Figueroa, 2012)

La cascarilla de arroz (CA) cuenta con muchas características, algunas malas como que debido a su estructura esta se hace un residuo muy difícil de biodegradar, pero por otro lado al momento de convertirse en cenizas, esto cambia por completo y es que según Rodríguez et al 2019 plantea que gracias a las múltiples propiedades que contiene esta ceniza como el área superficial y la porosidad, estas contribuyen a la erradicación de contaminantes que se encuentran en el agua.

#### 4.3 Marco Conceptual

**Adsorbente.** Es aquel material que tiene como característica el poder aglomerar partículas de tamaño pequeño que se encuentran en el agua, para que así se conviertan en una más grande y poder tratarlas con mucha más facilidad.

**Afluente o influente.** Es el líquido o sustancia que entra al sistema

**Coagulación.** Se define como la desestabilización de los coloides presentes en el agua, cuando a esta se le agrega una sustancia química u orgánica que tiene propiedades coagulantes, para poder así removerlas mediante la precipitación de los flocúlos formados por los coloides y las sales de hierro o aluminio, los cuales son los elementos químicos más utilizados (Berrenchea, 2004).

**Dosis óptima.** Es la menor cantidad de sustancia para obtener los mejores resultados posibles.

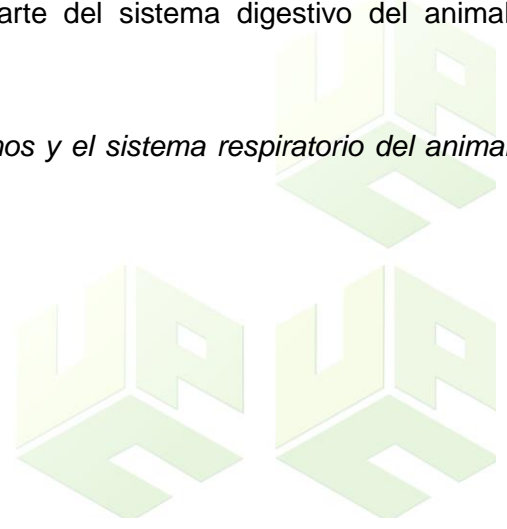
**Efluente.** Es aquel líquido o sustancia que es evacuada o sale del sistema

**Ppm.** partes por millón, unidad de medida

**Test de jarras.** Es una prueba utilizada para la simulación a escala laboratorio del funcionamiento de una planta de tratamiento de agua potable. Permitiendo así determinar la dosis óptima del coagulante.

**Viseras Blancas.** Son aquellas que hacen parte del sistema digestivo del animal. (Arias, 2018)

**Viseras Rojas.** De estas hacen parte los órganos y el sistema respiratorio del animal. (Arias, 2018)



#### 4.4 Marco Contextual

El municipio de Agustín Codazzi está ubicado hacia el norte del departamento del Cesar (Figura 1), a los 10°02'12" de latitud norte y 73°14'13" de longitud oeste. La altura de la cabecera municipal es de 131 metros sobre el nivel del mar.

#### Figura 1

*Ubicación de Agustín Codazzi en el Departamento*



*Nota.* Tomado de Alcaldía Municipal de Agustín Codazzi Cesar (2018)

De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2015), Codazzi posee el 8% del inventario total departamental de bovinos, con cerca de 112 mil reses, convirtiéndose la cría de esta especie en una de las principales actividades económicas del municipio. Además, el PNUD puntualiza que, en materia de producción cárnica, genera más de 8 mil toneladas de manera anual, con alrededor de 21 mil animales sacrificados.

Tal como se muestra en la Figura 2, las instalaciones del Matadero Municipal Agustín Codazzi, se encuentran localizadas en las inmediaciones del casco urbano del municipio, vía La Duda, cuyas coordenadas geográficas son: 10° 2'29.90"N 73°12'23.65"O, conforme al punto ubicado con el sistema de información geográfica Google Earth.

## Figura 2

### Localización del Matadero Municipal



*Nota.* Adaptado de Google Earth, 2021



#### 4.5 Marco Legal

Para el desarrollo de este proyecto se hace necesario hacer uso de la legislación ambiental vigente aplicable a este tipo de investigación relacionada con el manejo de las aguas residuales e industrias cárnicas, la cual se establece en la Tabla 1 del presente ítem.

**Tabla 1**

*Normatividad aplicable al manejo de aguas residuales cárnicas*

Normativa	Contenido
<b>Constitución Política de Colombia</b>	<b>Artículo 79</b> Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano.
	<b>Artículo 80</b> El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental.
	<b>Artículo 95</b> Es deber de toda persona natural o jurídica proteger los recursos naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.
<b>Ley 99 de 1993</b>	“Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones”. Establece los fundamentos de la política ambiental en Colombia.
<b>Ley 09 de 1979</b>	“Por la cual se dictan Medidas Sanitarias”, establece las medidas que regulan y controlan la descarga de residuos provenientes de las actividades humanas que puedan afectar las condiciones sanitarias del ambiente. Art. 10-21 sobre los residuos líquidos. Título V, sobre el sacrificio de animales (mataderos).
<b>Decreto-Ley 2811 de 1974</b>	“Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”. Donde se reglamenta el manejo de los residuos líquidos.



<b>Decreto 1541 de 1978</b>	“Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973". En sus Art. 226-230 sobre los vertimientos por uso industrial.
<b>Decreto 1076 de 2015</b>	“Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”. Capítulo 2, uso y aprovechamiento del agua: Sección 23 Sobre la disposición de aguas residuales de uso industrial. Capítulo 3. Ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos: Sección 10, métodos de análisis y toma de muestra.
<b>Decreto 3930 de 2010</b>	“Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”. En su Art 76 sobre las normas de vertimiento a los sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua.
<b>Resolución 0631 de 2015</b>	“Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”. En sus Art 9 y 16 donde establece los parámetros fisicoquímicos máximos permisibles de las actividades ganaderas (beneficio) a los cuerpos de aguas superficiales y sistemas de alcantarillado.
<b>Resolución 240 de 2013</b>	“Por la cual se establece los requisitos sanitarios para el funcionamiento de las plantas de beneficio animal de las especies bovina, bufalina y porcina, plantas de desposte y almacenamiento, comercialización, expendio, transporte, importación o exportación de carnes y productos cárnicos comestibles”. Donde se establecen los estándares sanitarios de las instalaciones de plantas de sacrificio animal de las especies bovina, bufalina y porcina.

Fuente: Autores 2022



## 5. Marco Metodológico

### 5.1 Línea y Sublínea de Investigación

La línea de investigación del programa de ingeniería ambiental y sanitaria de la Universidad Popular del Cesar es Sostenibilidad y Gestión Ambiental.

La sub-línea de investigación a la que corresponde el presente proyecto es Gestión Integral del Recurso Hídrico.

### 5.2 Tipo de Investigación

De acuerdo con la clasificación realizada por Tamayo y Tamayo (1999), el tipo de investigación es experimental, pues se estableció la relación causa-efecto del coagulante natural *Tamarindus indica* (*T. indica*) y el bio-adsorbente cascarilla de arroz como tratamiento sobre la remoción de aceites y grasas de las aguas residuales del matadero municipal de Codazzi, evaluando su efectividad al compararlo con el tratamiento químico con policloruro de aluminio (PAC), considerando una muestra de control, es decir, aquella que no recibirá ningún tipo de tratamiento.

### 5.3 Nivel de Investigación

Según la clasificación realizada por Hernández, Fernández y Batista (2014), el nivel o alcance de la investigación es explicativo, ya que se centró en explicar la influencia del coagulante orgánico *T. indica* y el bio-adsorbente cascarilla de arroz, como tratamiento fisicoquímico en la remoción de aceites y grasas y el por qué ocurre la remoción de dicho parámetro, además de determinar las condiciones de en las que ocurre esto.

### 5.4 Población de Estudio

La población del presente proyecto de investigación estuvo conformada por las aguas residuales provenientes de las actividades de sacrificio, faenado y lavado de vísceras blancas del matadero municipal de Agustín Codazzi en el Departamento del Cesar.

### 5.5 Muestra Poblacional

La muestra poblacional estuvo conformada por una muestra puntual, para la cual se seleccionó un tipo de muestreo no probabilístico o dirigido, ya que se tuvo en cuenta los días y

jornadas en las cuales se presenta el sacrificio de animales, donde la concentración de aceites y grasas fue alta. Esta muestra tuvo un volumen de 500 ml, con el cual se realizó el proceso de caracterización, determinando los siguientes parámetros: DQO, pH, turbidez, temperatura, alcalinidad, conductividad.

Para Aceites y Grasas (AyG) se tomaron muestras puntuales de 200 ml aproximadamente (Figura 3).

Para la determinación de la dosis óptima de los coagulantes, se desarrollaron montajes pilotos, mediante el equipo de simulación del test de jarras (bioadsorción, coagulación, floculación, sedimentación) tomando una muestra puntual de 20L del agua residual en estudio.

### 5.6 Diseño Experimental

Para la determinación del tratamiento óptimo del coagulante natural *T. indica*, se experimentó con el pH del agua, por ser un factor que influyen significativamente en el proceso de coagulación-floculación (Ojeda 2012; Gómez, 2005). Tomando como variables de respuestas la turbidez, AyG y DQO determinando previamente la dosis óptima para cada pH, como se muestra en la Tabla 2. Cuya hipótesis de investigación es:

Ho: El pH no influye en la eficiencia de remoción de AyG, turbidez y DQO del coagulante natural *T. indica* en las aguas residuales cárnicas.

- Variable independiente: pH
- Variables dependientes: AyG, Turbiedad y DQO.

**Tabla 2**  
*Parámetros vs pH en estudio para el ANOVA de un solo factor*

Dosis	pH 6	pH7	pH9
Dosis optima (mg/L)	(1.1) Turbidez DQO AyG	(2.1) Turbidez DQO AyG	(3.1) Turbidez DQO AyG
	(1.2) Turbidez DQO AyG	(2.2) Turbidez DQO AyG	(3.2) Turbidez DQO AyG

## 5.7 Desarrollo Metodológico

Las etapas que se realizaron para el cumplimiento del objetivo principal del presente proyecto se describen a continuación con sus respectivas actividades.

### 5.7.1 Etapa 1: Caracterización de las Aguas Residuales del Matadero

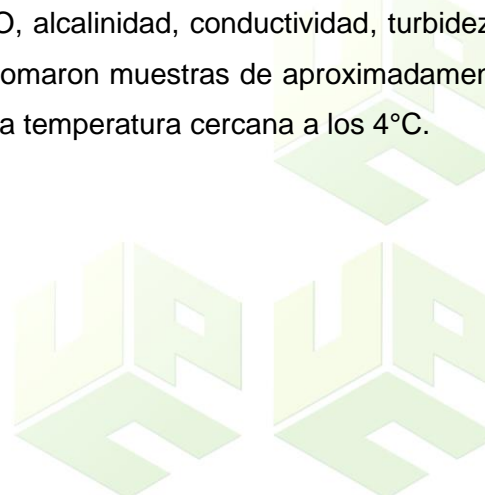
**Actividad 1.1.** Recopilación de la información del Matadero Municipal de Agustín Codazzi.

**Descripción:** Se visitaron las instalaciones del matadero municipal para realizar la caracterización de cada una de las actividades que allí se realizan, en especial, las condiciones de sacrificio y faenado de bovinos. De igual forma, se clasificaron los residuos líquidos que se derivan de dichas actividades y describió el sistema de tratamiento con el que cuentan para el tratamiento de sus aguas.

#### **Actividad 1.2.** Recolección de las muestras

**Descripción:** La recolección de las muestras se realizó teniendo en cuenta los días y horas en el que se presenta mayor flujo de ganado, a través de una muestra puntual, tomada en el efluente proveniente de las zonas de sacrificio y lavado de vísceras blancas, donde las concentraciones del parámetro en estudio (A y G) son altas, por la naturaleza de este tipo de aguas.

Las muestras para el análisis de A y G se recolectaron en frascos de vidrios de 200 ml con cierres herméticos, y para la determinación de DQO, alcalinidad, conductividad, turbidez y las pruebas de adsorción, coagulación- floculación, se tomaron muestras de aproximadamente 20L (Figura 3). Todas las muestras se conservaron a una temperatura cercana a los 4°C.



**Figura 3**

*Toma de muestra y determinación de pH*



*Fuente: Autores 2022*

### **Actividad 1.3.** Caracterización de las muestras

Descripción: La determinación de los parámetros fisicoquímicos (turbidez, conductividad, AyG, DQO, pH, Alcalinidad y temperatura) se realizaron teniendo en cuenta los siguientes procedimientos.

**pH (4500-H+).** De acuerdo con el método potenciométrico, el pH se determinó en el lugar de la toma de muestra (in situ), mediante un lector de pH con electrodo de vidrio, el cual se calibró previamente con soluciones buffers de pH 4 y 7. Se realizó la medición por cada una de las muestras tomadas, introduciendo el pH-metro en estas, hasta que se estabilizara la lectura, tal como se muestra en la Figura 3.

**Turbidez.** Se estableció por medio del método estandarizado 2130B, con un Turbidímetro HACH 2100AN (Figura 4), previamente calibrado. Se midió la turbidez de la muestra por triplicado, tomando posteriormente el promedio de las mismas.

**Figura 4**

*Determinación de la Turbidez mediante el turbidímetro*



Fuente: Autores 2022

**Conductividad.** Se determinó por medio del medidor portátil de pH/Conductividad Thermo Scientific Orion Star A215, siguiendo el método 2150B de APHA-AWWA-WEF, introduciendo el electrodo en una muestra de 50mL, esperando que la lectura fuese constante.

**Aceites y Grasas.** En base a lo estipulado por el método estandarizado 5520- B, se empleó el método gravimétrico para analizar este parámetro. Se utilizaron recipientes de vidrio con un volumen aproximado de 100 ml, estos fueron lavados, secados en un horno (a 105°C durante 1 hora) y pesados hasta lograr peso constante (proceso de tarado). Posteriormente, tal como se muestra en la Figura 5, se utilizó un volumen de agua residual de 100 ml que fue vertido en un balón de separación previamente lavado y secado, luego se le añadió 1 ml de ácido clorhídrico y 15 ml de hexano, que actuaron como solvente; se agitó la emulsión formada durante 5 min y se dejó reposar para así continuar con la separación del agua de la grasa suspendida; se pasó por papel filtro y sal de sulfato de sodio, drenando la fase orgánica, decantando en el recipiente de vidrio descrito inicialmente.

