

**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARÁMETROS
FÍSICO-QUÍMICOS USANDO UN COAGULANTE NATURAL EXTRAÍDO DE
ESCAMAS DE PESCADOS, EN LA EMPRESA LÁCTEOS DEL CESAR KLARENS
EN VALLEDUPAR (CESAR).**

AUTORES:

JOSE ANGEL CUELLO SALAMANCA

MARTIN IGNACIO GULLOSO RANGEL

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

2023

**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARÁMETROS
FÍSICO-QUÍMICOS USANDO UN COAGULANTE NATURAL EXTRAÍDO DE
ESCAMAS DE PESCADOS, EN LA EMPRESA LÁCTEOS DEL CESAR KLARENS
EN VALLEDUPAR (CESAR).**

AUTORES:

JOSE ANGEL CUELLO SALAMANCA
MARTIN IGNACIO GULLOSO RANGEL

DIRECTOR

KARINA PAOLA TORRES CERVERA
MAGISTER EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE CANDIDATA A
DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

CODIRECTOR

ALCIDES TORREGROZA MOZO
MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2023

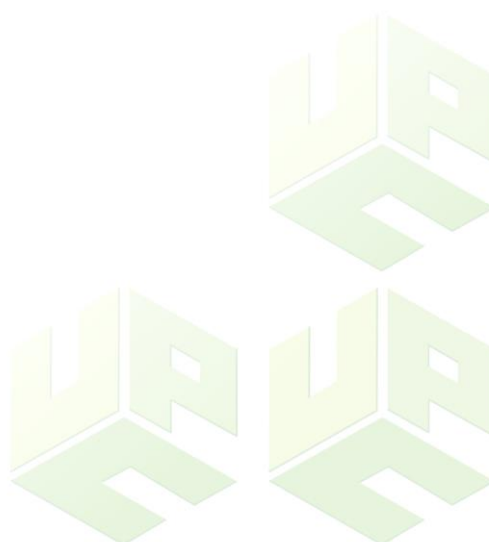
DEDICATORIA

En primera instancia este trabajo es dedicado a Dios, por brindarnos toda la fuerza y sabiduría necesaria para continuar y cumplir nuestro objetivo en esta investigación.

A nuestros padres, quienes son los motores que a lo largo de nuestra vida nos han apoyado y nos han brindado todas las facilidades para que nos formemos en la vida y terminemos esta carrera profesional, gracia por su amor, sacrificio y confianza que han depositado en nosotros.

A la Universidad Popular del Cesar y todo su personal que colocaron su grano de arena y han servido como mentores en nuestra formación profesional.

José Ángel Cuello Salamanca
Martín Ignacio Gullos Rangel



AGRADECIMIENTOS

A Dios, nuestro guía espiritual al darnos esa inteligencia y sabiduría para desenvolvemos al momento de desarrollar y terminar nuestro proyecto de grado con todo éxito.

A la Ingeniera Karina Torres Cervera, nuestra directora muchas gracias por ser una mujer comprensible y siempre estar dispuesta acompañarnos y dar su apoyo en el desarrollo de este proyecto investigativo.

A nuestro codirector-asesor el Ingeniero Alcides Torregroza Mozo, muchas gracias por brindad todo su entusiasmo, acompañamiento y sabiduría para la realización de este proyecto.

A nuestros padres quienes gracias a su esfuerzo en toda su vida han logrado sacarnos adelante y siempre estar ahí en cualquier paso que demos, para orientarnos y darnos todo el apoyo que necesitemos.

A la Universidad Popular del cesar, que nos abrió su puerta y nos sirvió de segunda casa, y a nuestros profesores que semestre a semestre pasaron a brindarnos toda su dedicación al momento de transmitir todos sus conocimientos y formarnos como Ingenieros Ambientales y Sanitarios.

A compañeros y amigos que fueron piezas fundamentas en la vida universitaria, volviéndose casi familia, gracias por todos su apoyo y colaboración durante la etapa formativa, y la culminación de este proyecto de grado.



RESUMEN

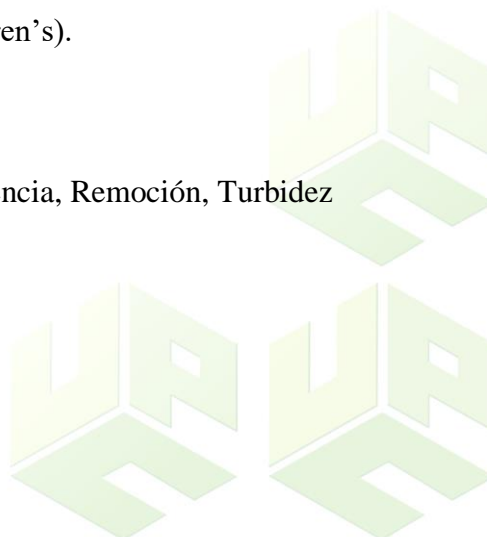
En esta investigación se determinó la eficiencia de las escamas de pescado de la especie tilapia roja (*OREOCHROMIS SP*) como coagulante natural en el tratamiento de las aguas residuales de la empresa Lácteos Del Cesar S.A. (klaren's) ubicada en la ciudad de Valledupar,

Las muestras se recolectaron en el punto de descarga de las aguas residuales de la industria mencionada anteriormente, presentando valores iniciales para turbidez de 2908mg/L, SST 2240mg/L, SSV 1860mg/L, A y G 5910mg/L, DQO 533,12mg/L y DBO 275mg/L.

Por medio del test de jarra, realizada dicha prueba en el laboratorio se encontró que una dosis de solución coagulante natural concentrada en 100 ppm se obtiene remociones superiores al 97% en parámetros como Turbidez, SST, SSV, A y G; y del 70% para DQO y del 80% para DBO5, logrando reducir las concentraciones contaminantes de estas aguas residuales, permitiendo así ser permisibles para realizar los vertimientos a cuerpos de aguas receptores de acuerdo a los valores estipulado en la normatividad vigente (Resolución 0631 del 2015). También se comparó la remoción del parámetro de turbidez que tuvo este coagulante con la remoción que se obtiene utilizando un coagulante comercial, en este caso el PAC.

Finalmente se demuestra que el Coagulante natural extraído de las escamas de pescado de la especie tilapia roja (*OREOCHROMIS SP*) posee gran capacidad de remoción de los parámetros estudiados, lo cual se permite presentar este biopolímero como una alternativa viable en el ámbito socioeconómico y ambiental, para el tratamiento de aguas residuales de la empresa Lácteos Del Cesar S.A. (klaren's).

Palabras Clave: Coagulante, Escamas, Eficiencia, Remoción, Turbidez



ABSTRACT

This research determined the efficiency of fish scales from the red tilapia species (OREOCHROMIS SP) as a natural coagulant in the treatment of wastewater from the company Lácteos Del Cesar S.A. (klaren's) located in the city of Valledupar, Samples were collected at the wastewater discharge point of the aforementioned industry, presenting initial values for turbidity of 2908mg/L, TSS 2240mg/L, SSV 1860mg/L, A and G 5910mg/L, COD 533.12mg/L, and BOD 275mg/L.

Through the jar test, performed in the laboratory, it was found that a dose of natural coagulant solution concentrated at 100 ppm obtained removals higher than 97% in parameters such as turbidity, TSS, SSV, A and G; and 70% for COD and 80% for BOD5, reducing the pollutant concentrations of these wastewaters, thus allowing them to be permissible for discharges to receiving water bodies according to the values stipulated in the current regulations (Resolution 0631 of 2015). The removal of the turbidity parameter that this coagulant had was also compared with the removal obtained using a commercial coagulant, in this case PAC.

Finally, it is demonstrated that the natural coagulant extracted from the fish scales of the red tilapia species (OREOCHROMIS SP) has a high removal capacity of the studied parameters, which allows presenting this biopolymer as a viable alternative in the socioeconomic and environmental field, for the treatment of wastewater from the company Lácteos Del Cesar S.A. (klaren's).

Keywords: Coagulant, Flakes, Efficiency, Removal, Turbidity, Turbidity.

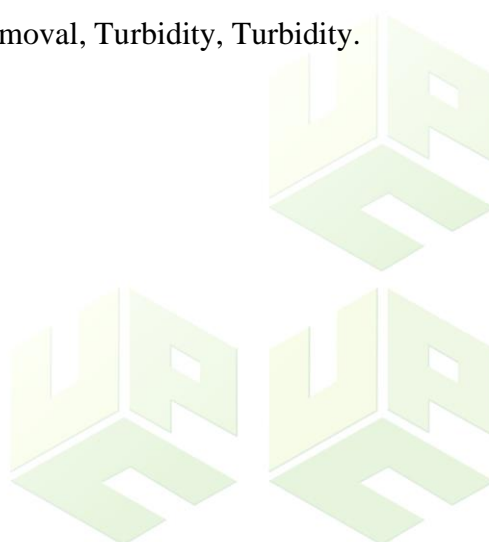


TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2. JUSTIFICACION	16
3. OBJETIVOS	18
3.1 Objetivo general	18
3.2 Objetivos específicos	18
4. MARCO REFERENCIAL	19
4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
4.1.1 Antecedentes Internacionales	19
4.1.2 Antecedentes Nacionales	21
4.2 MARCO TEORICO.....	25
4.2.1 Agua residual	25
4.2.2 Coagulación	28
4.2.3 Coagulantes naturales.....	29
4.3 MARCO CONCEPTUAL.....	31
4.4 MARCO CONTEXTUAL	33
4.4.1 LOCALIZACION	33
4.5 MARCO LEGAL	35
4.6 MARCO INSTITUCIONAL	38
5. MARCO METODOLOGICO	41
5.1 LINEA Y SUBLINEA DE LA INVESTIGACION	41
5.2. TIPO DE INVESTIGACION	41
5.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	41
5.4. POBLACION DE ESTUDIO	41
5.5. MUESTRA POBLACIONAL	41
5.6 DISEÑO EXPERIMENTAL	42
5.7 DESARROLLO METODOLÓGICO	42

5.7.1 ETAPA 1:	42
5.7.2 ETAPA 2:	45
5.7.3 ETAPA 3:	47
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	50
6.1 ETAPA 1: CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA (DBO, DQO, SST, TURBIEDAD, ACEITES Y GRASAS) DE LAS AGUAS DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA LÁCTEA KLAREN'S.	50
6.2 ETAPA 2: OBTENCIÓN DE LA SOLUCIÓN COAGULANTE A PARTIR DE ESCAMAS DE PESCADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICACIA DE REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ESTUDIO.	51
6.3 ETAPA 3: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL COAGULANTE NATURAL, EN LA REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DESPUÉS DE LA APLICACIÓN Y COMPARAR EL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD CON UN COAGULANTE COMERCIAL (POLICLORURO DE ALUMINIO).	56
6.3.1 Remoción de sólidos suspendidos totales (SST).	58
6.3.2 Remoción de sólidos suspendidos volátiles (SSV)	59
6.3.3 Remoción de aceites y grasas (A y G)	60
6.3.4 Remoción de la DQO	61
6.3.5 Remoción de la DBO5	63
6.3.6 Comparación de eficiencia de coagulante natural (escamas de pescado) y coagulante comercial (policloruro de aluminio) en la remoción del parámetro turbidez.	64
7. CONCLUSIONES	69
8. RECOMENDACIONES	71
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS	78