Repetiendo esta extracción 2 veces más por cada muestra, agregando 10 ml de hexano por cada ciclo.

$$AyG \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(p2 - p1)}{V_m} \times 1.000.000$$

Ecuación 1

Dónde:

P1: Peso inicial del recipiente de vidrio (g)

P2: Peso del recipiente de vidrio + muestra de aguas residuales del matadero de Codazzi (g)

Vm: Volumen de muestra, (mL)

## Figura 5

*Determinación de AyG de las aguas residuales*



*Fuente: Autores 2022*

**DQO.** Para la determinación de la DQO se utilizó el método reflujos cerrado (5220C), misma metodología empleada por Andrade y Saurith (2014). Se prepararon tubos de digestión agregando 1 ml de solución de dicromato de potasio 0,025N el cual cumple el papel de oxidante; 3 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) quien aporta el medio ácido; y trazas de sulfato de plata (Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) que actúa como agente catalizador. Luego se adicionaron en cada tubo 2 mL de la muestra, adicionalmente se preparó un blanco, agregando en lugar de la muestra 2 mL de agua destilada. Los tubos se colocaron en un Termorreactor ECO 25 (VELP SCIENTIFICA) por reflujos a 150°C durante 2 horas, después de este tiempo se dejó en reposo por 30 minutos y se procedió a titular, adicionándole 2 gotas de indicador de ferroína a la muestra y usando como titulante al sulfato ferroso de amonio (FAS) que se agregó gota a gota hasta que se tornó de un color rojizo (Figura 6).

La ecuación 2 se utilizó para determinar la concentración de DQO en las muestras de agua residual.

$$DQO \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{[(V_B - V_M)] \times 8000}{V_m} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

$V_B$ : Volumen gastado de FAS (0.1M) por el blanco, (ml).

$V_M$ : Volumen gastado de FAS (0.1M) por la muestra, (ml).

$V_m$ : Volumen de la muestra, (ml).

8000: Peso equivalente del oxígeno multiplicado por 1000 (factor de conversión).

## Figura 6

*Determinación de la DQO en las aguas residuales*



Fuente: Autores 2022

**Alcalinidad Total.** Por el aspecto físico (color rojo y verde oscuro) que presentaban las aguas residuales del matadero, este parámetro se determinó a través del método titulométrico, sin la adición de un indicador, pues no se percibía el cambio en el color de las muestras. Se tituló con ácido sulfúrico al 0.02N y paralelamente se midió el pH con un pH-metro (HANNA) de alta sensibilidad a los cambios de pH, hasta alcanzar un valor de 4.5. Finalmente, se utilizó la ecuación 3 para conocer el valor de la alcalinidad teniendo en cuenta los mililitros gastados.

$$\text{Alcalinidad total} \left( \frac{mg}{L} CaCO_3 \right) = \frac{V_t - N_t \times P_{eq-gr} CaCO_3}{V_m} \times 1000 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

$V_t$ = Volumen de ácido estándar agregado (ml)

$N_t$ = Normalidad del ácido estándar (N)

$V_m$ = Volumen de muestra (ml)

1000: factor de conversión.

**Temperatura.** Se realizó la medición por cada una de las muestras tomadas mediante el método 2550, introduciendo un termómetro digital en estas, hasta obtener una lectura constante.

### **5.7.2 Etapa 2: Determinación del comportamiento de la semilla de tamarindo y cascarilla de arroz**

Para alcanzar el objetivo propuesto en esta segunda etapa se realizaron las siguientes actividades.

**Actividad 2.1.** Preparación del bioadsorbente a base de cascarilla de arroz y solución del coagulante natural *T. indica*

Descripción. Para la preparación y adaptación tanto de la semilla de tamarindo como la cascarilla de arroz se consideró algunas recomendaciones establecidas en la bibliografía consultadas.

**Preparación de la solución coagulante *T. indica*.** Siguiendo la metodología empleada por Jara (2018) y Carrasquero, et al. (2019) en la preparación de la solución coagulante natural *T. indica* y teniendo en cuenta las consideraciones realizadas por Guardian y Coto (2011), se siguieron los siguientes pasos:

1. Las semillas fueron sumergidas en abundante agua para retirarles los posibles restos de fruta que estas tenían.
2. Seguidamente, se hidrataron durante un periodo aproximado de 5 días para que se facilitara la remoción de su testa café que recubre el cotiledón.
3. Luego, estas se sometieron a un secado en horno a 60 °C durante 12 horas, dicha temperatura, para evitar la desnaturalización de las proteínas (Mas y Rubí, et al., 2012).

4. Posteriormente, se realizó la molienda y tamizado del cotiledón para obtener el polvo con un tamaño inferior a 0.15mm, para luego ser almacenado en frascos de vidrio para su posterior uso.

5. Finalmente, se preparó la solución coagulante en una concentración de 50000mg/L o 5%p/v, disolviendo el polvo de la semilla en agua destilada, mezclando esta solución por medio de un agitador magnético durante un periodo de 15 minutos. En la Figura 7 se ilustra el procedimiento anteriormente descrito.

### Figura 7

*Proceso de preparación del polvo de la semilla *T. indica**



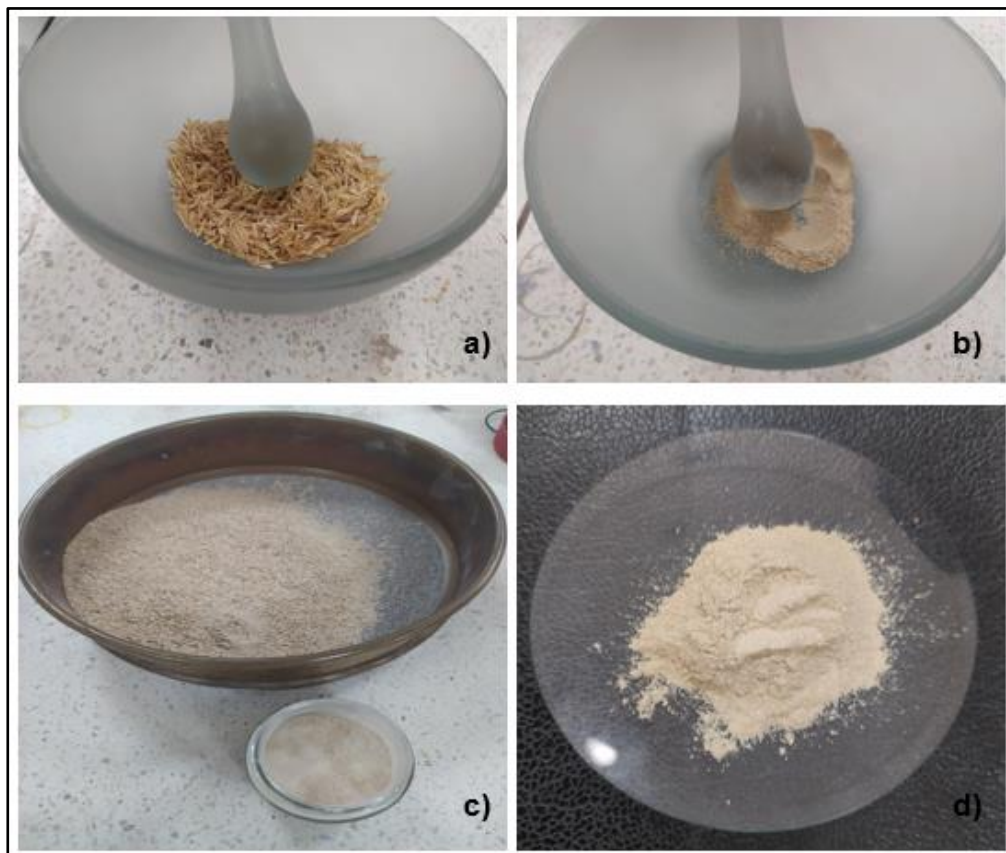
Fuente: Autores 2022

*Nota.* a) Inmersión de las semillas en agua. b) Remoción de la testa café y secado. c) Trituración. d) Tamizado. e) Obtención del polvo. f) Almacenamiento.

**Preparación del bioadsorbente a partir de la cascarilla de arroz.** Según los procedimientos seguidos por Cuestas (2020) y Guilcamaiga (2019) para la adaptación de la cascarilla de arroz como bioadsorbente en la remoción de agentes contaminantes orgánicos y AyG, lo que se hizo en primer lugar fue lavar la cascarilla con agua destilada para remover cualquier suciedad, luego se procedió a introducirlos durante 1 hora en un horno de secado a 60°C, a esta temperatura para evitar que pierda alguna de sus propiedades adsorbentes (superficie específica y grupos funcionales). Seguidamente, se trituró con un molino, para obtener partículas con tamaños inferiores a 1mm. Por último, se tamizó para obtener un tamaño de aproximadamente 0.3mm y se almacenó en frascos de vidrio herméticos para su posterior utilización en los ensayos de bioadsorción.

### Figura 8

*Obtención del polvo de la cascarilla de arroz*



Fuente: Autores 2022

Nota. a) Secado y molienda de la cascarilla. b) Molienda. c) Tamizado. d) Obtención del polvo.

**Actividad 2.2.** Pruebas de coagulación- floculación (prueba de jarras) con *T. indica*

Descripción: Para el procedimiento de coagulación- floculación a escala laboratorio se realizó experimentando con el pH de la muestra, variando el mismo a 6, 7 y 9, esto ya que, de acuerdo con la bibliografía consultada, la semilla presenta un mejor comportamiento en este rango (Irigoin & Monteza, 2020; Guardián & Coto, 2011), con una solución de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a una concentración 1M y HCl al 37% o 12.04M, para aumentar o disminuir este, respectivamente.

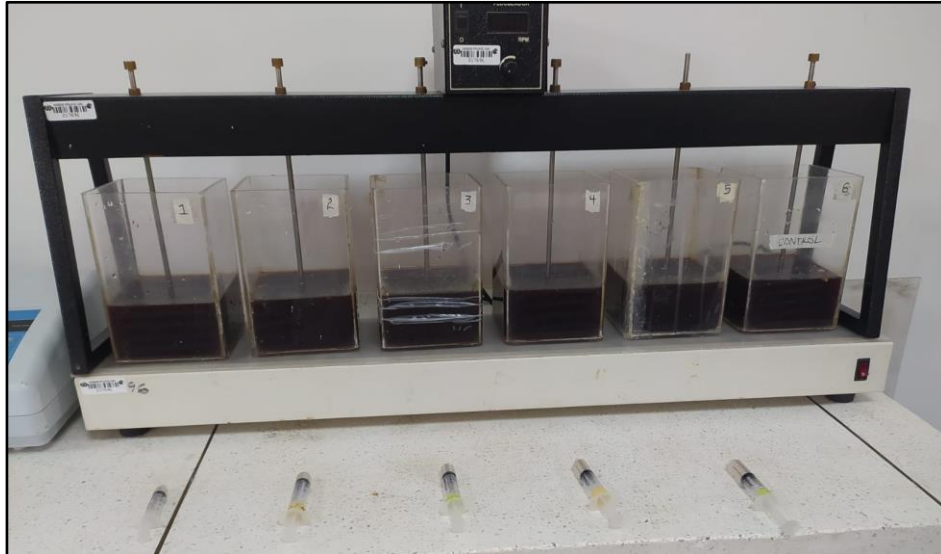
La prueba de jarras se ejecutó de la siguiente manera según lo establecido por Salgado (2018), aplicando algunas modificaciones:

1. Se procedió a verter la cantidad de 1000mL a cada una de las jarras del equipo “Jar-test” dejando un blanco o también denominado control, como se muestra en la Figura 9.
2. Se ajustó la velocidad de agitación para la mezcla rápida (150rpm), agregando de manera simultánea y rápidamente el coagulante natural *T. indica*, en cada una de las jarras, a excepción del control, esto por un periodo de 1 min.
3. Luego de transcurrido el periodo de mezcla rápida, se disminuyó la agitación a 40 rpm (mezcla lenta), durante 20min.
4. Se tomó un tiempo de sedimentación de 30 min, y se procedió a medir la turbidez como parámetro de referencia para determinar la dosis óptima del coagulante en cada uno de los montajes de los pH's en estudio (6,7 y 9).
5. Posteriormente, la jarra que presentó la menor turbidez en los diferentes pH, se le midieron los parámetros de AyG y DQO, de igual forma con la jarra control.

**pH óptimo.** Se determinó el pH óptimo, tomando como referencia la mayor remoción de AyG de las jarras con la menor turbidez encontrada, realizando un Análisis de Varianza-ANOVA de un solo factor. Luego de establecer el pH en el que la semilla presentó un mejor comportamiento en cuanto a la remoción de AyG, DQO y turbidez, se precedió a ejecutar un nuevo montaje del test de jarras con este pH y midiendo a concentraciones de 100, 200, 300, 400 y 500mg/L del coagulante *T. indica*, los parámetros anteriormente mencionados.

**Figura 9**

*Pruebas de coagulación- Floculación en el equipo de “Jar- Test”*



*Fuente: Autores 2022*

### **Actividad 2.3.** Ensayos de bioadsorción con cascarilla de arroz

Descripción. En la remoción de AyG de las aguas residuales cárnicas provenientes del matadero municipal, mediante el proceso de bioadsorción con la cascarilla de arroz, se experimentó con el tiempo de mezcla rápida (1min y 20min), mezcla lenta (existencia o no), estado del bioadsorbente (sólido o en solución), para ello, se propusieron los siguientes tratamientos:

1. Primer Tratamiento. Se siguió la metodología establecida por Castillo (2015), la cual consistió en mezclar durante un periodo de 20min a 150 rpm, utilizando para ello el equipo de jarras, con distintas dosis del bioadsorbente en estado sólido. Para esto, en cada jarra se vertió un (1) L de agua residual, se ajustó la velocidad, se dejó reposar durante un periodo de 10 min y finalmente, se midió la turbidez a cada una de las jarras.

2. Segundo Tratamiento. Se hizo uso de la cascarilla en estado sólido, vertiendo un (1)L de la muestra en cada una de las jarras del equipo, sometiéndola a una mezcla rápida (150rpm) durante 1 min, posteriormente a una mezcla lenta (40rpm) por un periodo de 20 min y un tiempo de sedimentación de 30 min, utilizando diferentes dosis del bioadsorbente. Luego, se determinó la turbiedad para establecer la dosis que permitiera la mayor remoción.

3. Tercer Tratamiento. Consistió en preparar una solución madre de 50000ppm, verter un (1)L de las aguas residuales en cada una de las jarras, realizando una mezcla rápida (150rpm) durante 1 min, posteriormente una mezcla lenta (40rpm) durante 20 min y un tiempo de sedimentación de 30 min, para posteriormente medir la turbidez como parámetro de referencia.

### **5.7.3 Etapa 3: Comparación de la eficiencia de los coagulantes orgánicos y el PAC en la remoción de A y G**

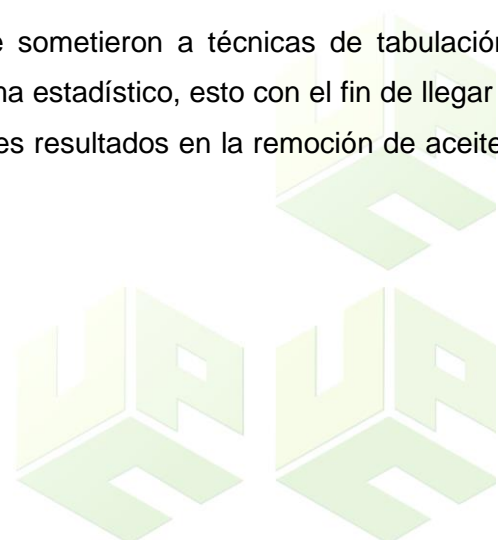
Finalmente, para lograr el objetivo principal de la presente investigación su última etapa contó con las actividades descritas a continuación.

#### **Actividad 3.1. Pruebas de coagulación-floculación con PAC**

Descripción: En las pruebas de coagulación-floculación con el PAC se tuvo como base el procedimiento seguido por Oñate (2011), agregando el coagulante químico inmediatamente al comenzar la mezcla rápida a 150rpm por 1min, luego someterla a una mezcla lenta a 40rpm durante 20 minutos y un tiempo de sedimentación de 1 hora y 20 min. Para esto, se utilizó una solución madre 50000ppm, diluyendo la misma en cada una de las jarras a concentraciones de 800, 900, 1000, 1100 y 1200ppm, dejando una jarra como blanco o control para determinar la remoción real del PAC.

#### **Actividad 3.2. Procesamiento de datos y análisis de resultados**

Descripción: Los resultados de las pruebas se sometieron a técnicas de tabulación, gráficas y comparación de datos a través de un programa estadístico, esto con el fin de llegar a la selección de aquel tratamiento que generó los mejores resultados en la remoción de aceites y grasas.



## 6. Resultados y Análisis

En el presente ítem se presentan los resultados obtenidos en cada uno de las etapas planteadas anteriormente.

### 6.1 Etapa 1. Caracterización de la Muestra

#### *Recopilación de la Información*

Las actividades principales realizadas durante el proceso de sacrificio y faenado se describen en la Tabla 3, donde además se especifican los residuos líquidos desprendidos de cada uno de ellos durante el muestreo realizado.

**Tabla 3**

*Residuos líquidos producidos por las actividades del matadero municipal*

Actividad	Descripción	Residuos líquidos
Insensibilización	Este proceso se realiza con la finalidad de romper la comunicación del cerebro con la medula para que el animal pierda por completo el sentido y evitar que sienta algún tipo de dolor.	---
Izado y desangrado	Se iza al bovino de la extremidad derecha inferior y luego se corta por el cuello rompiendo los vasos sanguíneos para que haya una mayor evacuación de la sangre	Agua mezclada con sangre
Retiro de patas y cabeza	Se cortan las patas anteriores y posteriores. Por último, se corta la cabeza liberando restos de sangre.	Agua mezclada con sangre
Desuello	En el retiro de la piel animal, se realiza un corte desde abajo hacia arriba para reducir los riesgos de contaminación, retirando la misma de manera manual.	Agua mezclada con sangre
Corte de esternón y Eviscerado	Se efectúa el corte del esternón del bovino y se extraen las vísceras, manteniendo al bovino izado en el riel. Este proceso es realizado en un intervalo de tiempo inferior a 20 min, luego de la insensibilización del bovino.	Agua mezclada con sangre
Escaldado y precocido (Lavado de vísceras blancas)	Las vísceras caen en un tanque de remojo, de aproximadamente 200L, en una solución de agua con cal viva (CaO) (escaldado) y posterior precocido. Este proceso elimina todo rastro de estiércol, mucosa, grasa o cualquier otro fluido del animal. Luego se hace una limpieza manual para	Solución con presencia de cal y NaCl con presencia de residuos de estiércol

---

	eliminar cualquier exceso de grasa o suciedad que pueda presentar. Se salan los librillos utilizando NaCl para su conservación y posterior comercialización por terceros.	
Lavado de vísceras rojas	Para lavado de vísceras rojas como el hígado, el corazón, los pulmones y riñones, se realiza una limpieza manual para el retiro de algún tipo de contaminante y posteriormente es lavado con una manguera de agua a presión para la remoción de compuestos indeseados remanentes.	Agua mezclada con sangre

---

Fuente: Autores 2022

### **Sistema de tratamiento de las aguas residuales del Matadero**

De acuerdo con la Corporación Autónoma Regional del Cesar- CORPOCESAR (2016) y las visitas realizadas al matadero municipal de Codazzi, el sistema de tratamiento de las aguas residuales está compuesto por:

**Trampas de Grasas.** El efluente proveniente de las actividades del matadero se somete a un primer tratamiento físico, donde es retenido en 3 compartimientos, tratando de asegurar el tiempo suficiente para la separación de los AyG de las aguas. Estos no cuentan con rejillas, por ello, los residuos sólidos de mayor peso sedimentan y los AyG flotan, evitando de esta forma que estos contaminantes interfieran en el tratamiento biológico posterior, al cual el agua llega por gravedad.

**Lagunas de Estabilización.** Poseen dos lagunas de estabilización, las cuales tienen como función principal la remoción de la materia orgánica que se encuentra presente en este tipo de aguas, esto por la acción degradativa de los microorganismos presentes. No se percibieron olores ofensivos durante las visitas realizadas, pero, su mantenimiento podría realizarse con mayor frecuencia, dado que se visualiza maleza de alturas considerables a su alrededor.

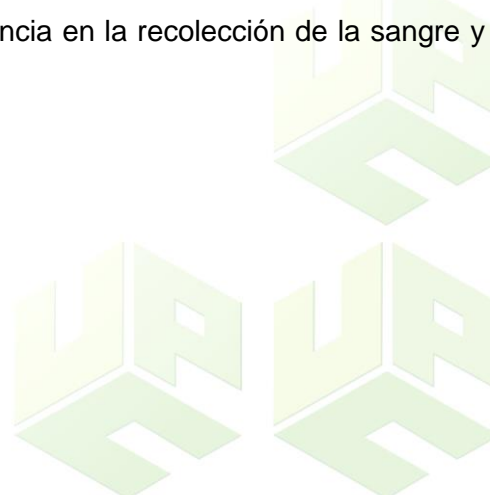
**Descarga del Efluente.** Luego del paso por las lagunas, la descarga de estas aguas se realiza a través de una tubería, la cual llega hasta predios vecinos donde se infiltra dicho efluente en el suelo. Así mismo, la resolución expedida por CORPOCESAR (2016), precisa que estas aguas presentan una alta carga contaminante.

Cabe aclarar que, esta descripción se realizó de manera general, pues no fue posible acceder a los planos y especificaciones técnicas del sistema.

### ***Caracterización de las Muestras***

En la Tabla 4 se visualizan los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales provenientes de las zonas de sacrificio, faenado y lavado de vísceras blancas del matadero sin ningún tipo de tratamiento previo, tomadas en el periodo comprendido entre los meses de septiembre y noviembre del 2021. Mostrando que, el promedio de los parámetros tales como el pH, DQO y AyG no cumple con la normativa vigente de vertimientos en Colombia (Resolución 0631 de 2015), exceptuando la temperatura, donde su valor se encuentra dentro del rango permitido  $<40^{\circ}\text{C}$ . Respecto a la conductividad y turbidez, no se establece un valor máximo permisible, sin embargo, presentan valores elevados.

Estas aguas residuales presentan una variabilidad notoria en los parámetros de alcalinidad, conductividad, turbidez, pH y, en menor proporción, de DQO y AyG, los cuales, de acuerdo con los datos recolectados, se encuentran en función de la concentración de las sustancias utilizadas para el proceso de lavado de las vísceras blancas y número de animales sacrificados. Estableciendo de este modo que, cuanto mayor son los bovinos sacrificados, los valores de estos parámetros aumentan, teniendo en cuenta que este número de rumiantes varió entre 14 y 24, coincidiendo este último con los valores máximos alcanzados por los parámetros. Tal como lo encontrado Oñate (2011), en su investigación llevada a cabo en un matadero de aves, donde dichos valores dependían principalmente del movimiento de animales en la planta de beneficio y otros factores como la eficiencia en la recolección de la sangre y el manejo del agua en el proceso industrial.



**Tabla 4**

*Caracterización inicial de las muestras de agua residual del matadero*

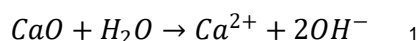
Parámetro	Unidades	Máx.	Mín.	Promedio	Valor permisible descarga a fuentes superficiales*
pH	--	11,63	8,63	10,24	6-9
Temperatura	°C	27,80	26,13	27,14	40°C
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	3146	280	1109,50	Análisis y Reporte
Turbidez	NTU	2575	231	1277,83	--
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	8000	6400	7600,00	900
Conductividad	µS/cm	7865	1534	4780,88	--
Aceites y Grasas	mg/L AyG	360	220	281,25	50

*Fuente: Autores 2022*

*Nota. \* Resolución 0631 de 2015*

**pH y Alcalinidad.** La alcalinidad y el pH presenta valores elevados a causa del uso de la cal en el proceso de escaldado para la limpieza del rumen de los bovinos, la cual le adiciona un alto contenido de iones hidroxilos (Ecuación 4), ya que este compuesto se comporta como una base en disolución acuosa, reaccionando con el hidrogeno presente en el agua, aumentando los valores de dichos parámetros (Baldión y Perea, 2019). La relación existente entre la alcalinidad por iones OH<sup>-</sup> y pH, es explicado por Barrenechea (2004) y Snoeyink & Jenkins (2002), donde en pH superiores a 11, la alcalinidad de dichas aguas es atribuida a la presencia de los mismos, disminuyendo la alcalinidad ocasionada por carbonatos y bicarbonatos, siendo denominada también alcalinidad caustica o hidroxilica.

*Ecuación 4*



**DQO.** La concentración promedio de este parámetro fue de 7600mg/LO<sub>2</sub>, debido a la presencia de sangre, estiércol y los residuos del proceso de escaldado, compuestos que favorecen el aumento de la materia orgánica (Becerra & Díaz, 2014). Estos valores son superiores a los encontrados por Andrade & Saurith (2014) y Becerra & Díaz (2014) en sus investigaciones llevadas a cabo en plantas de beneficio de ganado, con promedios de 5681mg/L y 4754mg/L, respectivamente.

<sup>1</sup> Ecuaciones Químicas (s.f.). Disponible en:

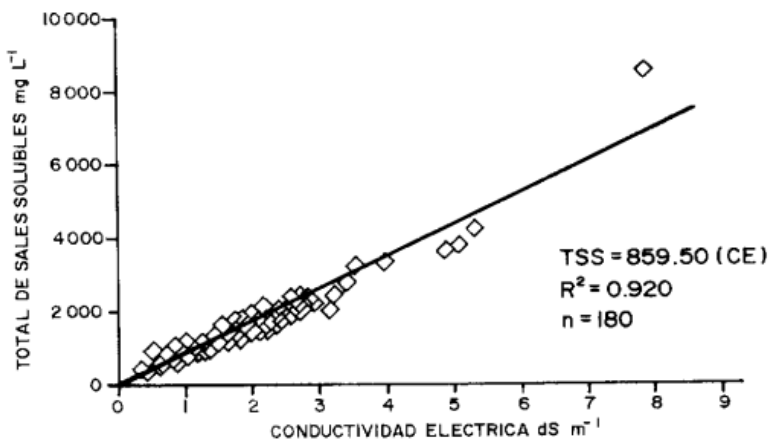
<https://chemequations.com/es/?s=H2O%20%2B%20CaO%20%3D%20Ca%20%2B%20OH&ref=search>

**AyG.** Por otro lado, los AyG presentes en las aguas residuales del matadero de Codazzi fue de 281.25mg/L, inferior al promedio encontrado por Becerra & Díaz (2014), pues dichas investigadoras registran una concentración de 410mg/L, lo cual se explicaría por los altos contenidos de sangre y tejido adiposo del ganado desprendido en las actividades de desuello y escaldado. Así mismo, comparando estos valores con los obtenidos por Andrade & Saurith (2014) son superiores, ya que mostraban un promedio de 54.31mg/L de AyG. Cabe recalcar que la remoción de este tipo de contaminante se convierte en uno de los principales objetivos de los tratamientos primarios por cuanto su acumulación en los sistemas biológicos posteriores disminuye la capacidad de reducción de otros tipos de contaminantes (Riccio, 2010; Caldera, et al, 2011).

**Conductividad.** Se ubica en un rango alto entre 1534- 7865  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y estaría vinculado con la utilización del NaCl (sal común) para la conservación del omaso, también denominado librillo o tercer estomago de los rumiantes. Lo cual, concordaría con lo planteado por Baldión y Perea (2019), en su investigación llevada a cabo en una curtiembre, donde este parámetro se encontraba por encima de los 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  por el uso de este compuesto en las pieles para su deshidratación. Esta relación de concentración de sales solubles y conductividad en aguas residuales es representada gráficamente por Velázquez et al. (2002) en la Figura 10, donde a medida que el contenido de sales se incrementa, los valores de dicho parámetro también.

### Figura 10

*Relación entre la conductividad eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) y la concentración de sales ( $\text{mg L}^{-1}$ )*



*Nota.* Tomado de *Relación funcional PSI-RAS en las aguas residuales y suelos del valle del Mezquital*, Hidalgo, México (p. 462), por Velázquez et al. (2002).

## 6.2 Etapa 2. Determinación del comportamiento de la semilla de tamarindo

### Pruebas de Coagulación- Floculación

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos previos, en donde se tomó como referencia el porcentaje de remoción de turbidez para determinar la dosis óptima de coagulante para cada pH utilizado; teniendo en cuenta que este último es usado como indicativo de contaminación en el tratamiento de aguas residuales (Rivera, 2017; Baldión & Perea, 2019; Dearmas & Ramirez, 2015).