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normativa colombiana relacionada con el recurso agua.	35
Tabla 2. Normativa colombiana dirigida a los vertimientos	36
Tabla 3. Volúmenes de muestra y factor de corrección.....	45
Tabla 4. Parámetros y métodos analíticos a identificar	45
Tabla 5. Niveles permisibles y valores a monitoreados en los vertimientos de aguas de aguas residuales no domesticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de las actividades de elaboración de productos lácteos.	48
Tabla 6. Resultados caracterización de aguas residuales de la planta de Klaren´s	50
Tabla 7. Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 11.50.....	56
Tabla 8. Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 5.....	57
Tabla 9. Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación de la dosis optima del coagulante de escama de pescado	58
Tabla 10. Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación de la dosis optima del coagulante de escama de pescado.	59
Tabla 11. Comportamiento de la remoción de A Y G durante la aplicación de la dosis optima del coagulante de escama de pescado	60
Tabla 12. Comportamiento de la remoción de la DQO durante la aplicación de la dosis optima del coagulante de escama de pescado	62
Tabla 13. Comportamiento de la remoción de la DB05 durante la aplicación de la dosis optima del coagulante de escama de pescado.	63
Tabla 14. Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Coagulante comercial PAC a pH 5	64
Tabla 15. Comparación de la remoción de turbidez durante la aplicación del coagulante comercial PAC y coagulante natural escamas de pescado a pH 5.	64
Tabla 16. Correlación de parámetros fisicoquímicos presentes en el agua residual láctica, tratadas con coagulante natural extraído de las escamas de pescado.....	66

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Comportamiento de remoción de turbiedad durante la aplicación del coagulante natural de escamas de pescado a pH 11,50 y 5	58
Gráfica 2. Comportamiento de remoción de los SST durante la aplicación del coagulante natural de escamas de pescado a pH 5.	59
Gráfica 3. Comportamiento de remoción de los SSV durante la aplicación del coagulante natural de escamas de pescado a pH 5.	60
Gráfica 4. Comportamiento de remoción de A y G durante la aplicación del coagulante natural de escamas de pescado a pH 5.	61
Gráfica 5. Comportamiento de remoción de la DQO durante la aplicación del coagulante natural de escamas de pescado a pH 5.	62
Gráfica 6. Comportamiento de remoción de la DBO5 durante la aplicación del coagulante natural de escamas de pescado a pH 5.	63
Gráfica 7. Comportamiento de remoción de turbiedad durante la aplicación del coagulante comercial PAC y la del coagulante natural escamas de pescado a pH 5.	65
Gráfica 8. Comparación de los parámetros fisicoquímicos durante el pre y postratamiento con el coagulante natural de escamas de pescado.	66
Gráfica 9. Correlación de los parámetros fisicoquímicos teniendo en cuenta las condiciones iniciales y finales de la muestra de agua, durante el pre y postratamiento con el coagulante natural de escamas de pescado.	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la empresa Klaren's	40
---	----

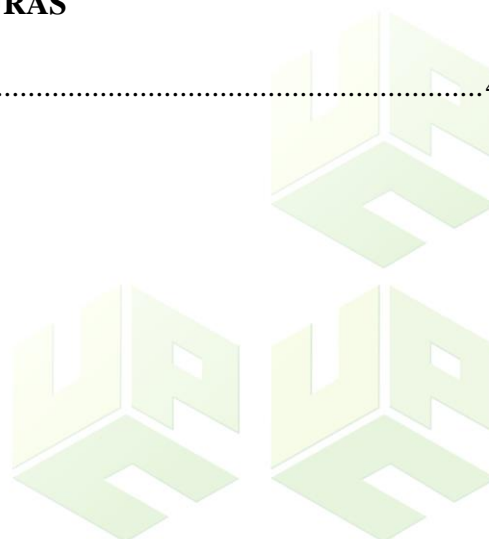


TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1. Referencia geográfica de Valledupar	34
Imagen 2. Ubicación de la empresa Klaren's	34
Imagen 3. Escamas lavadas con agua corriente.	51
Imagen 4. Escamas colocadas a la luz solar para su secado.	52
Imagen 5. Escamas secadas a la luz solar	52
Imagen 6. Escamas montadas a una temperatura de 120 grados por 2 horas en solución de NaOH.	53
Imagen 7. Proceso de desacetilación de las escamas terminado después de 2 horas a 120 grados.	53
Imagen 8. Filtrado de la muestra para obtener una solución casi homogénea.	54
Imagen 9. Muestra resultante después del filtrado.	54
Imagen 10. Material solido obtenido a partir de las escamas de pescado.	55
Imagen 11. Agentes activos (Quitosano) de las escamas de pescado obtenido finalmente.	55



INTRODUCCIÓN

Colombia es el país de la región andina con la industria láctea más grande, esto hace que sea un sector productivo con gran relevancia dentro de la economía nacional. La empresa Lácteos Del Cesar S.A. (klaren's) perteneciente a este sector se encarga a la producción y comercialización de leche y derivados, la cual encontramos empacados de leche entera, pasteurizada y deslactosada, suero costeño y arequipe yogurt, queso campesino y avena tradicional.

La producción genera alta carga contaminante que ocasiona el deterioro de la calidad de vida y el incumplimiento normativo, lo que obliga a la industria a buscar medidas de minimización de impactos ambientales. Por lo cual se hace necesaria esta investigación para reducir las cargas orgánicas en el efluente hacia la laguna de oxidación y así lograr el cumplimiento de la normatividad vigente (Resolución 0631 de 2015), utilizando mecanismos en los procesos de coagulación como lo son los coagulantes naturales que busquen una optimización en la remoción de los parámetros medicados prontamente.

Por lo tanto, se estudiará el comportamiento de parámetros como pH, turbidez, demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grasas (A y G), buscando darle una alternativa de solución a la empresa, utilizando herramientas de bajo costo, amigable al medio ambiente, como lo es el coagulante natural a base de escama de pescado (Tilapia Roja).

En la actualidad, los coagulantes más usados son las sales minerales de hierro y aluminio (COGOLLO J. 2015) ; sin embargo, estos compuestos químicos son arrastrados durante la sedimentación de los lodos ya que estos están constituidos por dichas sustancias que alteran los procesos naturales presentes en las fuentes de aguas a las cuales son vertidos, estos lodos se generan en las etapas de coagulación- floculación y sedimentación, lo cual se convierte en un problema ambiental, ya que en altas dosis pueden llegar a ser tóxicos (B. Ortiz, I. C. Paz, 2015).

En este sentido se hizo necesario la implementación del coagulante natural para garantizar una adecuada remoción de contaminantes la cual no conlleva material particulado

tóxicos y nocivos para la salud humana y cuerpos de agua. Por lo tanto, se ha desarrollado el método de coagulación-floculación, el cual resulta particularmente rentable y reduce significativamente la carga contaminante de los efluentes lácteos.

En esta investigación se evaluó la eficiencia del quitosano extraído de los componentes activos de las escamas de pescado como coagulante en el tratamiento de aguas residuales lácteas, evaluando su eficiencia en medio ácido pH5. Para tal fin, se realizó muestreo y caracterización del efluente de la empresa Lácteos Del Cesar S.A. (klaren's), en la que se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros de estudio, los cuales fueron turbidez, DQO, DBO5 SST, SSV, aceites y grasas, finalizando con la comparación con el coagulante comercial Policloruro de Aluminio (PAC) referente al porcentaje de remoción de turbiedad, y teniendo en cuenta los valores arrojado de los resultados para verificar si son apta para el vertimientos a los cuerpos de aguas receptores, como lo estipula la normativa vigente colombiana (Resolución 0631 de 2015).



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial la contaminación de fuentes hídricas por medio de grasas, aceites y presencias de sólidos suspendidos, provenientes de aguas residuales se han visto en aumento, presentando más dificultad al momento de ser llevada a las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR). (Fa García Solarte, Vp Duarte Martínez - 2017).

Las fuentes de agua (ríos, acuíferos, lagos, mar), han sido incapaces por sí mismas para absorber y neutralizar esta carga contaminante, y por ello estas masas de agua han perdido sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada, que responda al equilibrio ecológico que de ellas se espera para preservar los cuerpos de agua. (José, N., y Díaz Duque, J. A. 2019)

Las industrias lácteas no son ajenas a estas problemáticas ya que generan entre 3.739 y 11.217 millones de m³ de aguas residuales al año, es decir, 1 a 3 veces el volumen de leche procesada (Kushwaha, 2011), concentrando en estas la mayor cantidad de contaminantes originados en sus procesos, las cuales se caracterizan por poseer una gran cantidad de materia orgánica, especialmente grasas y aceites, además de sólidos suspendidos y valores de pH que se salen de los rangos aceptables para vertimiento (Arango, 2007).

Los aceites y grasas son compuestos orgánicos estables dentro del agua son de baja biodegradabilidad, forman películas semipermeables que impiden el paso del oxígeno y por su capacidad de formar emulsiones acuosas, disminuyen la biodiversidad tanto en el agua como en el suelo diseminando productos nocivos que pueden ser ingeridos por los seres humanos de forma directa o indirecta.

La industria klaren's situada en Valledupar es un sector que tiene como materia prima la leche procedente de animales (por regla general vacas). La leche es uno de los alimentos más básicos de la humanidad, el problema de contaminación de la industria se da por exceso de presencias de aceites - grasas, nitratos- fosforo, alto índice de sólidos suspendidos y nutrientes en abundancia donde crecen plantas y otros organismos, más tarde, cuando mueren, se pudren y llenan el agua de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo, disminuyendo drásticamente su calidad. (Nerín. P. 2008).

Estudios de la contraloría municipal de Valledupar, (2009) afirma que sus aguas residuales tienen valores en los parámetros, 11700 ppm DQO, 8100 ppm DBO5, 1655,5 ppm SST y 873,3 ppm Aceites y Grasa, parámetros que están por fuera de los valores permisibles establecidos por la norma legal vigente en los decretos 3930 de 2010 y la resolución 0631 de 2015.