**Tabla 5**

*Resultados ensayos previos para determinación de la dosis óptima*

pH	Dosis (mg/L)	Turbidez Inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)	Eficiencia (%)	Promedio Eficiencia (%)
6	0	1925	79.2	95,89	95,94
	0	1925	77.1	95,99	
	300	1925	36.1	98,12	98,25
	300	1925	31	98,39	
	400	1925	59.1	96,93	97,11
	400	1925	52.1	97,29	
	500	1925	67.2	96,51	96,52
	500	1925	66.8	96,53	
7	0	1990	129	93,52	93,64
	0	1990	124	93,77	
	300	1990	89	95,53	95,55
	300	1990	87.9	95,58	
	400	1990	87	95,63	95,95
	400	1990	74.1	96,28	
	500	1990	74.2	96,27	96,34
	500	1990	71.3	96,42	
9	0	2266	233	89,72	89,87
	0	2266	226	90,03	
	300	2266	130	94,26	94,33
	300	2266	127	94,40	
	400	2266	131	94,22	94,26
	400	2266	129	94,31	
	500	2266	140	93,82	93,75
	500	2266	143	93,69	

Fuente: Autores 2022

Teniendo en cuenta los parámetros determinados en el presente estudio, se establece que, cuando las aguas residuales provenientes del matadero de Agustín Codazzi poseen valores iniciales de alcalinidad ( $>1200\text{mg/L CaCO}_3$ ), conductividad ( $>7700\ \mu\text{S/cm}$ ), y pH ( $>11$ ), con solo disminuir el pH a un valor aproximado de 9, la remoción de turbidez es mayor al 89%. Lo cual podría adjudicarse al punto isoeléctrico de las proteínas presentes en las muestras bajo la forma de coloides, es decir, el pH en el que son desestabilizadas y la repulsión electrostática es vencida, lo que permite su aglomeración y posterior precipitación (Oxford University Press, 2000, pp.850). Esto se puede comparar con lo encontrado por Ames, et al. (2017) en su investigación relacionada con el tratamiento de aguas residuales con un polielectrolito y carbón activado, estos variaban el pH del efluente proveniente de la producción industrial de las salsas orientales de soya, hasta alcanzar el punto isoeléctrico de las proteínas que permitieron su acumulación y caída por su propio peso, logrando una turbidez promedio final de 7.25 NTU, que representa una efectividad del 82%. Cabe mencionar que, si bien el pH juega un papel fundamental en este tipo de tratamientos, la conductividad también se encuentra involucrada, ya que puede dar un indicativo de la concentración de sales disueltas en el agua (Figura 4), que afecta la solubilidad de las proteínas, por lo cual, entre mayor sea la concentración de sales menor será la solubilidad de las mismas, facilitando su precipitación (Gonzales, et al., 2013; Allen 2004 citado por Quintín, 2010).

A la vista de los datos de la Tabla 6, las mayores eficiencias logradas por la semilla de tamarindo *T. Indica* en la remoción de turbiedad se encontraron con la dosis de 300mg/L a pH de 6 y 9, y de 500mg/L a pH 7, con porcentajes de remoción de este parámetro superiores a los obtenidos por Irigoín & Monteza (2020) en el tratamiento del agua residual proveniente del Camal municipal, con el uso de las semillas de tamarindo, logrando porcentajes de 45.29% a pH 6, 27.35% a pH 7.5 y 14.35% a pH 9, con 600mg/L para los dos primeros y 200mg/L para el último, considerando los contrastes en las condiciones iniciales de la muestra, donde presentaba un pH neutro de 7.4, turbidez de 223NTU y su conductividad se encontraba en 3370  $\mu\text{S/cm}$ .

En la Tabla 6, se observan los valores de turbidez, AyG y DQO residuales de cada una de las dosis óptimas determinadas para cada pH, así como el control, el cual fue utilizado para el análisis de varianza- ANOVA de un solo factor, realizado por parámetro.

**Tabla 6**

*Parámetros de referencia para la dosis óptima de los pH en estudio*

pH	Replica	Dosis optima (ppm)	Turbidez (NTU)	Aceites y Grasas (mg/L)	DQO (mg/L)
Control 6	1	--	79.2	141	6000
	2	--	77.1	138	6000
6	1	300	36.1	56	1600
	2	300	31	60	1200
Control 7	1	--	129	141	6000
	2	--	124	138	6000
7	1	500	74.2	110	2400
	2	500	71.3	110	3200
Control 9	1	--	233	180	7200
	2	--	226	165	7200
9	1	300	130	90	4800
	2	300	127	100	3600

*Fuente: Autores 2022*

**AyG.** En la Tabla 7 se presenta el valor p (0.00001) del ANOVA para los AyG, el cual nos indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores residuales de este parámetro para los diferentes pHs estudiados, por lo tanto, se interpreta que el pH si influye en la eficiencia de remoción de AyG del coagulante *T. Indica*, a un nivel de confianza del 95%, con lo cual se rechaza la hipótesis nula planteada inicialmente y es posible aceptar la hipótesis alternativa para este coagulante.

**Tabla 7**

*Análisis de Varianza AyG con respecto al pH*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
pH	5	16161,4	3232,28	108,04	<b>0,00001</b>
Error	6	179,5	29,92		
Total	11	16340,9			

*Fuente: Autores 2022*

Aplicando el método de Tukey con un nivel de confianza del 95% (Tabla 8), para determinar el pH en el que se presenta la mayor remoción de AyG, se determina que la media obtenida de este parámetro para la dosis de 300mg/L a pH 6 es menor y existe una diferencia estadísticamente significativa entre todas demás medias, luego del proceso de coagulación-floculación-sedimentación al cual son sometidas las muestras. Además, el control (sin coagulante) a un pH 9 también posee una diferencia significativa entre todas las medias por poseer el valor más elevado, en consecuencia, es válido decir que para este pH la eliminación de AyG es menos eficiente, pero con la adición del coagulante *T. indica*, presenta eficiencias similares a las obtenidas a pH 7 con la dosis de 500mg/L. En la Figura 11, se presenta gráficamente las diferencias de las medias para AyG.

De acuerdo con la desviación estándar agrupada (6.123) y un intervalo de confianza (IC) del 95% en la Figura 12, se muestran los intervalos de confianza para los AyG con los diferentes tratamientos, donde se muestra que la menor de las medias corresponde a la dosis de 300mg/L de coagulante orgánico y pH 6, seguida de la dosis de 300mg/L a pH9 y posteriormente la dosis de 500mg/L a pH 7. Determinando que entre el control de los diferentes pHs y la dosis optima del coagulante para cada uno de ellos, también existe una diferencia estadísticamente significativa, y a partir de allí inferir que la eficiencia en la remoción de AyG del coagulante de la semilla de tamarindo es mayor a pH ácidos.

**Tabla 8**

*Prueba de Tukey para AyG por efecto principal de pH*

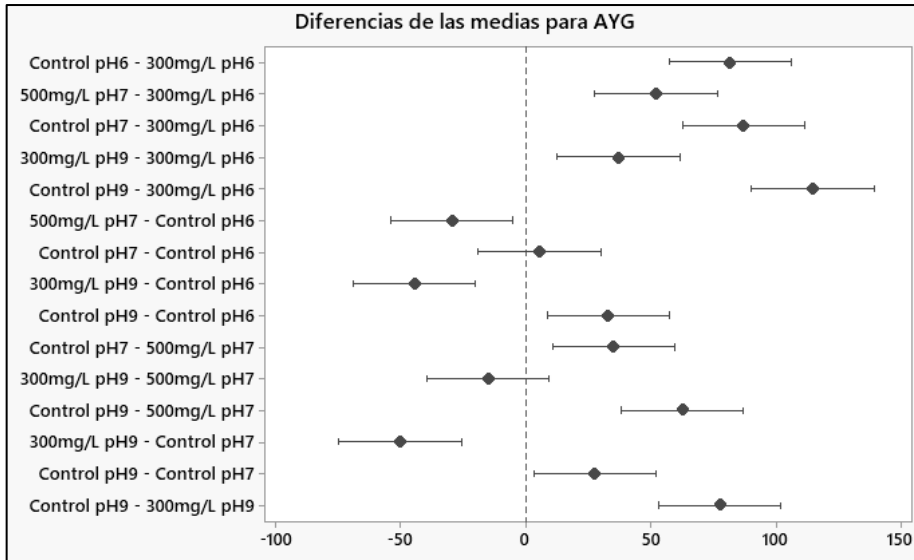
Tratamiento	N	Media de AyG residuales	Agrupación
Control pH 9	2	172,50	A
Control pH 7	2	145,00	B
Control pH 6	2	139,50	B
500mg/L pH 7	2	110,0	C
300 mg/L pH 9	2	95,00	C
300 mg/L pH 6	2	58,00	D

*Fuente: Autores 2022*

*Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

**Figura 11**

*ICs simultáneos de 95% de Tukey para AyG*

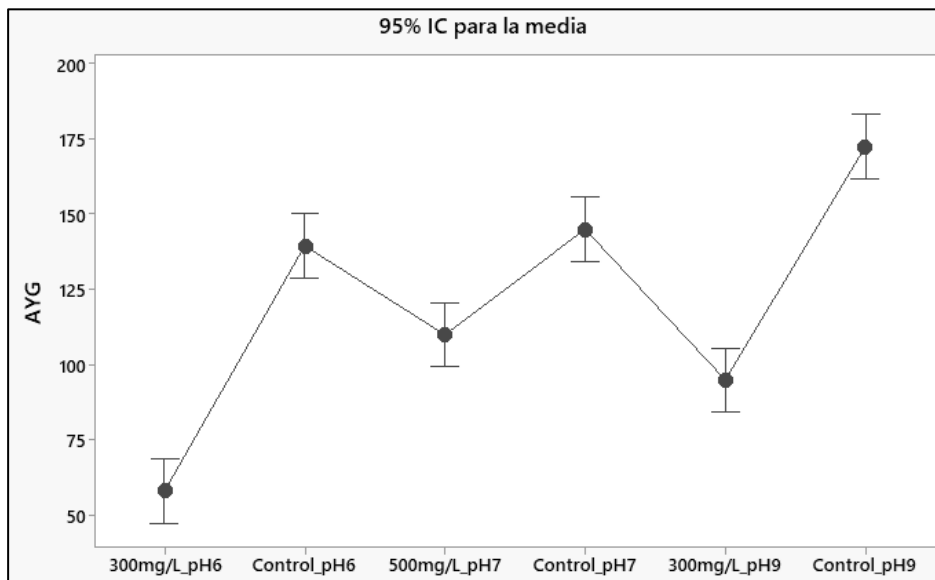


Fuente: Autores 2022

Nota. Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.

**Figura 12**

*Gráfica de intervalos de AYG vs. Tratamiento*



Fuente: Autores 2022

Nota. La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

**Turbidez.** Lo correspondiente a la turbidez, el valor p (0.00000) del ANOVA para la turbidez, por lo que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores residuales para cada pH estudiado (Tabla 9), por tanto, se interpreta que el pH si influye en la eficiencia de remoción de turbidez del coagulante *T. Indica*, a un nivel de confianza del 95%, con lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Con la prueba de Tukey se presenta una interpretación similar a la realizada con los AyG, entre sus todas las medias de los diferentes tratamientos presenta diferencias estadísticamente significativas para el pH 6 con dosis de 300mg/L y la jarra control a pH 9, por tener el menor y mayor valor promedio de turbidez con 33.55NTU y 229.50NTU, respectivamente. Pero en esta situación, existe una diferencia significativa entre la dosis de 300mg/L a pH 9 y la jarra con la dosis de 500mg/L a pH 7 (Figura 13), por tanto, a pH 9, es menor la eficiencia de la remoción de turbidez en las aguas residuales analizadas, y podría ser el resultado de lo anteriormente mencionado sobre el punto isoelectrico de las proteínas de la disolución, donde a menor pH, menor es la turbidez alcanzada. En la Figura 14, se muestran los intervalos calculados a partir de la desviación estándar agrupada para dichos resultados, la cual tuvo un valor de 3.186, al ser este valor inferior al encontrado para los AyG, los intervalos son menores, es decir, existe una menor variabilidad en los datos.

**Tabla 9**

*Análisis de Varianza Turbidez con respecto al pH*

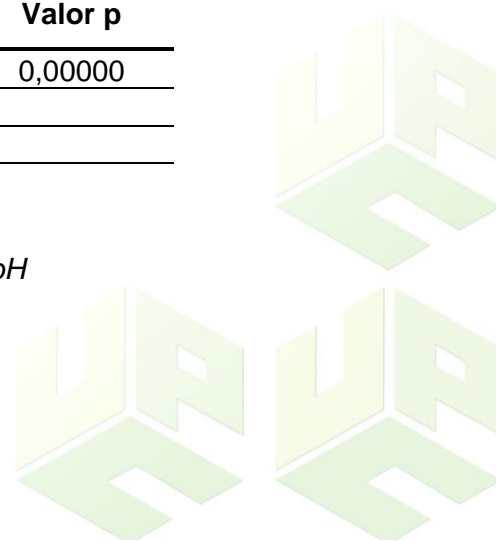
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
pH	5	46256,0	9251,19	911,22	0,00000
Error	6	60,9	10,15		
Total	11	46316,9			

Fuente: Autores 2022

**Tabla 10**

*Prueba de Tukey para Turbidez por efecto principal de pH*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control pH 9	2	229,50	A
300mg/L pH 9	2	128,50	B
Control pH 7	2	126,50	B
Control pH 6	2	78,15	C
500 mg/L pH 7	2	72,75	C



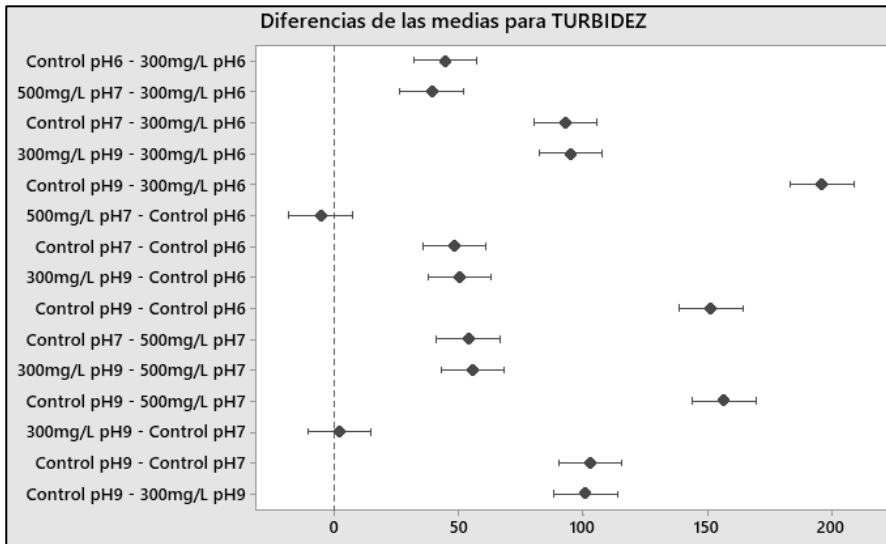
300 mg/L pH 6    2    33,55    D

Fuente: Autores 2022

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 13**

ICs simultáneos de 95% de Tukey para Turbidez

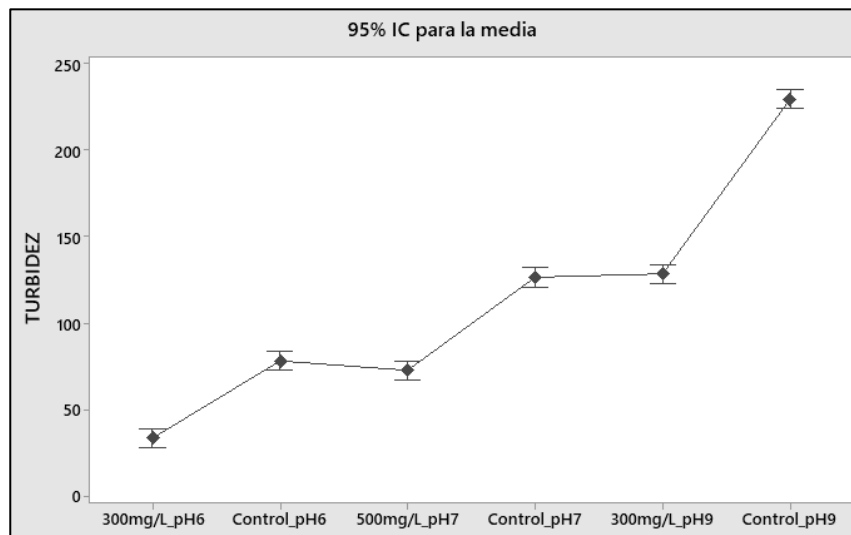


Fuente: Autores 2022

Nota. Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.