Los estudios ambientales que se han venido trabajando en la empresa por parte de la universidad popular del cesar son los siguientes, implementación de un tratamiento al efluente de la empresa a través de la electrocoagulación (Rojas P. y Marmol E. 2015); Evaluación de la eficiencia del *Stenocereus griseus* como coagulante natural, en el tratamiento de las aguas residuales (Calderon C, y Mendencia A. 2018); etc.

La empresa láctea del cesar S.A. presenta actualmente un tratamiento preliminar, es decir, una serie de trampa de grasas para cada sección de producción. El sistema general de trampa de grasas se encuentra en buen funcionamiento en gran parte de su totalidad, con pequeñas deficiencias de la retención de sólidos, de acuerdo a esto la empresa está en búsqueda de implementar una planta de tratamiento para las aguas residuales que producen.

Acorde a esto se busca implementar un coagulante natural a base de escamas de pescados para disminuir y remover las cantidades de aceites, grasas SST, SSV, DQO Y DBO5 presentes en las aguas residuales provenientes de la industria láctea klaren's y se hace necesario la búsqueda de alternativas más amigables con el medio ambiente y con excelentes resultados en la remoción de estos contaminantes, para que sus efluentes cumplan con la normatividad vigente antes mencionada, la cual establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a sistemas de alcantarillados público.

Formulación del Problema:

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, vale la pena formular el siguiente interrogante. ¿Será eficiente la remoción de parámetros fisicoquímicos (turbiedad, SST, SSV, Aceites y Grasas, DQO, DBO), usando un coagulante natural a partir de escamas de pescado en las aguas residuales de la industria láctea klaren's?

2. JUSTIFICACION

Según Naciones Unidas (NU), aproximadamente un quinto de la población mundial vive en áreas en las cuales existe escasez física del agua. Según esta misma organización, para el año 2025 se estima que aproximadamente 1,800 millones de personas vivirán en zonas de absoluta escasez de agua. Con el aumento de la población, el cambio en los patrones de consumo y las presiones adicionales ejercidas por el cambio climático, se prevé que habrá mayores dificultades para satisfacer la demanda de agua (UNESCO, 2007 en Zárate y Kuiper, 2013).

En Colombia en 989 localidades, en áreas con menos de 30.000 habitantes, el 78% no tiene tratamiento alguno de aguas residuales. Hasta el 2002 en Cundinamarca operaban: en Cundinamarca 38 PTARs, en Antioquia 26, Cesar 14, Valle del Cauca 14 y Tolima 13. Según el CONPES 3177 del 2002 (Consejo Nacional de Política Económica y social).

Las industrias lácteas producen principalmente el suero lácteo por sí solo, este el efluente resultante de la fabricación de queso que se origina después de separar la leche, la caseína y las grasas mediante coagulación, debido a las características que posee, ocasionan un serio problema ambiental, (Álvarez, J., y Rodríguez E 2009).

Teniendo en cuenta que, en la actualidad, los coagulantes químicos como sales de aluminio y de hierro y polímeros sintéticos como la poliacrilamida son ampliamente utilizados en la coagulación y floculación de diferentes contaminantes presentes en aguas residuales, debido a su rendimiento, disponibilidad y costos bajos (Shak y Wu, 2014). Sin embargo, países en desarrollo como Colombia, difícilmente pueden asumir los costos de productos químicos importados para el tratamiento de aguas residuales. Además, se presentan efectos nocivos sobre la salud humana y el medio ambiente, debido a que tienen muy baja biodegradabilidad en el suelo y agua, formando aglomerados residuos de lodos, los cuales tienen elevados niveles de toxicidad, generando enfermedades como Alzheimer, así como el hecho de que afectan considerablemente pH del agua tratada (Vijayaraghavan. E. 2011)

Según investigaciones, los componentes activos de las escamas del pescado que intervienen en la actividad coagulante son proteínas, las cuales se han utilizado para la

remoción de color de aguas residuales, como también para eliminar iones metálicos, aceites-grasas y alto índice de sólidos suspendidos. (Musa. A. 2015).

Las aguas residuales provenientes y vertidas al sistema de alcantarillado por parte de la industria láctea klaren's situada en Valledupar-Cesar presentan un alto índice de contaminantes como son los aceites, grasas, sólidos suspendidos entre otros ácidos grasos que afectan directamente en el tratamiento de las aguas residuales, incumpliendo los valores permisibles de vertimientos de efluentes a los sistemas de alcantarillado como lo indica la Resolución 0631 de 2015. Debido a esto se realizaron las investigaciones donde se comprueba la eficiencia del coagulante natural extraído de la escama de pescado para el tratamiento de aguas residuales asociadas a los vertimientos generados por parte de las industrias lácteas.

Con esta investigación se comprobará la utilización eficiente de un coagulante natural extraído de las escamas de pescado, que se convertiría en alternativa a los coagulantes químicos que son eficientes, pero que generan un gran impacto en el entorno ambiental y cuyo uso trae desventajas asociadas a altos costos de adquisición, no tan favorable a una economía que no ve con buenos ojos la inversión económica para cuidar el medio ambiente. Es aquí donde los coagulantes naturales, que son de menores y/o bajos costos para su implementación juegan un papel importante generando un mejoramiento en la calidad ambiental, dado que su utilización sería de bajo impacto ambiental en las fuentes hídricas donde se aplicarían y todo el entorno ambiental general; convirtiéndose en una alternativa también económica que brindaría impactos mínimos de acuerdo a los coagulantes químicos.

Las principales importancias que se dan al remover los parámetros físico-químicos de estudio son los siguientes: Presentar alternativas competitivas para que la empresa cumpla la normatividad en cuanto al manejo de aguas residuales; Mejorar condiciones para el desarrollo de las especies acuáticas y calidad de agua para riego; las implicaciones de calidad de vida de los habitantes del sector y el ahorro de los recursos que la empresa puede obtener.

Por tanto, esta investigación procura dar soporte científico en la utilización de coagulante natural a base de escama de pescado en los tratamientos de las aguas residuales provenientes de las industrias lácteas, y convirtiéndose en alternativas para tratar aguas residuales de diferentes tipos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar la eficiencia de remoción de parámetros físico-químicos usando un coagulante natural extraído de escamas de pescados, en la empresa lácteos del cesar klaren's en Valledupar(cesar)

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente (pH, Turbiedad, DBO, DQO, SST, SSV aceites y grasas) las aguas de producción de la industria láctea Klaren's.
- Obtener la solución coagulante a partir de escamas de pescado para la determinación de la eficacia de remoción de los parámetros de estudio.
- Evaluar la eficiencia del coagulante natural, en la remoción de los parámetros fisicoquímicos después de la aplicación y comparar el porcentaje de remoción de turbiedad con un coagulante comercial (Policloruro de Aluminio).



4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con el tipo de coagulante a utilizar para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria láctica klaren's, se ha encontrado un solo antecedente de investigación relevante a la escama de pescado como coagulante natural, debido a esto se anexarán otros tipos de antecedentes no con el mismo tipo de coagulante, sino con aguas de origen lácticas, pero con otras especies de coagulantes naturales:

4.1.1 Antecedentes Internacionales

Jaramillo Campoverde, P. N. (2020). En su trabajo titulado ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE COAGULANTES A BASE DE TANINOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA; para optar el título de Ingeniero Ambiental En Prevención y Remediación, en la Universidad de las Américas, Quito. Este estudio busco una alternativa menos contaminante para el proceso de coagulación floculación a partir de taninos vegetales de especies nativas como biocoagulantes, con el fin de evaluar la efectividad en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Las especies vegetales nativas utilizadas en este estudio fueron el guarango y el chocho, estas tienen un alto contenido de taninos siendo convenientes para la elaboración de los biocoagulantes. Se ha evaluado el poder de remoción frente a parámetros como Turbidez, DQO, DBO5 y STT, respectivamente, para las dos especies vegetales. Se destacó la dosis óptima de 1ml de biocoagulante luego de pruebas en el test de jarras. Los resultados más representativos de biocoagulante por especie fueron 94.84% de remoción de turbidez; 21.07% de DQO; 76.57% de DBO5 y 30.8% de STT para el biocoagulante de guarango. Mientras para que para la especie Chocho fueron 87.2 % de remoción de turbidez; 35.06% de DQO; 76.54% de DBO5 y 21.98 % de STT. La ocurrencia de remoción se dio en pH ácidos por el tipo de agua residual y la coagulación por barrido equitativamente. El biocoagulante predominante se determinó mediante análisis estadísticos, tomando como referencia las medidas de cada una de las especies.

En este orden de ideas, (Muniz y col., 2020) en la ciudad de Sao Pulo, Brasil desarrolló la investigación titulada “TRATAMIENTO PRIMARIO MEJORADO QUÍMICAMENTE DE AGUAS RESIDUALES LÁCTEAS USANDO QUITOSANO

OBTENIDO DE DESECHOS DE CAMARONES: OPTIMIZACIÓN USANDO UN DISEÑO DE MATRIZ DOEHLERT”; publicada en la revista Tecnología ambiental, con la finalidad de remover las cargas no biodegradables del efluente lácteo mediante un tratamiento primario. El tratamiento consistió en el uso del quitosano con un grado de desacetilación igual al 81%. Se encontró que una dosis de quitosano de 73,34 mg/L a pH 5,00 era óptima para la remoción de contaminantes como DQO, turbidez y UV 254 los cuales fueron de 77,5%, 97,6% y 88,8%, respectivamente. Los mecanismos de coagulación floculación implicados en el tratamiento de SDE mediado por quitosano implican la neutralización de las cargas electrostáticas transportadas en los grupos amina presentes en el quitosano catiónico a pH 5,00. Por lo anterior, el quitosano de los desechos de camarones es una alternativa ecológica y de bajo costo para la remoción de contaminantes de los efluentes lácteos utilizando el CEPT

Marco Raúl Chuiza, (2019). En su investigación titulada CLARIFICACIÓN DE UN AGUA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA LÁCTEA MEDIANTE COAGULACIÓN CON TUNA (OPUNTIA FICUS INDICA), El presente trabajo investiga la clarificación de un agua residual de una industria láctea, de la provincia de Pastaza, Ecuador, utilizando Tuna (Opuntia ficus indica) como agente coagulante natural. Se estudió la coagulación en muestras de un litro de agua residual mediante un equipo estándar de prueba de jarras, modificando las variables concentración de coagulante (1-2 %P) y volumen de coagulante (5-35 ml). Los parámetros analizados fueron turbidez, color, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS), sólidos totales (ST) y coliformes fecales (CF). Se encontró que la dosificación óptima fue 20 ml de solución de coagulante al 2% (400 ppm). Las eficiencias de remoción encontradas fueron 77,8% en turbidez, 51,8% en color, 26,8% en DQO, 13,9% en DBO, 31,0% en SS, 26,4% en ST y 99,96% en CF. Los resultados muestran que la Tuna (Opuntia ficus indica) puede ser utilizada como tratamiento preliminar de las aguas residuales de una industria láctea.

Paca Telenchano, Flor Rocio. (2017). En su investigación titulada EVALUACIÓN DE RESIDUOS VEGETALES DE PAPA, YUCA, CAMOTE Y PLÁTANO, COMO COAGULANTES NATURALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA LÁCTEA; para optar el grado académico de Ingeniera Química en la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo-Ecuador. La cual se

evaluó los residuos de papa, yuca, camote y plátano, como coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea. Los residuos fueron deshidratados y molidos para obtener residuos vegetales deshidratados pulverizados (RVD), se evaluó humedad, ceniza, proteína, fibra, carbohidratos digeribles y grasa. Las pruebas del proceso de coagulación-floculación con los RVD, se dividieron en dos etapas. En la primera se determinó la dosis óptima de utilización y el RVD de mayor potencial, para esto se utilizó diluciones de los RVD al 2 y 10% en agua, se dosificó desde 1mL hasta 10mL por litro de agua residual láctea y mediante la prueba de jarras se determinó que todos los RVD presentaron potencial coagulante y su dosis óptima osciló entre 7 y 10 mL/L al 10% de dilución. Los resultados de esta etapa mostraron mejor acción del RVD en un medio ácido, con una remoción de 98% de la turbiedad, 82% del color, 99 % de los SST, 84% de ST, 76% DBO5, 54% DQO y 95% de aceites y grasas. Se recomienda realizar estudios con los RVD, en otro tipo de aguas residuales, de ese modo remplazar o disminuir el uso excesivo de coagulantes químicos.

Geetha, (2013). En su investigación “TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PRODUCTOS LÁCTEOS CON QUITOSANO DE CÁSCARA DE CANGREJO DE BAJO PESO MOLECULAR” publicada en la revista de la institución de la institución de ingenieros (india), de la ciudad de Muscat, Oman. Evaluó la eficiencia del quitosano como coagulante en las aguas residuales de la producción de lácteos, para estudiar parámetros como: pH, DQO, turbidez, SST, tiempo de mezcla, velocidad y dosis de coagulante a partir de quitosano elaborado en laboratorio. Las características del efluente tratado mostraron que el quitosano se puede usar de manera efectiva como adsorbente en el tratamiento de aguas residuales de productos lácteos. Las condiciones óptimas para este estudio fueron 150 mg/l de quitosano, pH 5 y 50 min de tiempo de mezclado con 50 rpm de velocidad de mezclado. El quitosano mostró el rendimiento más alto en estas condiciones con 79 % de DQO, 93 % de turbidez y 73 % de reducción de TSS. El resultado mostró que el quitosano es un coagulante eficaz, que puede reducir el nivel de DQO.

4.1.2 Antecedentes Nacionales

Calderón y Mendieta, (2018) en su investigación titulada **EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL STENOCEREUS GRISEUS COMO COAGULANTE NATURAL, EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA LACTEOS DEL**

CESAR S.A (KLARENS), EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR, para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario en la Universidad Popular del Cesar. La finalidad de esta investigación se centró en evaluar la eficiencia de un coagulante obtenido a partir del cactus *Stenocereus griseus* (Cardón guajiro) para el tratamiento de agua residual no doméstica, de la planta de productos lácteos Klarens perteneciente a la empresa Lácteos del Cesar en la ciudad de Valledupar. Basado a esto se tomaron muestras después de la trampa de grasas (diseño experimental), para ello se caracterizó el agua residual y se extrajo el mucilago del cactus a través de un proceso de secado, molienda, tamizado y extracción con metanol anhidro. Luego se realizaron unas pruebas de jarra para observar el comportamiento del coagulante natural extraído, comparado con el Sulfato de Aluminio a concentraciones de 10 mg/L a 100 mg/L con intervalos de 10 mg/L. Para cada uno de los coagulantes se realizaron 2 réplicas por cada prueba, cuyos valores se analizaron de forma independiente. Dichos resultados mostraron que además de la turbiedad otros parámetros como el DQO, DBO5, SSV, SST y A y G se reducen considerablemente, muy similares a los alcanzados con coagulantes químicos, hasta los rangos permitidos para aguas residuales no domésticas de la elaboración de productos lácteos por la legislación colombiana bajo la Resolución 0631 de 2015.

Bravo, (2017). en su proyecto titulado COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES USADOS EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ, SÓLIDOS SUSPENDIDOS, COLORANTES Y METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES. Para optar su titulación de Licenciatura en Química, en la Universidad Distrital Francisco José De Caldas. En esta monografía se realizó la recopilación de información sobre la capacidad de coagulación y floculación de metales pesados, sólidos en suspensión, turbidez, colorantes y demanda química de oxígeno presentes en aguas residuales mediante la aplicación de extractos derivados de fuentes naturales. Para esto, se recolectó información bibliográfica de quince especies de plantas y dos extraídos de animales (*Moringa oleífera*, *Cassia obtusifolia*, *Jatropha curcas*, *Aesculus hypocastanum*, *Quercus robur*, *Abelmoschus esculentus*, *Plantago mayor L.*, *Vitis vinífera*, *Plantago psyllium*, *Phaseolus vulgaris*, *Vicia faba L.*, Ácido láctico y Lactato de Calcio, Escamas de pescado, *Acacia mearnsii* y *Schinopsis balansae*) las cuales han sido estudiadas por otros autores en el proceso de coagulación floculación. Como resultado se pudo mostrar la capacidad de agentes coagulantes y floculantes extraídos de fuentes naturales con porcentajes de eliminación de

contaminantes con hasta más del 90% de efectividad. Los mecanismos de coagulación más aplicables para coagulantes y floculantes naturales son adsorción y neutralización de carga y adsorción y puente entre partículas que se atribuye a la naturaleza aniónica o catiónica del agente coagulante.

Arias, Hernández, Castro y Sánchez (2017). En su estudio titulado **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA CENTRAL DE SACRIFICIO: USO DEL POLVO DE LA SEMILLA DE LA M. oleífera COMO COAGULANTE NATURAL**, para optar título profesional en Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Mediante el presente estudio se analizó la eficiencia de la semilla del árbol M. Oleífera como sustancia coagulante en tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio. Para ello se realizaron pruebas de coagulación/floculación, en un test de jarra, adicionando dosis predeterminadas del coagulante de origen natural M. Oleífera, que se obtuvo mediante la pulverización de semillas y extracción de su polvo. La muestra de agua residual se tomó a la salida de la central de sacrificio luego del tratamiento preliminar que consta de una rejilla de limpieza manual. En cada ensayo realizado se midió pH, turbiedad, color, temperatura; DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales (SST), Coliformes totales y fecales, antes y después de cada prueba, con el fin de calcular la remoción obtenida. Los resultados obtenidos comprueban la eficiencia en remoción de turbidez y color, dado que se obtuvo con una remoción de turbidez de 86,7% y de color de 93% y la disminución de parámetros como DBO5 , DQO, SST, Coliformes Totales y Fecales, alcanzando porcentajes mayores al 90% en remoción de Coliformes Totales y Fecales, y porcentajes entre 20 y 60 % para el resto de contaminantes; lo que demuestra una posibilidad para la aplicación de este coagulante natural a las aguas residuales provenientes de una planta de sacrificio animal.

Novoa & Pallares, (2022) en su tesis **EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL QUITOSANO COMO COAGULANTE NATURAL, EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA LACTEOS DEL CESAR S.A (KLAREN´S), EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR**, obtuvieron remociones de parámetros del 97% de turbidez, 95% de DQO, 95% de SST, 97% de SSV y 75% de A y G. Teniendo en cuenta que esta se llevó a cabo en el mismo sitio de evaluación y realizando la comparación se puede observar que muestra poca variabilidad de remociones realizadas por los distintos coagulante naturales.

Torregroza (2017), en su estudio titulado “eficiencia de coagulantes en el tratamiento de aguas residuales asociadas a la producción de aceites de palma en Palmacara Cesar”; para optar el título de magister en ciencias ambientales, en la Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Colombia. Evaluó la eficiencia de coagulantes extraídos del Quitosano, el *Lemaireocereus Griseus* (Cactus Cardón Guajiro) y el Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) como coagulantes en el tratamiento de agua residual asociadas a la producción de aceite de palma. Tomaron muestras de aguas residuales bajo diferentes condiciones de acidez (pH: 4, 5, 6, 7, 8) y se realizaron pruebas de coagulación, floculación y sedimentación mediante ensayo de jarras. Los resultados mostraron que la eficiencia de remoción de cada coagulante varió en función del pH, con rendimientos superiores al 90% en todos los parámetros (DQO, SST, SSV y A y G) para el Quitosano en un rango de pH de 4 a 6. El sulfato de aluminio presenta remociones mayores al 60% en DQO, la efectividad mostrada para las demás variables supera el 85% en remoción a pH de 5 a 7 y el *Lemaireocereus Griseus* demuestra su efectividad en A y G superando el 40% en remoción, mientras que para los otros parámetros supera el 70% para pH de 6 a 8.



4.2 MARCO TEORICO

4.2.1 Agua residual

Podemos definir a las aguas residuales como aquellas que provienen de las actividades del hombre y de los animales, tanto como de las precipitaciones, y que son recolectadas en los sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al ambiente. (Lazcano Carreño, C. A. 2016).

4.2.1.1 Características de las aguas residuales

4.2.1.1.1 Características físicas de las aguas residuales

- Sólidos

Los sólidos se hallan representados por las partículas visibles y coloidales que se encuentran en la masa de agua y conformados principalmente por materia orgánica: carbohidratos, lípidos, proteínas, etc., células de organismos vivos y muertos, partículas de fibras: celulosa, quitina, etc.; sustancias químicas disueltas orgánicas e inorgánicas, entre otras. La clasificación de los sólidos (APHA, 2001) es como sigue: Sólidos totales (ST)

Corresponden a los descritos anteriormente y se definen como los residuos que quedan después de que la muestra ha sido evaporada y secada a 105 °C durante veinticuatro horas al calor seco.

1. Sólidos sedimentables

Son aquellos que se sedimentan en el cono Imhoff después de dejar reposar 1 L de agua durante una hora (mL/L); constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodos que se obtendrá en la sedimentación primaria del agua residual. Estos sólidos son fáciles de eliminar por procesos físicos.

2. Sólidos suspendidos totales o no filtrables (SST)

Son aquellos que quedan después de filtrar el agua residual a través de un filtro de fibra de vidrio de 1,2 µm de tamaño de poro. (Lazcano Carreño, C. A. 2016).

3. Sólidos suspendidos volátiles o filtrables (SSV)

Son aquellos que se volatilizan después de incinerar los SST a 500 °C, constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales representados por material orgánico.