**Figura 14**

Gráfica de intervalos de Turbidez vs. Tratamiento



Fuente: Autores 2022

Nota. La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

**DQO.** Para la DQO, el análisis de varianza ANOVA de un solo factor arrojó un valor  $p$  de 0.0001 (Tabla 11), con un nivel de confianza del 95%, por lo que se acepta la hipótesis alternativa y se determina que la eficiencia de remoción de este contaminante por parte de la semilla de tamarindo se ve influenciada por el valor de pH del agua residual proveniente del matadero municipal.

**Tabla 11**

*Análisis de Varianza DQO con respecto al pH*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
pH	5	48640000	9728000	52,11	0,0001
Error	6	1120000	186667		
Total	11	49760000			

*Fuente: Autores 2022*

Por otra parte, conforme a los resultados arrojados por el método de Tukey con una confianza de 95%, en la Tabla 12 se muestra que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las jarras control de cada pH y las jarras con las dosis del coagulante; sin embargo, no existe una diferencia entre las jarras de control (Figura 15), por tanto es válido considerar que la semilla de tamarindo es capaz de remover la DQO de estas aguas residuales, siendo más eficiente a pH neutro y ácido, y reduciendo su actividad en ambientes alcalinos. Esto se logra visualizar en la Figura 16, donde se muestran los intervalos de confianza para cada tratamiento. Cuyos resultados podrían ser comparados por los encontrados por Irigoín & Monteza (2020), donde la mayor remoción de este parámetro se encuentra a pH 6, pasando de un valor inicial de 4099mg/L a 2722.2mg/L, con respecto a las pruebas realizadas a pH de 7.5 donde obtuvieron un valor de 3007.4mg/L y con el pH 9, este valor se mantuvo en 3384.6mg/L.

**Tabla 12**

*Prueba de Tukey para DQO por efecto principal de pH*

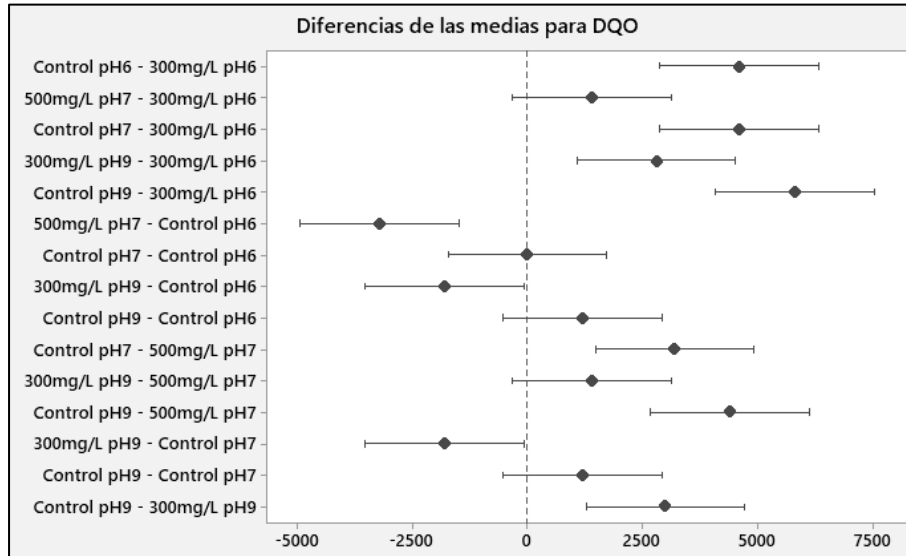
pH	N	Media	Agrupación
Control pH 9	2	7200	A
Control pH7	2	6000	A
Control pH 6	2	6000	A
300mg/L pH9	2	4200	B
500mg/L pH 7	2	2800	BC
300mg/L pH 6	2	1400	C

*Fuente: Autores 2022*

*Nota.* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 15**

ICs simultáneos de 95% de Tukey para DQO

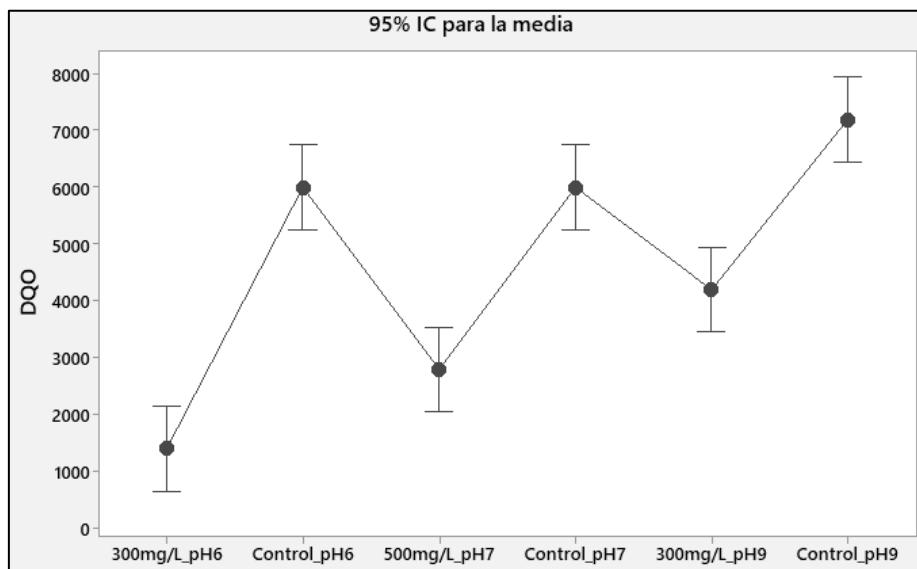


Fuente: Autores 2022

Nota. Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.

**Figura 16**

Gráfica de intervalos de DQO vs. Tratamiento



Fuente: Autores 2022

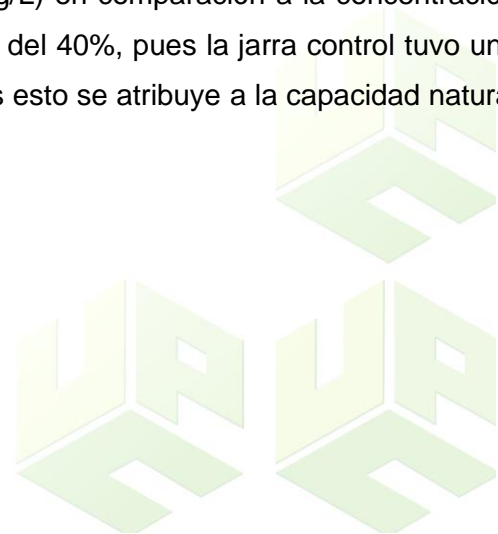
Nota. La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

### **pH Optimo**

Considerando los resultados obtenidos a través del programa estadístico, se establece que la mayor eficiencia del coagulante de la semilla en la remoción de AyG, DQO y Turbidez, la cual se presenta a un pH 6, por ello, a partir de esto, se determinaron unas dosis de 100mg/L, 200mg/L, 400mg/L, 500mg/L y un control, para corroborar que la dosis de 300mg/L remueve la mayor cantidad de AyG, parámetro principal de estudio.

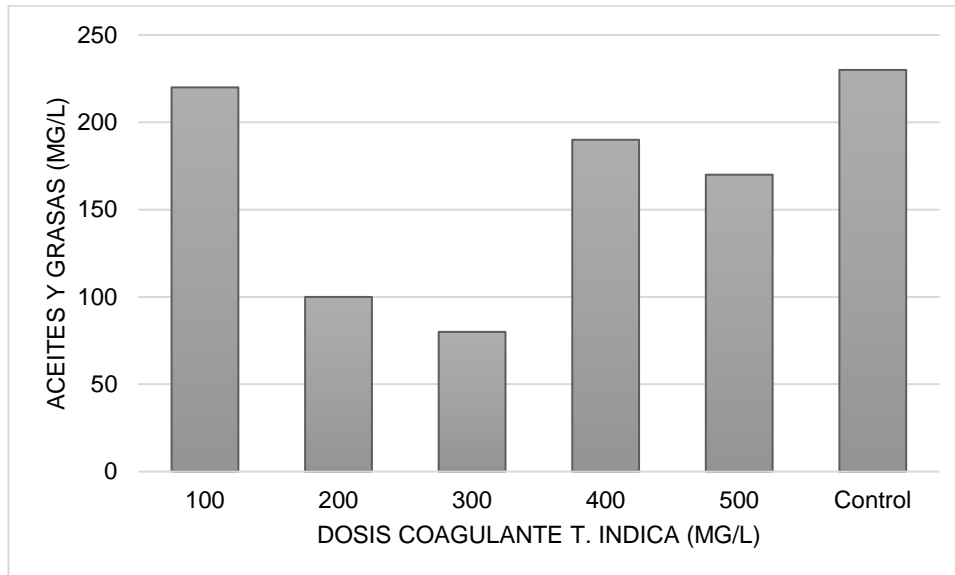
### **Eficiencia en la remoción de AyG**

En la Figura 17 se representan las concentraciones finales de AyG, para cada una de las dosis seleccionadas del coagulante *T. indica*, así como la jarra control. En donde después de la aplicación del tratamiento se presentaron valores de AyG entre 220mg/L y 80mg/L lo cual se traduce a eficiencias entre 38.8% y 77.7%, donde la mejor remoción se presentó con la dosis de 300mg/L; ya que se obtuvo una remoción del 77.7%. Cabe aclarar que en la jarra control se presentó una remoción del 36.1% (230mg/L), por tanto, la eficiencia real del coagulante fue del 41.6%, resultados que podrían ser comparados con los obtenidos por Baldión y Perea (2019), los cuales hallaron que para el tratamiento de las aguas residuales de una curtiembre con el coagulante orgánico *Moringa oleífera* a pH ácido de 6.5 se presenta una remoción de este contaminante del 64.53%, pasando de 137.3mg/L a 48.7mg/L de AyG. Además, Chinchilla y Salazar (2011), en su investigación realizada sobre el uso de coagulantes no convencionales como electrolitos, encontraron que con la dosis de 140mg/L del coagulante 8100 NALCO se presenta una eficiencia de 62% (16mg/L) en comparación a la concentración inicial de la muestra de 41mg/L; con una eficiencia real del 40%, pues la jarra control tuvo una concentración final de 32mg/L, según las investigadoras esto se atribuye a la capacidad natural de sedimentación del agua.



**Figura 17**

Concentraciones finales de AyG con el coagulante *T. indica*.



Fuente: Autores 2022

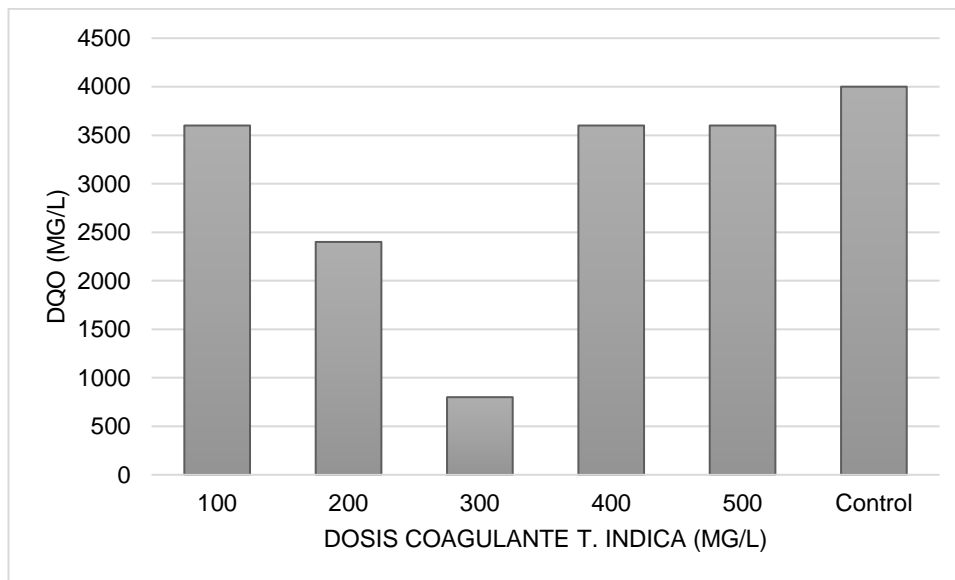
### **Eficiencia en la remoción de DQO**

Al emplear las dosis anteriormente mencionadas del coagulante extraído de las semillas de tamarindo, se presentan eficiencias en la remoción de DQO que van desde 55% a 90% respecto al valor inicial de 8000mg/L, con valores residuales luego del tratamiento de 3600mg/L y 800mg/L (Figura 18), respectivamente, pero en la jarra control hay una remoción del 50% (4000mg/L), por lo relacionado con el punto isoeléctrico de las proteínas presentes en las aguas residuales, recordando que la materia orgánica de este tipo de aguas, está constituida entre un 40-50% por proteínas (Rojas, 2002), las cuales sedimentarían por el cambio en el pH. Entonces, la remoción del coagulante estaría en un rango entre 5% (3600mg/L) y 40% (800mg/L). Estos resultados concordarían con los encontrados por Guardián y Coto (2011), donde le atribuyen al coagulante natural *T. indica* una eficiencia de remoción de DQO, en aguas residuales domésticas, con respecto a la jarra control de 43.5% con una dosis de 4667mg/L a un pH de 5.56, dosis bastante alejada de la encontrada en esta investigación, por las mismas diferencias en las condiciones iniciales, con un pH de 7.78 y una alcalinidad de 180mg/L. Arias, et al. (2017), haciendo uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de una central de sacrificio de bovinos,

obtuvieron una eficiencia de 49.4% para remoción de dicho parámetro con una dosis óptima de 7500mg/L.

### Figura 18

Concentraciones finales de DQO con el coagulante *T. indica*



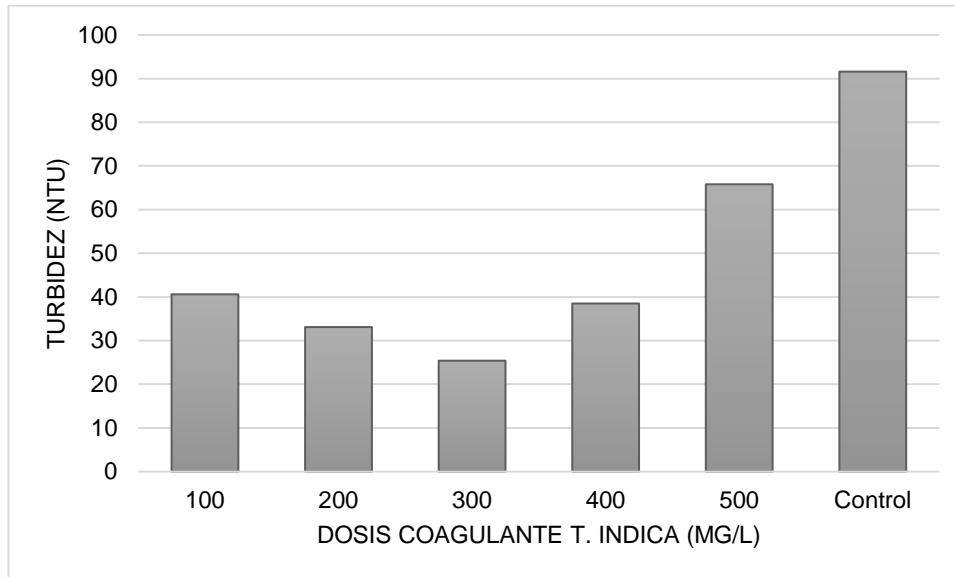
Fuente: Autores 2022

### Eficiencia en la Remoción de Turbidez

En la Figura 19, se muestra la turbidez final de cada una de las jarras con respecto a la turbidez inicial de 2575 NTU, con una remoción en la jarra control de 96.44% (91.6NTU) y con la dosis de 300 mg/L obtuvo una menor turbidez con 25.4NTU y una eficiencia de 99.01%, para este caso el coagulante solo obtuvo una eficiencia real de 2.57%, aunque con respecto al control es menor hasta en un 72,27%. Resultados que podrían ser comparados con los encontrados por Rivera (2017), en la cual se obtuvo una eficiencia del 95% con el uso del coagulante natural *Moringa oleífera* en el tratamiento de aguas residuales provenientes de un lavadero vehicular en el Distrito de San Martín, Perú, con una dosis de 140mg/L, de un valor inicial de 186NTU a 8.7NTU, luego del tratamiento. Demostrando de este modo que el uso de este tipo de coagulantes puede alcanzar valores de remoción de este parámetro superiores al 90%, si las condiciones para su funcionamiento son óptimas.

**Figura 19**

*Concentraciones finales de Turbidez con el coagulante T. indica*



Fuente: Autores 2022

Para la dosis de 300mg/L y el pH 6 que permitieron la mayor remoción de AyG se realizó un triplicado con una muestra diferente para verificar dichos resultados, comprobando que los porcentajes de eficiencia se mantenían constantes, tal como se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Replicas para el tratamiento a pH 6 y dosis de 300mg/L de T. Indica*

Parámetro	Valor inicial	Dosis T. indica	Valor Final	Valor Final Promedio	%Remoción
AyG	220mg/L	300mg/L a pH6	60 55 67	60.67	72.42*
DQO	8000mg/L	300mg/L a pH6	800 800 1200	933.3	88.33*
Turbidez	2266mg/L	300mg/L a pH6	34 29.1 31	31.7	98.61**

Nota. \*Se le atribuye al coagulante una eficiencia real de alrededor del 40%. \*\*La eficiencia en la remoción es de aproximadamente 3% para el coagulante T. Indica.

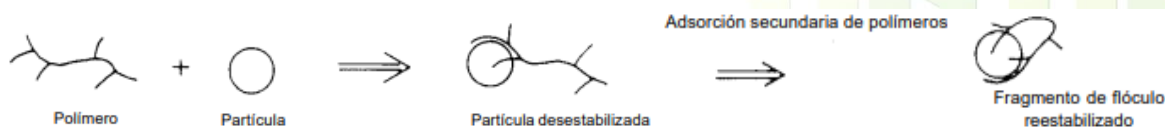
### Pruebas de Adsorción Cascarilla de Arroz

Las pruebas realizadas con la cascarilla de arroz consistieron en usar dosis de entre 100 y 2000ppm, esto combinado con la variación en la duración de la mezcla rápida, dosis del coagulante en estado sólido y en solución; dando como resultado la no presentación de porcentajes de remoción en alguno de los tratamientos aplicados (Tabla 14, 15 y 16), sino que al contrario la turbidez aumentaba al aumentar la concentración de la cascarilla, esto se puede atribuir a su baja solubilidad en el agua, que fue comprobada en los ensayos, donde se formaba un precipitado del compuesto. Esto, de acuerdo con Castillo (2015), podría ser atribuido al tamaño de las partículas conseguidas, pues la trituración de este compuesto a tamaños inferiores a 0.30mm presentó cierto nivel de dificultad, pues al momento de la tamización se lograban filtrar partículas de un tamaño superior, generando una heterogeneidad entre las mismas, tal como lo explica en su investigación sobre la remoción de AyG de las aguas residuales de un establecimiento de lava y lubricado autos, donde el uso de la cascara de arroz, no presentó una alta capacidad de adsorción de este contaminante debido a la predominancia de partículas grandes. Sin embargo, no se descarta su utilización, de lograrse tamaños apropiados, en la remoción de otros tipos de contaminantes como metales pesados o colorantes, ya que existe un gran número de investigaciones que respaldan su efectividad (Cuestas, 2020; Páez, et al., 2016; Doría, et al., 2011; Murica, 2020; Sibaja, 2020).

Cabe mencionar que, en el primer tratamiento, en el que el agua residual se sometió una agitación de 150RPM durante 20 minutos, presentó un aumento de la turbidez. Lo cual es explicado por Barrechea (2004), donde establece que cuando la mezcla rápida se realiza de manera prolongada con el uso de compuestos orgánicos, se puede presentar una adsorción secundaria por parte de los coloides (Figura 20), lo cual tiene como consecuencia el aumento de la turbidez.

### Figura 20

Representación esquemática del modelo de puentes en la desestabilización de partículas



Nota. Ajustado por autores de *Capítulo 4. Coagulación* (p. 194) por Barrechea (2004).

En la Tabla 14 se puede observar el primer tratamiento, en el que se aplicaron dosis de entre 0,1 y 0,5 g presentándose un aumento de la turbiedad en todas las jarras en comparación con la inicial, la cual tuvo un valor de 238NTU.

**Tabla 14**

*Primer tratamiento cascarilla de arroz*

Dosis (g)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	Control
Turbidez (NTU)	363	371	342	364	351	336

*Fuente: Autores 2022*

*Nota.* La cascarilla fue suministrada en forma sólida con una agitación prolongada de 150RPM durante 20 min.

Para el segundo tratamiento presentado en la Tabla 15 se utilizaron dosis de entre 0,4 y 2 g, donde se observó una disminución del valor de la turbiedad con respecto a la inicial (238NTU) pero se puede notar que hasta con la dosis más baja se presentó un aumento en este parámetro en relación con la jarra control.

**Tabla 15**

*Segundo tratamiento cascarilla de arroz*

Dosis (g)	0,4	1,0	1,2	1,5	2	Control
Turbidez (NTU)	139	137	142	139	146	135

*Fuente: Autores 2022*

*Nota.* La cascarilla fue suministrada en forma sólida con una mezcla rápida de 150RPM durante 1 min y una mezcla lenta de 20RPM durante 20 min.

En la Tabla 16 se presenta el 3er tratamiento en donde se puede ver que el valor de la turbiedad disminuyó en relación con la inicial (238NTU) pero se encontró que con respecto al control no hubo remoción alguna por parte de la cascarilla, ya que en todas las jarras que se aplicó esta aumentó el valor de la turbiedad.

**Tabla 16**

*Tercer tratamiento cascarilla de arroz*

Dosis (ppm)	100	300	600	1000	2000	Control
Turbidez (NTU)	125	134	140	139	154	124

*Fuente: Autores 2022*

*Nota.* La cascarilla fue suministrada en solución con una mezcla rápida de 150RPM durante 1 min y una mezcla lenta de 20RPM durante 20 min.

### **6.3 Etapa 3. Comparación de la Eficiencia de los Coagulantes Orgánicos y el PAC en la remoción de A y G**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos con el uso del coagulante convencional policloruro de aluminio- PAC para el tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales del matadero municipal. Cabe aclarar que, para este caso no fue necesario la modificación del pH, ya que las muestras a tratar tenían un pH inferior a 9, y se encontraban dentro del rango de 6-9 para el funcionamiento óptimo del coagulante (Cogollo, 2011 citado por Bellotti & Irigo, 2018).

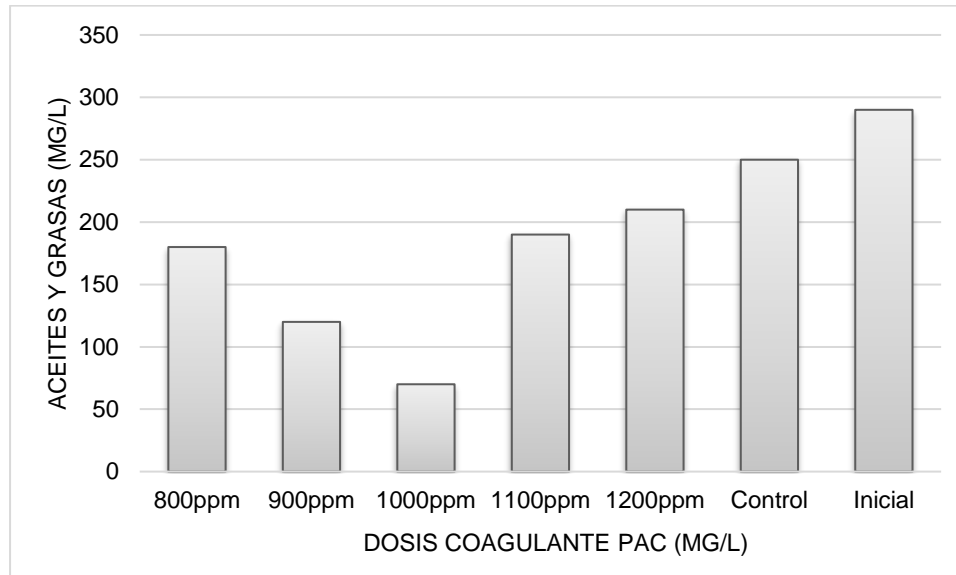
Teniendo en cuenta ensayos previos se establecen las dosis de 800, 900, 1000, 1100 y 1200mg/L y una jarra control (sin la adición del coagulante) y se determina la eficiencia en la remoción de AyG, DQO y Turbidez.

#### ***Eficiencia en la remoción de AyG, PAC***

En la Figura 21 se ilustra que para la dosis de 1000mg/L de PAC, se presenta una mayor eficiencia en la remoción de AyG con 75.86%, pasando de un valor inicial de 290mg/L a 70mg/L luego del tratamiento. Para las dosis de 800, 900, 1100 y 1200ppm, obtuvo valores residuales de AyG de 180, 120, 190 y 210mg/L, con un porcentaje de remoción dentro del rango de 27% al 58%. Pero tomando en cuenta que la jarra control tuvo una remoción del 13.79% (250mg/L), se le atribuye al coagulante PAC una eficiencia máxima real de 62.07% (70mg/L), y eficiencias intermedias aproximadas entre 14% (210mg/L) y 45% (120mg/L). Este porcentaje es inferior al encontrado por Oñate (2011), con este mismo coagulante en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de una industria avícola con una dosis de 250ppm, logró una eficiencia de remoción de AyG mayor al 94%, pasando de un valor inicial de 165mg/L a 9mg/L. Para el caso de Rodríguez, et al. (2019), con el uso del PAC en el postratamiento de las aguas industriales en palma de aceite, alcanzó una eficiencia del 98.80%, teniendo un valor inicial de 737.2ppm de AyG y un valor final 8.82mg/L, con una dosis de 3936mg/L, concluyendo que este coagulante es una opción eficiente para el postratamiento de las aguas residuales.

**Figura 21**

*Concentraciones finales de AyG con el coagulante PAC*



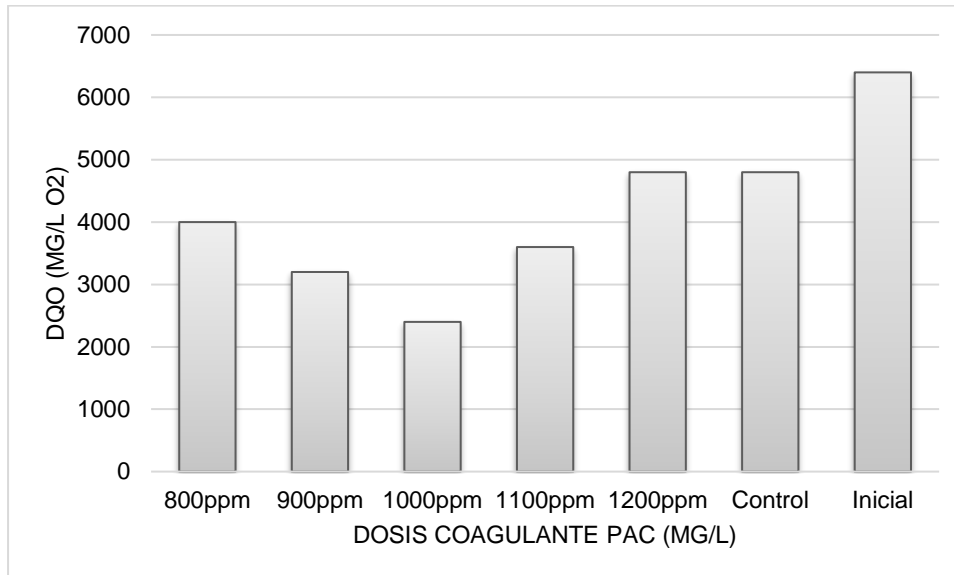
*Fuente: Autores 2022*

### **Eficiencia en la Remoción de DQO, PAC**

La mejor remoción de materia orgánica en términos de DQO, se presentó a una dosis de 1000ppm PAC (Figura 22), con una concentración final de 2400mg/LO<sub>2</sub> (62.5%), teniendo un valor inicial de 6400mg/LO<sub>2</sub>, para las demás jarras varió entre 25% (4800 mg/LO<sub>2</sub>) y 50% (3200mg/LO<sub>2</sub>). Sin embargo, los valores entre la jarra sin coagulante y la de 1200mg/L de PAC, no presentaron diferencia, 4800mg/L (25%), por ello, la eficiencia para dicha concentración es nula en este caso. Con porcentajes de remoción reales entre 12.5% y 37.5%. Caldera, et al. (2011), aplicaron el coagulante convencional sulfato de aluminio para el tratamiento de las aguas residuales industriales avícolas, teniendo una dosis optima de 300ppm, y una remoción de DQO entre 13% y 20%, restando la capacidad de sedimentación del agua sin ayuda de aditivos químicos. Por su parte, Dearmas & Ramirez, et al. (2015), en la remoción de contaminantes de las aguas residuales vertidas por la planta de tratamiento de la ciudad de Valledupar con la utilización de coagulantes químicos y naturales, lograron una remoción del 81.91% con una dosis de 50mg/L de PAC y 84.71% para el sulfato de aluminio con una concentración inicial de 194mg/LO<sub>2</sub>.