- o Temperatura

La temperatura de las aguas residuales siempre es mayor que la temperatura del agua de la red potable, debido a que generalmente se vierten líquidos calientes y también es mayor que la temperatura del aire, especialmente en los meses fríos; el conocimiento de las temperaturas durante todo el año es necesario para los diseños de las PTAR; por otro lado, la temperatura influencia la biodegradabilidad de la materia orgánica, ya que contribuye con los procesos cinéticos químicos y biológicos. (Lazcano Carreño, C. A. 2016).

- o Color

El color de las aguas residuales se debe principalmente a las partículas que contiene; se denomina color aparente al que se observa por la presencia de los sólidos suspendidos, y color verdadero al producido por las sustancias coloidales y disueltas. (Lazcano Carreño, C. A. 2016).

4.2.1.1.2 Características químicas de las aguas residuales

- o pH

El pH se define como el grado de acidez o alcalinidad que posee el agua y que depende de la concentración de iones de hidrógeno presentes.

- o Lípidos

Constituidos por los aceites y grasas presentes en las aguas residuales en proporción del 10% de los componentes orgánicos. (Lazcano Carreño, C. A. 2016).

- o Oxígeno disuelto (OD)

La cantidad de oxígeno presente en las PTAR determina sus condiciones aerobias, microaerófilas, anóxicas y anaerobias para los procesos biológicos.

- o Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Se define como la cantidad de OD consumido por los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica carbonácea (DBO carbonácea: DBO_{c5}) e inorgánica (DBO nitrogenácea: DBO_n)

- o Carbono orgánico total (COT)

Representa el carbono orgánico de una muestra dada; se determina por la oxidación de la materia orgánica con calor, oxígeno y oxidantes químicos, seguido de la medición de CO₂ liberado con un analizador infrarrojo.

4.2.1.1.3 Características biológicas de las aguas residuales

Las aguas residuales, crudas o tratadas, presentan una gran variedad de organismos vivos, entre los que encontramos aquellos que son patógenos al hombre y que fueron estudiados anteriormente (virus, bacterias, formas parasitarias, etc.). También encontramos los organismos indicadores de contaminación fecal, como las bacterias coliformes y E. coli, que se usan para los diseños de lagunas de estabilización, y las bacterias que permiten la biodegradación de la materia orgánica (bacterias heterotróficas). (Lazcano Carreño, C. A. 2016).

4.2.1.2 Tipos de aguas residuales

- o Aguas residuales domésticas
- o Aguas residuales industriales lácteas
- o Aguas residuales de origen minero-metalúrgico
- o Aguas residuales agropecuarias
- o Aguas residuales pluviales

4.2.1.3 Tratamientos de las aguas residuales

- o Objetivos del tratamiento de las aguas residuales
 1. Reducir la carga orgánica del desagüe en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) o demanda química de oxígeno (DQO).
 2. Remover o reducir los nutrientes: N, P, a fin de evitar la infiltración en el subsuelo que contamine las aguas subterráneas o evitar el crecimiento acelerado de las algas que podrían ocasionar problemas de eutrofización en las aguas receptoras.
 3. Remover o inactivar a los organismos patógenos, incluyendo las formas parasitarias (huevos de helmintos, quistes de protozoarios, etc.).

4. Cumplir con las normas o reglamentos legales que permiten el uso de las aguas residuales, vertimiento a la red de alcantarillado de aquellas aguas residuales no domésticas y vertimiento a las fuentes de agua o aguas marinas.

o Procesos operacionales y unitarios en sistemas de tratamiento de aguas residuales

Los métodos de tratamiento originados por las fuerzas físicas se llaman procesos operacionales, que incluyen: captación, desarenación, homogeneización, sedimentación, filtración y flotación y los métodos basados en procesos químicos y biológicos se llaman procesos unitarios, que incluyen: coagulación, floculación, desinfección, estabilización de la materia orgánica, lodos activados, procesos anaeróbicos, etc. (Lazcano Carreño, C. A. 2016).

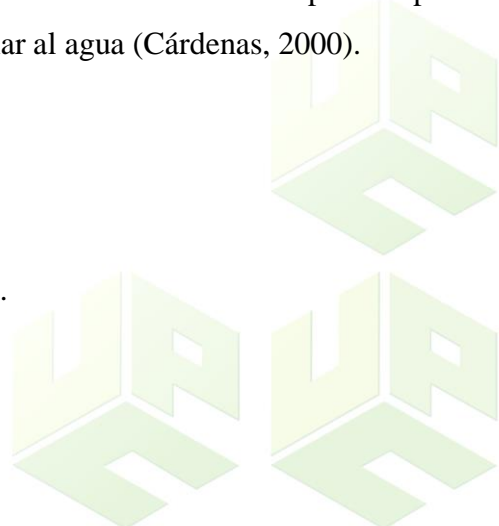
4.2.2 Coagulación

La coagulación consiste en neutralizar la carga, generalmente electronegativa, de los coloides presentes en el agua, quedando estos en condiciones de formar flóculos. Este proceso se consigue introduciendo en el agua un producto químico denominado coagulante, para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión, este hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse una de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o en el proceso de agitación que inmediatamente sigue a la adición del coagulante (Valdés, 2009).

4.2.2.1 Factores que influyen en la coagulación

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación, debido a que la interrelación entre cada uno de ellos permite predecir cuáles son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua (Cárdenas, 2000).

- o Influencia del pH.
- o Influencia de las Sales Disueltas.
- o Influencia de la Temperatura del Agua.
- o Influencia de la Dosis del Coagulante.
- o Influencia de Mezcla.



- o Influencia de la Turbiedad.

4.2.2.2 Etapas o Fases de la Coagulación

El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas (Cárdenas, 2000):

- o Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- o Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- o Adsorción mutua de coloides.
- o Acción de barrido.

4.2.3 Coagulantes naturales

Están compuestos principalmente en polímeros de origen natural extraídos de plantas, algas o animales. Entre estos encontramos polisacáridos y sustancias solubles en agua que actúan como agentes de coagulación y/o floculación.

Son una fuente alternativa con gran potencial aún no explotado suficientemente; se producen de manera espontánea, debido a reacciones bioquímicas que ocurren en animales y en plantas. Por lo general, presentan una toxicidad mínima o nula y, en muchos casos, son productos alimenticios con alto contenido de carbohidratos y de proteínas solubles en agua (Ganjidoust, 1997). Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contienen el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial; en muchos lugares son utilizados en forma empírica por nativos para aclarar el agua turbia, con muy buenos resultados (Yin, 2010).

- o Moringa oleífera: Conocida comúnmente como (moringa, árbol de baqueta), pertenece a la familia Moringácea, es una planta tropical presente en la India, Asia, África y América Latina. Sus semillas han sido utilizadas como coagulantes naturales para el cotratamiento primario en aguas con arcilla tipo caolín, en la eliminación de turbidez, sólidos totales suspendidos, colorantes y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

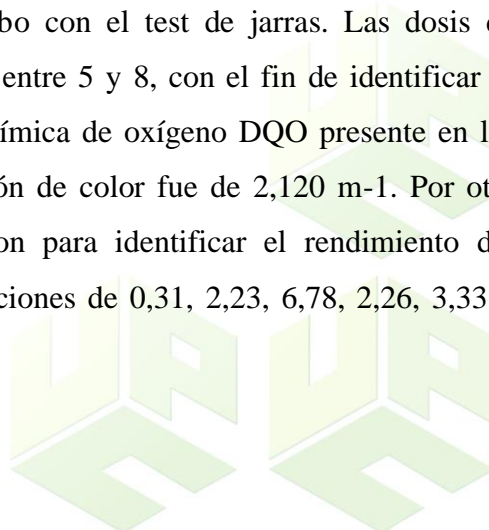
- *Cassia obtusifolia*: Pertenece a la familia Fabaceae, conocida como planta de la mala hierba, es principalmente originaria del Norte, Centro y América del Sur, pero tiene distribución mundial en Asia, África y Oceanía. Han sido estudiadas para el tratamiento de aguas residuales, altamente contaminadas por sólidos totales suspendidos (SST) y demanda química de oxígeno (DQO), obteniendo hasta un 86,9% y 36,2%, respectivamente (Subramonian et al., 2014).

4.2.3.1 Coagulantes a partir de escamas de pescado

Las escamas de pescado como residuos generados son una fuente abundante de material. Por lo cual lo convierte en un óptimo objeto de estudio. En la literatura se encuentran reportes sobre el uso de Las escamas de pescado como coagulantes para el tratamiento de aguas residuales (Rubio, D.y, Saravia, J. 2020).

Según investigaciones, los componentes activos de las escamas del pescado que intervienen en la actividad coagulante son proteínas, las cuales se han utilizado para la remoción de color de aguas residuales, como también para eliminar iones metálicos. La extracción de los agentes activos de las escamas, mediante el previo lavado con agua destilada y secado a una temperatura de 800 °C. A continuación, las escamas 54 son tratadas con 5% de HCl a 40 °C durante con el fin de producir material orgánico y para hacer frágiles las escamas de peces. Después la solución se separa por filtración y las escamas se tratan con agua destilada hasta que el pH de los lavados se convierte en neutral, para finalmente proceder a pulverizarlas (Musa, 2015).

La actividad coagulante y floculante de las proteínas en la eliminación de color y metales pesados de aguas residuales se lleva a cabo con el test de jarras. Las dosis de coagulantes utilizadas varían de 1 a 5 g con un pH entre 5 y 8, con el fin de identificar la eficacia del coagulante. Inicialmente la demanda química de oxígeno DQO presente en las aguas residuales fue de 4700 ppm y la concentración de color fue de 2,120 m⁻¹. Por otra parte, varios iones de metales pesados se midieron para identificar el rendimiento del coagulante, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg y Pb con concentraciones de 0,31, 2,23, 6,78, 2,26, 3,33 y 16,13 ppm respectivamente (Musa, 2015).



4.3 MARCO CONCEPTUAL

Agua residual: Es un tipo de agua que en momentos tuvo efectos negativos que le proporcionaron directamente su calidad y su utilidad, son tipo doméstica, industrial, urbana, de retornos, etc. Lozada C y Gutiérrez B. (2015)

Agua residual domestica: Son aguas provenientes de industrias, después de un proceso de producción, transformación y manipulación de esta; Traen efectos nocivos al aire, suelo y a cualquier cuerpo de agua que se una con esta. Usualmente este tipo de agua presentan altas cantidades de grasas, aceites, variedades de pH, solidos suspendidos y turbidez. Lizarazo B. y Orjuela G. (2013).

Coagulante: Son llamados sales metálicas que actúan directa o indirectamente con la alcalinidad del agua, que dan como frutos un floculante llamado hidróxido de metal, usualmente se utilizan para este proceso. Chacon R y Ramos Z. (2019).