**Figura 22**

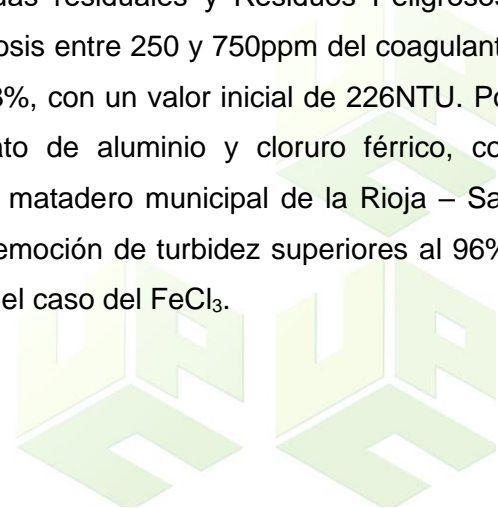
*Concentraciones finales de DQO con el coagulante PAC*



*Fuente: Autores 2022*

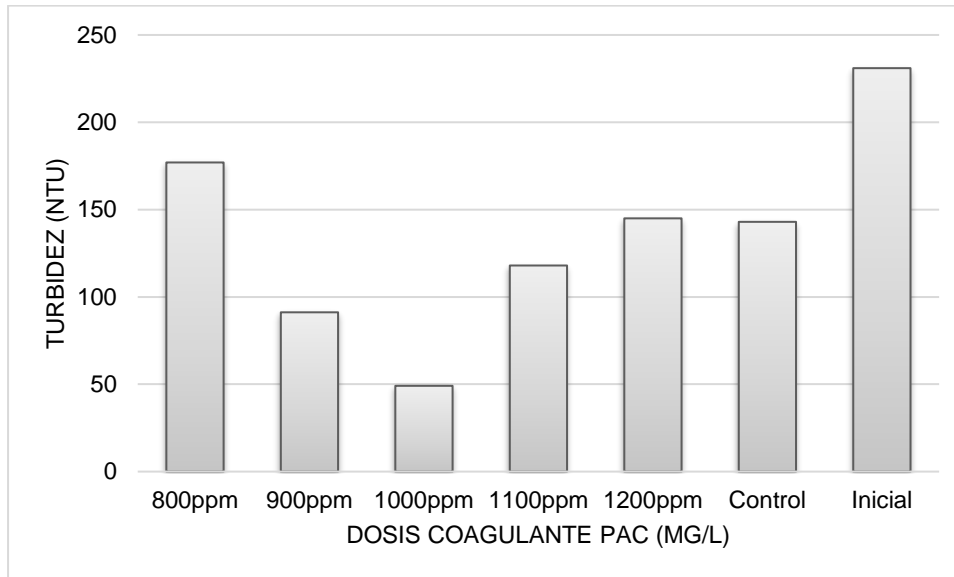
### ***Eficiencia en la Remoción de Turbidez, PAC***

Con respecto a la eficiencia de remoción de turbidez, se observaron valores entre 23 y 77%, valores residuales mínimo de 49.1NTU con 1000ppm de PAC y máximo de 177NTU con 1200ppm, teniendo una medida inicial de 231NTU (Figura 23). Estos resultados podrían ser comparados con los obtenidos por Fernández (2019), la cual realizó el tratamiento del agua residual tomada del “Centro de Investigación de Aguas residuales y Residuos Peligrosos” (CITRAR), ubicada en el distrito de Rímac, Perú, con dosis entre 250 y 750ppm del coagulante sulfato de aluminio y eficiencias en el rango de 74%-83%, con un valor inicial de 226NTU. Por su parte, Azabache, et al. (2020), usando del sulfato de aluminio y cloruro férrico, con polímeros catiónicos en el tratamiento del efluente del matadero municipal de la Rioja – San Martín en el país de Perú, obtuvieron porcentajes de remoción de turbidez superiores al 96%, con una dosis de 120ppm para el  $Al_2(SO_4)_3$  y 40ppm en el caso del  $FeCl_3$ .



**Figura 23**

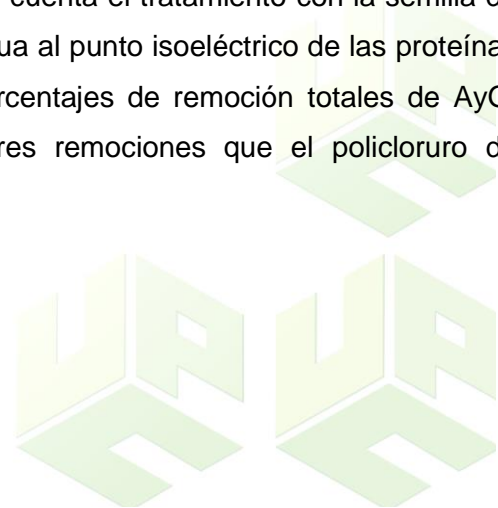
*Concentraciones finales de Turbidez con el coagulante PAC*



*Fuente: Autores 2022*

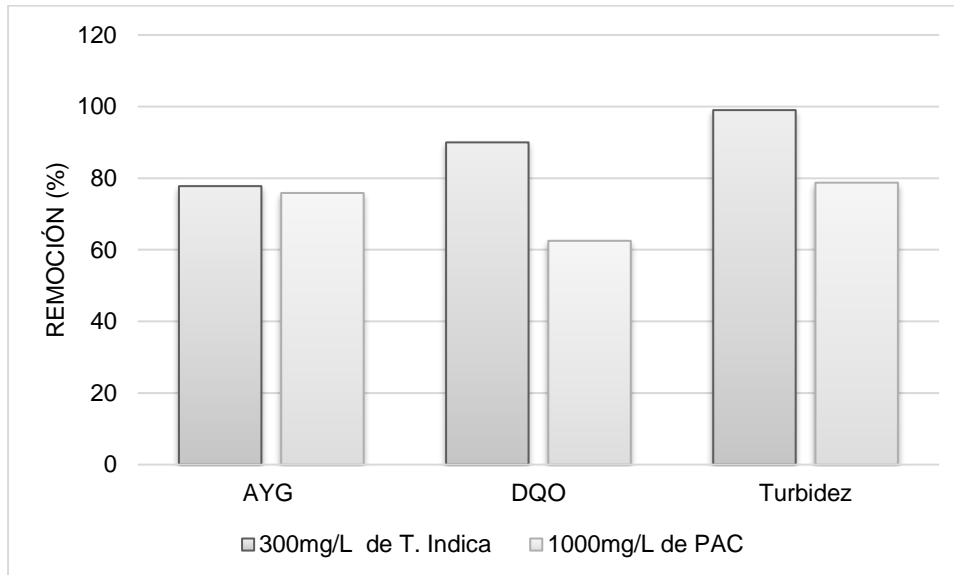
### **Comparación *T. indica* vs PAC**

De acuerdo con los resultados de los dos tipos de coagulantes utilizados, se establece que, si bien las eficiencias reales del PAC en la remoción de AyG de las aguas residuales del matadero de Codazzi son mayores a las conseguidas por las semillas de tamarindo, la dosis optima manejada por el coagulante orgánico fue hasta un 70% menor (300mg/L) que la requerida por el inorgánico (1000mg/L), y si se tiene en cuenta el tratamiento con la semilla de tamarindo en conjunto, es decir, ajustando el pH del agua al punto isoeléctrico de las proteínas presentes, antes de su uso es capaz de alcanzar porcentajes de remoción totales de AyG, DQO y turbidez, superiores al 77%, logrando mejores remociones que el policloruro de aluminio, tal como se muestra en la Figura 24.



**Figura 24**

*Porcentaje de remoción de los coagulantes para AyG, DQO y Turbidez*



*Fuente: Autores 2022*

Cabe recalcar que, para el caso del PAC, no fue necesario la modificación del pH, pues se hallaba dentro del rango de funcionamiento (6-9), pero acorde con los muestreos realizados, en el periodo comprendido entre el 8 de septiembre y el 5 de noviembre de 2021, en el 62.5% de las muestras los valores estaban por encima de dicho rango, por ello, el ajuste de este parámetro se hará necesario, en caso de la utilización de alguno de los dos coagulantes, y es más eficiente el uso de las semillas, las cuales demostraron su poder de remoción no solo de los AyG, sino también en la eliminación de DQO. Además, de acuerdo con la investigación realizada por Shan, et al. (2016), citado por Arias, et al. (2017), este tipo de coagulantes, dado su origen vegetal, no genera residuos tóxicos que pudiesen afectar a organismos en ecosistemas acuáticos o terrestres, situación que es preferible al momento de realizar los vertimientos a cuerpos de agua o suelos, lo que actualmente se constituye como una gran problemática ambiental. Además, en términos de optimización, el tiempo de sedimentación fue mucho mayor para el coagulante inorgánico hasta un 60%, pues con el coagulante orgánico este periodo fue de 30min, mientras que para el PAC fue de una hora y 20min, lo cual representa una gran ventaja para el primero, pues los tiempos de residencia en los sedimentadores a escala real son menores, volviendo más eficientes los procesos de

tratamiento. Este aumento en el tiempo de sedimentación podría deberse a la naturaleza de los coloides o el pH del agua (Guerrero, et al., 2018).

Para ambos coagulantes, no se cumplió con el estándar establecido en la resolución 0631 de 2015 para AyG y DQO, con una concentración máxima permisible de 50mg/L y 900mg/L (art. 9), respectivamente. Por lo cual, como alternativa, se recomienda la utilización de un Sistema de Aire Disuelto DAF y la adición de dicho coagulante. Siendo este tipo de tratamiento ampliamente implementado en la remoción de dichos contaminantes de aguas residuales provenientes del sacrificio y beneficio de animales, obteniendo remociones superiores al 80% (Oñate, 2011; Caldera, et al., 2014; Sánchez, et al., 2017; Gutiérrez, et al., 2019), que permitiría el cumplimiento de la normativa. Con respecto al pH, luego del tratamiento con la semilla se obtuvo un valor de 7.05 y con el PAC de 6.65, cumpliendo con los estándares de la resolución (6-9).



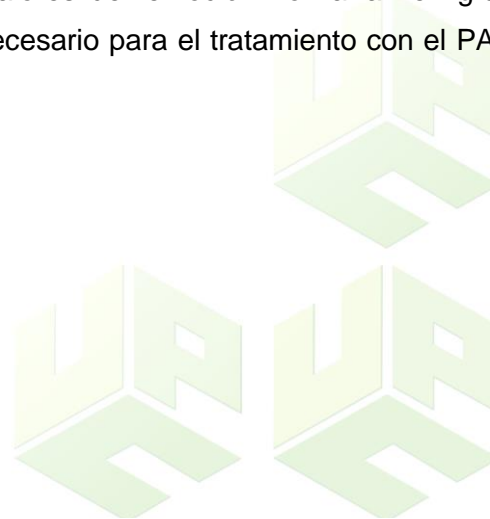
## 7. Conclusiones

Al caracterizar el agua residual provenientes de las zonas de sacrificio, faenado y lavado de vísceras blancas del matadero municipal de Codazzi, se obtuvieron valores de pH, temperatura, alcalinidad total, turbidez, DQO, conductividad y AyG entre 8.63-11.63, 26.13-27.80°C, 280-3146 mg/L CaCO<sub>3</sub>, 231-2575 NTU, 6400-8000 mg/L O<sub>2</sub>, 1534-7865 µS/cm y 220-360 mg/L AyG, respectivamente.

El pH en el que la semilla de *Tamarindus indica* presentó un mejor comportamiento respecto a la remoción de AyG, DQO y turbidez fue de 6, con porcentajes entre 38.8%-77.7%, 55%-90% y 98.25%-99.01% respectivamente, estableciéndolo de esta manera como el pH óptimo entre los valores estudiados (6-7-9).

La cascarilla de arroz por su parte, como bioadsorbente no presentó eficiencia alguna en la remoción del parámetro de referencia de la presente investigación (turbidez), sino que por el contrario aumentaba el valor inicial de este al momento de implementarse cada tratamiento, pudiendo ser atribuido al proceso de mezcla rápida en el caso de ser prolongada, o bien al tamaño de las partículas alcanzada durante la trituración de la cascarilla, según el caso.

La efectividad real del policloruro de aluminio fue levemente superior a la lograda por la semilla de tamarindo en la remoción de AyG y DQO, pero el tratamiento en conjunto de ajustar el pH hasta llegar al punto isoeléctrico de la solución y el uso del coagulante natural, presentó mejores resultados, estableciendo de esta forma que, la semilla de tamarindo representa una alternativa para la remoción de A y G de este tipo de aguas residuales frente al uso de coagulantes convencionales o químicos, ya que los valores de remoción no varían en gran medida. Adicionalmente, el tiempo de sedimentación necesario para el tratamiento con el PAC fue hasta 60% mayor que el necesario con la semilla.



## 8. Recomendaciones

Se sugiere la utilización de un proceso de filtración al momento de la toma de muestra; si no es posible hacerlo in-situ, realizarlo antes de someterla a los tratamientos, esto con el fin de eliminar los residuos sólidos más grandes y así evitar que estos interfieran en el correcto funcionamiento de los equipos utilizados para evaluar los parámetros antes y después de los tratamientos.

Para estudios posteriores del comportamiento de la semilla de *T. indica* en el tratamiento de las aguas residuales del matadero de Codazzi con alta carga orgánica y valores de pH superiores a 10, considerar la variable del punto isoeléctrico de las proteínas en forma de coloides.

Con respecto al procedimiento de coagulación- floculación con el uso la semilla de tamarindo, se recomienda adecuar el pH a valores entre 5 y 6, para obtener una eficiencia mayor, pudiendo estudiar pH inferiores, verificando el estado de los componentes de la semilla que hacen posible la coagulación de los coloides.