Coagulante natural: Se consideran una fuente alternativa con un gran potencial, debido a que son biodegradables y no generan daños al medio ambiente en comparación con coagulantes inorgánicos y polímeros sintéticos (Fatombi, A., 2013).

Coloides: Son partículas que tienen como finalidad la suspensión, gracias a su peso específico y características físicas no se sedimentan naturalmente; llevan a cabo el color del agua, la turbidez y presentan una superficie de contacto inmensa entre la fase sólida y la fase líquida. SALCEDO, F. (2008).

Floculación y coagulación: procesos fisicoquímicos utilizados para eliminar u minimiza partículas coloidales presentes en aguas residuales industriales. Este fenómeno ocurre al adicionar un agente coagulante, el cual cancela las cargas electrostáticas de las partículas al tiempo que origina una compresión de la capa difusa que rodea los coloides, lo cual les permite la formación de flóculos a través de un mecanismo de puentes entre partículas (Shak y Wu, 2014).

Mezcla rápida: Proceso de retención y agitación al momento de ser agregada dicha dosis de coagulante, con el fin de ejecutar la coagulación. (Barajas Garzón, C. L., y León Luque, A. J. (2016).

Puente de polímero: Este mecanismo se produce generalmente con agentes coagulantes de cadena larga con alto peso molecular y baja densidad de carga. Los grupos químicos de los polímeros naturales pueden interaccionar con los sitios de la superficie de las partículas coloidales. Los polímeros se adsorben sobre las partículas de los contaminantes (Sharma, 2006).

Prueba de jarras: Test realizado en laboratorios con el fin de determinar la dosis de coagulante ideal para la remoción de parámetros fisicoquímicos a estudiar, En ella se realizan procesos de coagulación (mezcla rápida) y de floculación (mezcla lenta). (Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., Y Herrera, O. F. (2014).

Quitosano: Polímero de alto peso molecular con grupos amino e hidroxilo reactivos, que por debajo de pH 6,5 presenta una alta densidad de carga, se adhiere fácilmente a las superficies negativamente cargadas y puede formar quelatos con iones metálicos. (Lárez, 2006).

Sedimentación: Proceso de remoción gravitacional (decantación) de los sólidos suspendidos en el agua (las partículas primordialmente tienen mayor peso específico que el agua (Olortegui R. 2020).

Tratamiento de agua: se debe a una serie de procesos físicos que tienen como fin eliminar todos los contaminantes fisicoquímicos que pueda tener un cuerpo de agua, haciéndola nuevamente útil para la vida del ser humano (Rodas Hernández, J. E. 2017).

Vertimiento: Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.



4.4 MARCO CONTEXTUAL

4.4.1 LOCALIZACION

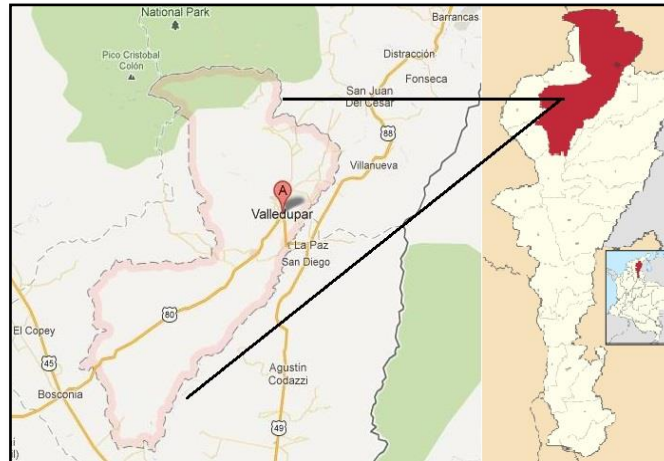
Valledupar es la capital del Departamento del Cesar, cuenta con 204 barrios, 15 asentamientos, 25 corregimientos y 102 veredas, con una extensión de 4.192KM² (el 18% de la extensión del departamento) de los cuales el 40% corresponden a área de protección forestal según la Ley 2a de 1959. El perímetro urbano abarca 50.5 KM² y está dividido en seis comunas. Además de limitar al norte con el departamento de La Guajira, Valledupar es la capital del Área Metropolitana del Valle del Cacique Upar, conocida actualmente como MetropoliUpar, que agrupa en un mismo proyecto de desarrollo a los municipios de Valledupar, La Paz (Los Robles), Manaure Balcón del Cesar, San Diego y Agustín Codazzi fundada por los conquistadores españoles el 6 de enero de 1550 y dominada por los pueblos indígenas de Aruhacos, Kogüi, Kankuamos, Wiwa y Yukpa, Valledupar cuenta con todos los pisos térmicos, desde los picos nevados de la Sierra Nevada de Santa Marta y las alturas de la Serranía del Perijá hasta el fértil Valle bañado principalmente por los ríos Guatapurí, Badillo y Cesar (Calderon C. y Mendieta M, 2018).

Su territorio es llano y basculado hacia el suroriente mediante una leve pendiente. La ciudad se encuentra a una altitud que oscila entre los 246 m al Norte (Planta de Tratamiento de Agua Potable) y 150 m al Sur (conjunto habitacional Casa de Campo), la altitud media es de 168 m (Plaza Alfonso López). Además de las enormes estructuras montañosas que la rodean (picos Bolívar y Colón) sobresalen en inmediaciones de la ciudad dos cerros, al Nororiente, el de Cicolac con 330 msnm, el de La Popa con 310 msnm al Occidente, y en especial el de Murillo que con 1430 msnm constituye el cerro tutelar de la Ciudad, los veranos son cortos, tórridos, bochornosos y secos; los inviernos son caliente, opresivos y mojados y está nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 22 °C a 37 °C y rara vez baja a menos de 20 °C o sube a más de 39 °C. Actualmente la ciudad de Valledupar empieza a diversificar su economía abriendo nuevas perspectivas distintas a la tradicional vocación agropecuaria de gran validez histórica. Desde la creación del departamento del Cesar y la designación de la ciudad como su capital, el desarrollo económico de la nueva ciudad creció hasta alcanzar niveles nunca más alcanzados, que en materia agropecuaria logró consolidarse como el primer productor nacional de

algodón y la segunda cabaña bovina más grande del país después de Córdoba; trayendo consigo nuevas inversiones y un bienestar realmente palpable. (Alcaldía de Valledupar 2020)

Imagen 1.

Referencia geográfica de Valledupar

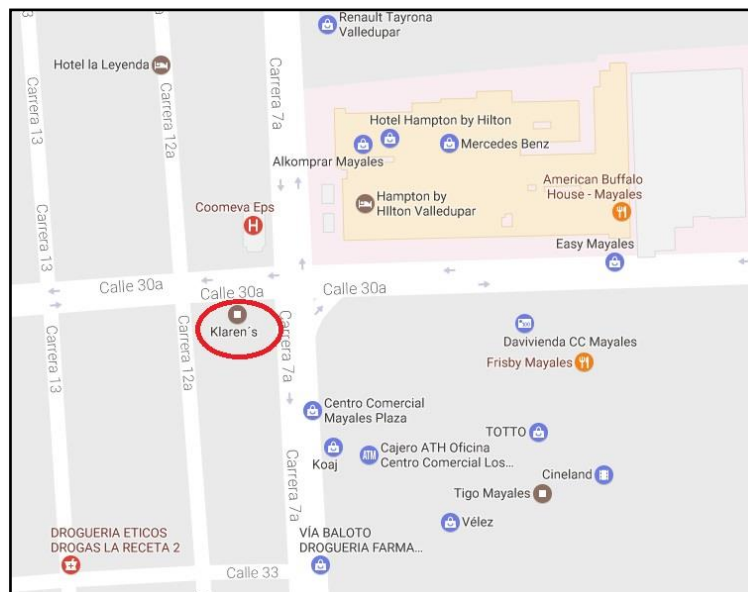


Nota: Tomado de Google Maps (2021).

El proyecto se realizará en la industria Klaren's, dentro del municipio de Valledupar. El domicilio de esta empresa es la carrera 7ª número 30ª-04.

Imagen 2.

Ubicación de la empresa Klaren's



Nota: Tomado de Google Maps (2020)

4.5 MARCO LEGAL

El carácter de recurso esencial del agua determina la progresiva aparición de normas, que, desde diversos aspectos, abordan la protección de las aguas y la lucha contra la contaminación. En este contexto, el acceso al saneamiento y tratamiento de aguas residuales es un derecho básico ya que está íntimamente relacionado con aspectos de tipo sanitario. Que se encuentra regida por diversas leyes, decretos, resoluciones y principalmente por la Constitución.

Tabla 1.

Normativa colombiana relacionada con el recurso agua.

TEMÁTICA	LEYES-, DECRETOS	CONTENIDO
Constitución política de Colombia	Constitución política colombiana de 1991	<p>Art 79: Establece el derecho el cual tienen todas las personas a gozar de un ambiente sano.</p> <p>Art 80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible.</p> <p>Art 317: Contribución de valorizados para conservación del ambiente y recursos naturales.</p> <p>Art 331: Corporación del Río Grande de la Magdalena y preservación del ambiente.</p> <p>Art 334: Intervención estatal para la preservación de los recursos naturales y de un ambiente sano.</p> <p>Art 366: Solución de necesidades del saneamiento ambiental y de agua potable como finalidad del Estado.</p>
AGUA	Ley 373 de 1997	Se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua

	Decreto 1594 de 1984	Usos del agua y residuos líquidos, reglamentó la prevención y control de la contaminación al recurso.
	Decreto 475 de 1998	Se regulan las actividades relacionadas con la calidad del agua potable para consumo humano.
	Decreto 1575 de 2007	Se establece el sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
	Decreto 1076 de 2015	Se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Explica la Protección y aprovechamiento de las aguas.
	Resolución 1096 de 2000	Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico, RAS
	Resolución 2115 de 2007	Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
	Resolución 0330 de 2017	Se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico

Nota: Tomado de Min Ambiente y Decreto Único 1076, Adaptada por autor, 2020

Tabla 2.

Normativa colombiana dirigida a los vertimientos

VERTIMIENTOS	Decreto 3930 de 2010	Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico,
--------------	----------------------	---

		al suelo y a los alcantarillados.
	Decreto 4728 de 2010	El cual modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010.
	Resolución 631 de 2015	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.
	Resolución 2659 de 2015	Modifica el artículo 21 de la resolución 631 de 2015, donde amplía la vigencia a partir del 1 de enero de 2016 sobre los permisos de vertimientos no domésticos al alcantarillado público.
	Resolución 0883 de 2018	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones”

Nota: tomado de Min Ambiente y Decreto Único 1076, Adaptada por autor, 2020



4.6 MARCO INSTITUCIONAL

Klaren's es una compañía reconocida en la costa atlántica y mercados nacionales con proyección a nivel internacional, líder en la producción y comercialización de alimentos con énfasis en leche, cuidadosos del mejoramiento de calidad, utilizando la mejor tecnología disponible y limpia, satisfaciendo los gustos y necesidades de los consumidores, generadora de progreso y desarrollo regional.