Con lo relacionado a la obtención del bioadsorbente extraído de la cascarilla de arroz para futuras investigaciones, se recomienda la utilización de métodos de trituración efectiva que permita tamaños uniformes inferiores a 0.30mm.



## 9. Referencias Bibliográficas

- Álvarez, Y., Vega, R., Pérez, R., Bermúdez, R., & Rodríguez, S. (2012). Evaluación de la biodegradabilidad anaerobia de aguas residuales del procesamiento de cárnicos. *Tecnología química* 32(3), 294-303. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543777009>
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua: coagulación y floculación [Archivo PDF]. <http://www1.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>
- Andrade, M., & Saurith, M. (2014). Evaluación de la eficiencia en la remoción de grasas y aceites en aguas residuales de sacrificio de ganado de la empresa COOLE SAR S.A mediante la implementación de un sistema de flotación por aire disuelto (DAF) a escala laboratorio [Tesis de pregrado no publicada]. Universidad Popular del Cesar.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. (3a ed, pp. 30-52). Bogotá D.C.: McGraw-Hill Interamericana, S. A.
- Arias, A., Hernández, J., Castro, A., & Sánchez, N. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: Uso del polvo de la semilla de la M. oleífera como coagulante natural. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Edición especial 1, 29-39. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v15nspe/v15nspea04.pdf>
- Baldión, J., & Perea, H. (2019). *Evaluación del efecto de la harina de semilla de moringa como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de pelambre de una curtiembre en Bogotá* [Tesis de Pregrado, Universidad de la Salle]. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/1132/](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1132/)
- Becerra, L., & Díaz, J. (2014). *Diseño de un sistema de tratamiento para los vertimientos generados en la “planta de sacrificio de ganado de oriente” del municipio de Choachí (Cundinamarca)* [Tesis de Pregrado, Universidad Libre]. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11230?show=full>

- Bellotti, C., & Irigo, O. (2018). Producción de policloruro de aluminio a partir de aluminio secundario [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica Nacional]. Repositorio Institucional Abierto- RIA.
- Briones, G., Burgos, G., Rosero, E., & Moreira, C. (2020). Aplicaciones de sales inorgánicas en el tratamiento de aguas residuales industriales procedente de la refinación de aceites y grasas. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios* 7(2), 57-75. [http://revistas.up.ac.pa/index.php/revista\\_colon\\_ctn/article/view/1419/1175](http://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn/article/view/1419/1175)
- Caldera, C., Oñate, H., Rodriguez, Y., & Gutierrez, E. (2011). Eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola. *Impacto Científico Revista Arbitrada Venezolana*, 6(2), 244-256. <https://www.researchgate.net/publication/282723287>
- Castillo, A. (2015). Diseño de un tratamiento de aguas residuales de lubricado mediante bio-adsorción y coagulación-floculación [Trabajo de pregrado, Universidad de Las Américas]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/4482>
- Chinchilla, M., & Salazar, J. (2011). Evaluación de la eficiencia de un tratamiento químico con coagulante y/o floculante para la remoción de aceites y grasas en el tratamiento de aguas residuales de la fábrica Dairy Partners Americas - DPA Colombia Ltda, Valledupar [Tesis de pregrado no publicada]. Universidad Popular del Cesar.
- Constitución Política de Colombia [Const]. Art. 79, 80, 95. 7 de Julio de 1991 (Colombia).
- Cuestas, J. (2020). Evaluación de la eficiencia de la cascarilla de arroz para eliminar cafeína y triclosán de agua residual sintética mediante adsorción [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional.
- Curt, M., & Fernandez, J., (s.f). Métodos analíticos para aguas residuales. Fundación global nature. <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%20Anexos1.pdf>
- Dearmas, D., Ramirez, L. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 183-196. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5628793>

Decreto 1076 de 2015 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. 26 de mayo de 2015.

Decreto 1541 de 1978 [Ministerio de Agricultura]. Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973. 26 de julio de 1978.

Decreto 3930 de 2010 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. 25 de octubre de 2010.

Ecuaciones Químicas (s.f.). Disponible en:

<https://chemequations.com/es/?s=H2O%20%2B%20CaO%20%3D%20Ca%20%2B%20OH&ref=search>

Fernández, Y. (2019). Comparación del biocoagulante *Tamarindus indica* y sulfato de aluminio, en el tratamiento de aguas residuales [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio Institucional UNTELS: <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/113>

Figuroa, D., Hormaza, A., Moreno A. (2012). Adsorción de azul de metileno sobre cascarilla de arroz. *Producción + Limpia*, 7(1), 9-18. <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/231/110>

Gómez, N. (2005). Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. <http://bdigital.unal.edu.co/1214/1/nestoralejandrogomezpuentes.2005.pdf>

Gonzales, Y., Maza, S., & Pizardi, C. (2013). Recuperación de proteínas del agua de lavado en el procesamiento de surimi de anchoveta (*Engraulis ringens*). *Bol. invest. Inst. tecnol. Prod. Perú*, 11, 79-83. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RITP\\_068a8c8fabb4459ed1e4a0303444cf3d](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RITP_068a8c8fabb4459ed1e4a0303444cf3d)

- Guerrero, T., Salazar, J., & Paredes, J. (2018). Eficiencia de un sedimentador laminar y convencional para eliminar sólidos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 84(3), 336-349. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2018000300007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2018000300007&lng=es&tlng=es).
- Guevara, R. & Martínez, T. (2017). Propuesta para un sistema de tratamiento de aguas residuales del establo de ganado bovino perteneciente a la estación experimental de la facultad de ciencias agronómicas de la Universidad de El Salvador [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador] <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15122/1/Propuesta%20para%20un%20sistema%20de%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20del%20establo%20de%20ganado%20bovino%20perteneciente%20a.pdf>
- Guilcamaiga, D., Quintero, N., Jiménez, M., & Muñoz, D. (2019). Absorción de aceites y grasas en aguas residuales de lavadoras y lubricadoras de vehículos utilizando absorbentes naturales. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 8(3), 12-23. <http://ojs.3ciencias.com/index.php/3c-tecnologia/article/view/787>
- Gutiérrez, E., Sánchez, M., & Caldera, Y. (2019). Flotación por aire disuelto con coagulante policloruro de aluminio para aguas residuales de industrias avícolas. *Revista Bolivariana de Ingeniería*, 1(2), 94-107. <https://revistarebi.org/index.php/rebi/article/view/192>
- Gurdián, R., & Coto, J. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Revista Tecnología En Marcha*, 24(2), 18-26. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835564>
- Hernández, R., Fernández, C., y Batista, M. (2014). Metodología de la Investigación. (6a ed., pp. 88-100). McGraw-HILL / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Huerta, R. (2020). Evaluación y diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café para mejorar los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, DQO, DBO5 de las aguas miel en el Fundo Monterrico - San Juan de Cacazú - Villa Rica – Oxapampa – 2017 [Tesis de Pregrado,

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].  
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2164>

Jara, S. (2018). Uso del coagulante natural extraído de la semilla de tamarindo “Tamarindus indica L.” para reducir sólidos coloidales en laboratorio de las aguas del río Lurín, Lima – 2018 [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].  
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/19288>

Lavado, C., Sun, M., & Recuay, N. (2012). Remoción de cromo (VI) empleando carbones preparados por activación química a partir de las astillas de eucalipto. Revista de la Sociedad Química del Perú, 78(1), 14-26. Recuperado de  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2012000100003](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2012000100003)

Leitón, L. (2017). Proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de sodas- comedor del Tecnológico de Costa Rica, Sede Central [Tesis de pregrado, Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/7393>

Ley 9 de 1979. Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. 16 de julio de 1979. D.O. No. 35308.

Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. 22 de diciembre de 1993. D.O. No. 41.146.

Londoño, A., Giraldo, G., & Guitierrez, A., (1995). Manual de análisis de aguas. (Trabajo). Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia. Recuperado de  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisdeaguas.pdf>

López Navajas, R. (2015). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas en una industria cárnica (Master's thesis).

Lozano, C. (2020). Alternativas de usos de la cascarilla de arroz (Oriza sativa) en Colombia para el mejoramiento del sector productivo y la industria [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD]. <https://scholar.google.com/citations?user=I1-o1v8AAAAJ&hl=es>

- Maron S., & Prutton, C. (1997). Fundamentos de fisicoquímica. (pp. 822-828). Editorial Limusa.
- Mas y Rubí, M., Martínez, D., Carrasquero, S., Rincón, A., Vargas, L., & Delgado, M. (2012). Eficiencia de las semillas de *Hymenaea courbaril* como coagulante natural en el proceso de clarificación del agua. *REDIELUZ*, 2(2), 123-128. [https://www.researchgate.net/publication/275970440\\_The\\_Efficiency\\_of\\_Hymenaea\\_courbaril\\_Seeds\\_as\\_A\\_Natural\\_Coagulant\\_in\\_the\\_Water\\_Clarification\\_Process](https://www.researchgate.net/publication/275970440_The_Efficiency_of_Hymenaea_courbaril_Seeds_as_A_Natural_Coagulant_in_the_Water_Clarification_Process)
- Oñate, H. (2011). Eficiencia de coagulantes durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola [Tesis de maestría, Universidad de Zulia]. [https://www.academia.edu/32139870/EFICIENCIA\\_DE\\_COAGULANTES\\_DURANTE\\_EL\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_DE\\_UNA\\_INDUSTRIA\\_AV%20C3%8DCOLA](https://www.academia.edu/32139870/EFICIENCIA_DE_COAGULANTES_DURANTE_EL_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_DE_UNA_INDUSTRIA_AV%20C3%8DCOLA)
- Oxford University Press. (2000). *Diccionario de Ciencias* (1ra ed.).
- Peña, D. (2017). Estudio de las propiedades emulsionantes del mucílago de la semilla de tamarindo [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/67587/Tesis%20Daniel%20Enrique%202017-split-merge.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Pérez, F. (2016). Establecimiento de cultivo in vitro de *Tamarindus indica* L. para la obtención de antioxidantes [Tesis pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65363/TESIS%20Tamarindo%20completa.pdf?sequence=3>
- Pérez, J. (1981) Manual de tratamiento de agua [Trabajo de requisito parcial, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional- Universidad Nacional de Colombia.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo- PNUD. (2015). Perfil productivo Municipio Agustín Codazzi. <https://ccvalledupar.org.co/download/perfil-productivo-del-municipio-de-agustin-codazzi-cesar/>
- Quintín, N. (2010). Extracción de la fracción proteica utilizando dos solventes (agua y tris hcl) y determinación de la actividad antimicrobiana a los extractos sobre las cepas *Escherichia*

*coli*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas sp* y *Staphylococcus aureus* – a partir de hojas de *Pentacalia nítida* (Fam. Asteraceae) [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Javeriana].

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8445/tesis413.pdf?sequence=1>

Resolución 0631 de 2015 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. 18 de abril de 2015.

Resolución 240 de 2013 [Ministerio de Salud y Protección Social]. Por la cual se establecen los requisitos sanitarios para el funcionamiento de las plantas de beneficio animal de las especies bovina, bufalina y porcina, plantas de desposte y almacenamiento, comercialización, expendio, transporte, importación o exportación de carne y productos cárnicos comestibles. 31 de enero de 2013.

Riccio, L. (2010). Remoción de aceites y grasas de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por electrocoagulación, a nivel de laboratorio [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Trujillo].  
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7727>

Rivera, A. (2017). Uso de Moringa oleífera y carbón activado para el mejoramiento de la calidad del agua residual de lavado vehicular en el distrito de san martín de porres – lima 2017 [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio virtual de la Universidad Cesar Vallejo.

Rodríguez, A., Campos, A., & Pérez A. (2019). Obtención y caracterización de materiales adsorbentes a partir de cascarilla de arroz. *Revista Mutis*, 9(1), 29-39.  
<https://doi.org/10.21789/22561498.1515>

Rodríguez, Y., Torregrosa, A., Mejía, F., Atencia, J., & Villero, A. (2019). Eficiencia de la aplicación de policloruro de aluminio en post-tratamiento de aguas industriales en palma de aceite. *Temas Agrario*, 24(2), 159-170. <https://doi.org/10.21897/rta.v24i2.2068>

- Rojas, N., Villanueva, P., Campos, E., & Velasquez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 14 (1), 109-129. <https://quivera.uaemex.mx/article/view/10455>
- Rojas, R. (2002). Gestión integral de tratamiento de aguas residuales. Conferencia: Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Rüdiger, A. (1975). Determinación del pH en diversas especies de los renovales de la provincia de Valdivia. *Bosque*, 1(1), 3-5. doi: <https://doi.org/10.4206/bosque.1975.v1n1-02>
- Salgado, M. (2018). Evaluación de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la remoción de turbidez de aguas superficiales [Tesis de pregrado, Universidad de Sucre]. Repositorio Digital- Universidad de Sucre.
- Sanabria, D. (2006). Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM- Colombia. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4#:~:text=QU%C3%8DMICA%20FARMACEUTICA%20U.N.&text=La%20conductividad%20es%20una%20medida,la%20temperatura%20de%20la%20medici%C3%B3n>.
- Sánchez, M., Caldera, Y., & Gutiérrez, E. (2017). Eficiencias de coagulantes durante el tratamiento de aguas residuales de la industria avícola en un sistema de flotación. *Impacto Científico Revista Arbitrada Venezolana*, 12(1), 201-214. <https://biblat.unam.mx/hevila/Impactocientifico/2017/vol12/no1/14.pdf>
- Snoeyink, V. L., & Jenkins, D. (2002). *Química del Agua*. Mexico D.F.: Limusa.
- Tamayo y Tamayo, M. (1999). Aprender a investigar, Modulo 2: La investigación. (3a ed.). Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior, ICFES.
- Urbina, N., Pabón, S., & Suarez, J. (2006). Tratamiento biológico de aguas residuales de matadero. Caso Frigorífico la Frontera LTDA., Villa del Rosario, Norte de Santander. *Respuestas*, 11(2), 39-50. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5507682>

Veall, F. (1993). Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo. Depósitos de documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación- FAO.

Velázquez, M. A.; Ortega, M.; Martínez, A.; Kohashi, J. & García, N. (2002). Relación funcional PSI-RAS en las aguas residuales y suelos del valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Terra Latinoamericana*, 20(4), 459-464. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57320410>

Vidales, A., Leos, M., Campos, M., (2010). Extracción de Grasas y Aceites en los Efluentes de una Industria Automotriz. *Conciencia Tecnológica*, (40), 29-34. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3664694>

Viveros, D. (2016). Postratamiento de aguas residuales en plantas de beneficio de ganado porcino y bovino utilizando humedales artificiales [Tesis de maestría Universidad de Manizales].

<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3132/VIVEROS%20MONJE%20DIANA%20CAROLINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