RESEÑA HISTORICA

La historia de Klaren's nace en 1984 por iniciativa del Manizaleño Manuel Gutiérrez Murillo, piloto de aviación, quien apasionado por los productos lácteos deja a un lado su profesión para hacer realidad el sueño de tener su propia fábrica procesadora de leche, sin imaginarse que era una necesidad latente en el mercado de Valledupar.

Con una producción de tan solo 500 Litros diarios de LECHE PASTEURIZADA HOMOGENIZADA, Klaren's comienza a abastecer el mercado urbano, el cual aceptó masivamente su producto y estimuló así el crecimiento y desarrollo de otros derivados lácteos. Poco a poco fue ganando un merecido espacio hasta lograr la reputación de la que goza hoy en día, y que le ha permitido incursionar en los más exigentes mercados nacionales. (Calderon C. y Mendieta M, 2018).

Klaren's presentaba opciones variables de consumo con Yogurt en diferentes sabores, Quesos frescos, Quesos semimadurados, Gelatinas y Suero (SOUR CREAM), este último elaborado técnicamente y pasteurizado, que la llevó al calificativo de embajadora Vallenato en el interior del país.

En el año 1990 ingresamos al mercado Bogotano con nuestro producto el suero, y a la fecha ya estamos con todo nuestro catálogo de productos satisfaciendo a nuestros clientes.

En 1992 Klaren's inaugura su sede propia en Barranquilla, en nueva bodega equipada con cuarto frío, oficinas y red de sistemas, e inicia la remodelación y mejoramiento como primera etapa de la ampliación del área de producción, recepción de leche, áreas y equipos de servicios (energía, vapor, agua helada, aire comprimido), cuartos fríos y área de despachos. (Calderon C. y Mendieta M, 2018).

En el año 2007, Klaren's pasa de ser Compañía Limitada a Sociedad Anónima, facilitando la entrada de inversionistas nacionales y extranjeros para posteriormente lanzar al mercado la LECHE ENTERA ULTRAPASTEURIZADA LARGA VIDA marca KLAREN'S y estar a la vanguardia de lo último en tecnología lanzando al mercado LECHE SEMIDESCREMADA DESLACTOSADA.

En el año 2011 seguimos con el plan de expansión de nuestra empresa abriendo otro distrito de ventas en AGUACHICA en el sur del cesar.

Para el año 2012, pensando en el bienestar de nuestra sociedad más necesitada pone a disposición la nueva BEBIDA ALIMENTICIA UHT LARGA VIDA A BASE DE LECHE ENTERA MARCA CAMPOADELA desarrollada con los últimos avances en tecnología, y muy nutritiva

En el año actual 2013 lanza al mercado el refresco de agua marca CITRUS, sabor naranja y la proyección para ofrecer al mercado LECHE ENTERA SABORIZADA UHT EN SABORES AREQUIPE, CHOCOLATE, FRESA, VAINILLA Y AVENA para satisfacción de los niños. (Calderon C. y Mendieta M, 2018).

MISIÓN

Tiene como misión ser una compañía líder de producción y comercialización de alimentos procesados, con énfasis en la leche, satisfaciendo los gustos y necesidades de los consumidores; cuidadosos del mejoramiento de la calidad, utilizando la mejor tecnología disponible y limpia; proporcionando el desarrollo y bienestar de los colaboradores, debido a la responsabilidad de los accionistas, la sociedad y el estado.

VISIÓN

La empresa tiene como visión ser una sólida compañía reconocida en la costa atlántica por mantener estándares de calidad en todos sus productos, que cuenta con un equipo de trabajo motivado que le permite tener competitividad y liderazgo en la región, con presencia en los mercados nacionales e internacionales y generadora de progreso y desarrollo regional, creando valor a sus asociados y bienestar a la comunidad.

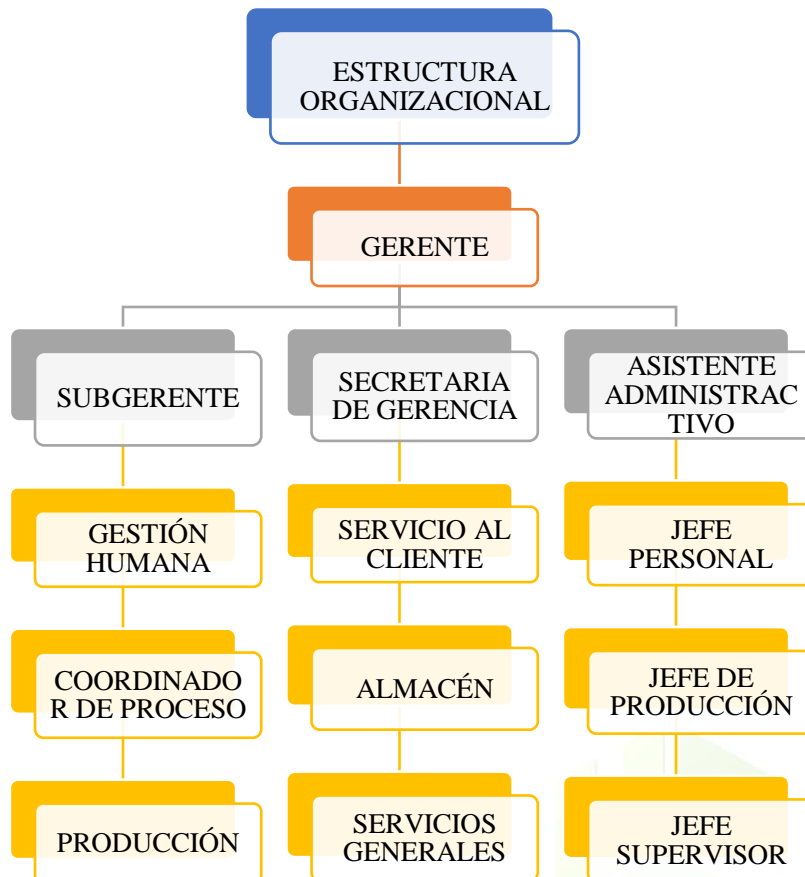
OBJETIVOS Y PRINCIPIOS

Satisfacer oportunamente a los consumidores, ofreciendo productos de alta calidad a un precio justo. Para lograrlo se comprometen a:

- ❖ Mantener unos altos estándares de calidad de acuerdo con las exigencias del mercado.
- ❖ Conocer continuamente el grado de satisfacción de nuestros clientes con nuestro servicio, para esforzarnos a mejorar cada día más.
- ❖ Evaluar continuamente el gusto del consumidor, adaptándonos a sus variaciones e investigar sobre nuevas tendencias y necesidades para orientar nuestra empresa a la satisfacción.
- ❖ Evaluar constantemente el costo de nuestros productos, para establecer siempre un precio justo, sin detrimento de la calidad.

Figura 1.

Organigrama de la empresa Klaren's



Nota: Tomada de Empresa Klaren's, Adaptada por autores, (2021)

5. MARCO METODOLOGICO

5.1 LINEA Y SUBLINEA DE LA INVESTIGACION

Este proyecto se traza en la línea de investigación Sostenibilidad y Gestión Ambiental inscrita al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la facultad de Ingenierías y tecnologías, así mismo situado en la sub-línea de investigación Gestión del Recurso Hídrico, debido que en este proyecto se trabajó en la determinación de la eficiencia de remociones de parámetros fisicoquímicos presentes en aguas residuales aplicando un coagulante natural extraído de las escamas de pescado tilapia roja (*OREOCHROMIS SP*); con el fin de mejorar la calidad y condiciones de estas aguas.

5.2. TIPO DE INVESTIGACION

Para el desarrollo de este proyecto, se implementó el tipo de investigación explicativa con nivel experimental, dado a que se tuvo como finalidad evaluar la eficiencia del coagulante natural a base de escama de pescado tilapia roja (*OREOCHROMIS SP*), para la remoción de una serie de parámetros fisicoquímicos, ya mencionados anteriormente.

5.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo explicativa con un nivel de investigación experimental, cuyo propósito es evaluar la eficiencia del coagulante natural extraído de las escamas de pescado en el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

5.4. POBLACION DE ESTUDIO

Nuestro proyecto se realizado en base a las aguas residuales relacionadas a la elaboración de productos lácteos, generadas en la empresa Lácteos del Cesar S.A. Klaren's, ubicada en la carrera 12^a, entre la calle 30^a y la calle 33 en Valledupar/Cesar.

5.5. MUESTRA POBLACIONAL

Las muestras estudiadas y analizadas son las aguas residuales asociadas a la elaboración de productos lácteos, con una muestra específica de 40 litros extraídos exactamente en el punto de descarga o efluente; que se recolectaron en dos recipientes herméticos cada uno de 20 litro. Esto se realizó para determinar los siguientes parámetros fisicoquímicos (pH, Turbidez, SST, SSV, ACEITES Y GRASAS, DQO, DBO).

5.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

Esta investigación se realizó utilizando un diseño experimental de un solo factor de unidades experimentales con dos repeticiones.

5.7 DESARROLLO METODOLÓGICO

La metodología para el desarrollo y cumplimiento del proyecto de investigación se ejecutó de forma sucesiva acorde a la manera en que se encuentran establecidos los objetivos planteados. A continuación, se manifiestan las etapas o fases a realizar.

5.7.1 ETAPA 1:

Caracterizar fisicoquímicamente (pH, Turbidez, SSV, SST, aceites y grasas, DQO, DBO) las aguas de producción de la industria láctea klaren's.

- **Actividad 1.1: Muestreo del agua**

Descripción: De acuerdo a la guía de recolección del laboratorio propuesta por el IDEAM, se implementó un muestreo por el método simple donde se tomó la cantidad de agua requerida para realizar los análisis correspondientes a cada parámetro.

- **Actividad 1.2: Técnicas a utilizar en el laboratorio**

Descripción: Implementar las técnicas elegidas, para realizar las caracterizaciones fisicoquímicas de la muestra de agua residual tipo láctica.

- **Actividad 1.3: Caracterización fisicoquímica de la muestra de agua residual tipo láctica.**

Descripción:

- ✓ El pH se determinó a través del método potenciométrico, usando un pH-metro (Orión Research 611), con electrodo de vidrio, calibrado con soluciones buffers de pH, se midieron 50 ml de muestra en un matraz de 250 ml, se introdujo el electrodo del pH-metro hasta obtener la lectura constante.
- ✓ En la determinación de la turbidez, se tomó 25 ml de la muestra previa agitada y se llevaron al turbidímetro (Hatch 2100AN), se seleccionó el método 750, a una longitud de onda de 450 nm, calibrado con el blanco (agua destilada), el cual arrojó la medida de turbidez.
- ✓ Para la determinación de los SST y SSV se empleó el método gravimétrico, usando una balanza analítica Mettler (Toledo Al2O4), papel de filtro con fibra de vidrio y cápsulas de aluminio. Se filtraron por succión 50 ml de muestra a

través papel de filtro previamente pesado en una cápsula de aluminio hasta peso constante (P1), las cápsulas se introdujeron en un horno (Mettler) con un rango de temperatura de 103 - 105°C durante una hora. Luego se dejaron enfriar en un desecador hasta peso constante (P2). Seguidamente las cápsulas se introdujeron en una mufla (Thermolyne SYBRON 47900 Furnace) a 550°C durante 15 minutos y luego se dejaron enfriar en un desecador hasta peso constante (P3). Las ecuaciones 1 y 2 permiten determinar las concentraciones de SST y SSV respectivamente, en las muestras de agua residual.

$$\text{SST (mg/L)} = \frac{(P2 - P1) \times 10^6}{VM} \quad (1)$$

$$\text{SSV (mg/L)} = \frac{(P2 - P3) \times 10^6}{VM} \quad (2)$$

Dónde:

P1: Peso de la cápsula, a temperatura ambiente, (g).

P2: Peso del residuo + cápsula, a 103-105°C, (g).

P3: Peso del residuo + cápsula, a 500°C, (g).

VM: Volumen de Muestra (mL).

- ✓ Para la determinación de los A y G se utilizó el método gravimétrico. Se agregaron 100 ml de muestra en un balón de separación, luego se adicionó 1 ml de ácido clorhídrico y 15 ml de hexano como solvente. Posteriormente se realizó el proceso de extracción, se repitió la extracción dos veces más, con 10 ml del solvente, recolectando en un vaso de precipitado previamente secado y pesado (P4), previa filtración en papel de filtro conteniendo Na₂SO₄, la fase orgánica. Se dejó evaporar hasta alcanzar peso constante (P5). La Ecuación 3 permitió determinar la concentración de A y G.

$$\text{A y G (mg/L)} = \frac{(P5 - P4) \times 10^6}{VM} \quad (3)$$

Dónde:

P4: Peso del vaso de precipitado (g).

P5: Peso del vaso de precipitado + muestra (g).

VM: Volumen de Muestra, (mL).

- ✓ Para la determinación de la DQO se empleó el método titulométrico. Se prepararon tubos de digestión agregando 1 ml de solución de Dicromato de Potasio 0,0167 M, 3 ml de ácido Sulfúrico (H₂SO₄) más de Sulfato de Plata

(Ag₂SO₄). Luego se adicionaron en cada tubo 2 ml de la muestra, para el control y la muestra de las aguas residuales de la planta de lácteos antes y después del tratamiento, también se preparó un blanco agregando 2 ml de agua destilada. Los tubos fueron colocados en un equipo para digestión (HACH) por reflujo a 150°C durante 2 h. luego se dejaron enfriar y se titularon con FAS 0,10 M adicionando 2 o 3 gotas de Ferroina 0,025 M. El punto final de la titulación fue el cambio de color de azul verdoso a café rojizo. Se registró el volumen gastado en el blanco como VB y el volumen gastado por la muestra como Vm. El valor de Vm fue menor que el de VB.

$$DQO \text{ ppm} = (VB - VM) * M * 8000 \text{ ml muestra} \quad (4).$$

Dónde:

M: Molaridad exacta del FAS

F: Factor de dilución > 1 si se hizo

- ✓ Para la determinación de la DBO₅ se empleó el método Winkler o una modificación del mismo (Método Respirométrico), que durante el periodo de incubación produce la medida de la DBO. Se enciende el equipo Oxitop y se ajustó la temperatura a 20 °C. Se removieron las cabezas amarillas y el tapón de hule color negro del cuello de las botellas oscuras para DBO₅. Se agrego el volumen de muestra de agua residual, teniendo en cuenta el valor obtenido de DQO, así asumiendo a la relación de DBO₅ = 0.5 DQO, estableciendo el rango de DBO₅ (mg/L), introduciendo el agitador magnético en la botella. En el tapón de hule color negro se colocaron 3 pastillas de NaOH con una pinza con el cuidado de no tocarlas directamente con las manos, ni permitir que entren en contacto con la muestra. El NaOH reaccionara con el CO₂ formado y evitara un incremento en la presión de la botella.

Al transcurrir cinco días, se leyó la lectura final (DBO Experimental) y multiplique ese valor por el factor de dilución que aparece en la Tabla 3, expresándola como mg/L de DBO₅

$$\text{mg/L DBO}_5 = (\text{DBO Experimental} * \text{Factor}) \quad (5)$$

Tabla 3.

Volúmenes de muestra y factor de corrección.

Volumen de Muestra (mL)	Rango de DBO5 (mg/L)	Factor
432	0 - 40	1
365	0 - 80	2
250	0 - 200	5
164	0 - 400	10
97	0 - 800	20
43.5	0 - 2000	50
22.7	0 - 4000	100

Nota: tomado de Guía de laboratorio del programa IAS

Tabla 4.

Parámetros y métodos analíticos a identificar

Parámetros analíticos	Unidad de medida	Método analítico
Temperatura	°C	Termometría In Situ SM 2550, Electrométrico
pH		PHCHIMETRO
Turbidez	NTU	TURBIDIMETRO
SST	mg/L	Gravimétrico
SSV	mg/L	Gravimétrico
A y G	mg/L	Gravimétrico
DQO	mgO ₂ /L	Reflujo cerrado (método titulométrico)
DBO5	mgO ₂ /L	Método Respirométrico "OXITOP". Incubación 5 días

Nota: Elaborado por autores, (2023)

5.7.2 ETAPA 2:

Obtener la solución coagulante a partir de escamas de pescado para la determinación de la eficacia de remoción de los parámetros de estudio.

- **Actividad 2.1 Recolección de la escama de pescado**

Descripción: Se obtuvo la cantidad necesaria de escamas de pescado (se fue al mercado público de la ciudad de Valledupar, donde este tipo de pescado es muy demandado debido a su bajo costo y altos nutrientes presentes en ella), en este caso de la especie escogida es la Tilapia o también llamada Mojara Roja (será utilizada este tipo

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

de especie para obtención de las escamas por las propiedades que esta posee, también es de fácil acceso a ellas, ya que es una especie muy consumida diariamente en los hogares, además de un costo muy económico al momento de querer comerla; para posteriormente realizar la caracterización de las mismas.

- **Actividad 2.2 Extracción del quitosano las escamas de pescado**

Descripción: Las escamas de pescado se lavaron con agua corriente y se secaron al sol. Las escamas secas se desmineralizaron con HCl 1 M (1:5 p/v) durante 24 horas (hrs) a 30 °C. A continuación, las escamas desmineralizadas se enjuagaron varias veces con agua desionizada y se desproteinizaron con NaOH al 0,5 % (1:1 m/ v) durante la noche a temperatura ambiente. Después de la desproteización, la quitina se enjuagó varias veces con agua desionizada y luego se secó durante 4 horas a una temperatura de 80°C. El proceso de desacetilación se llevó a cabo agregando 100 ml de NaOH al 50 % a cada muestra y luego se hirvió a 120°C durante 120 minutos (mins) en un plato caliente. Luego, las muestras se lavaron continuamente con agua desionizada hasta obtener una solución clara y se filtró para retener la materia sólida, que es el quitosano. Las muestras se dejaron descubiertas y se secaron en horno a 120°C durante 24 horas (Dr. Madhusudhanan Jeyaraman, 2017).

- **Actividad 2.3 Proceso de obtención de la solución del coagulante natural de escamas de pescado.**

Descripción: Después de haber obtenido los agentes activos de las escamas (quitosano) se realizó la solución coagulante:

Se pesó con precisión 250 mg de Quitosano ya obtenido en un vaso de precipitado y se mezcló con 10 ml de solución de HCl 0,1 M y se dejó a un lado durante aproximadamente una hora para que se disolviera, el proceso de disolución fue lento, y una cierta cantidad del Quitosano permaneció en forma de un gel fino, luego se diluyó a 100 ml con agua del grifo. De esta forma se obtuvo una solución de Quitosano al 1%. Como se observó que las soluciones de Quitosano en medio ácido sufren algún cambio en las propiedades durante un período de tiempo, las soluciones se prepararon frescas antes de cada conjunto de experimentos (Divakaran y Pillai, 2002).

5.7.3 ETAPA 3:

Evaluar la eficiencia del coagulante natural, en la remoción de los parámetros fisicoquímicos después de la aplicación y comparar el porcentaje de remoción de turbiedad con un coagulante comercial (Policloruro de Aluminio).

- **Actividad 3.1 Preparación de la solución de Ácido Clorhídrico 0,1 M (HCl).**

Descripción: Se necesitó preparar una solución de ácido clorhídrico con el fin de disminuir el pH de la muestra (pH 11) para realizar la investigación y garantizar la efectividad del coagulante Quitosano en cuanto a remoción de los parámetros en estudio. Se debió determinar la cantidad de ácido clorhídrico (HCl) 0,1 M para bajar el pH de tal forma que este vire en cada una de las jarras en valores entre 4 y 6 unidades

Para la determinación de dichas cantidades se tituló el agua con (HCl) 0,1 M para encontrar el número de ml requeridos para hacer descender de 1 en 1 unidades el pH del agua residual de la planta de lácteos.

- **Actividad 3.2 Determinar la dosis óptima del coagulante en una muestra de agua residual tipo láctica.**

Descripción: Para la determinación de la dosis óptimas de la solución de coagulante de escama de pescado se llevó a cabo el test de jarra. se agregó 1 L agua residual, a cada uno de los seis vasos de precipitado de 1.000 ml, luego tomamos uno de estos como control. Posteriormente, se procedió a agregar la solución coagulante, al iniciar el mezclado rápido (100 rpm, alrededor de 1 min); se agregó en cinco de los vasos de precipitado las diferentes dosis de coagulante usando jeringas de diferentes volúmenes, se procedió luego al mezclado lento (30 rpm, durante 20 min), para finalizar con la fase de sedimentación (30 min). Se determinó la dosis óptima usando volúmenes de 5ppm, 10ppm, 20ppm, 50ppm y 100ppm.

- **Actividad 3.3 Medición de la eficiencia de la dosis de coagulante aplicada**

Descripción: La eficiencia del proceso se determinó mediante el porcentaje de remoción de turbidez de acuerdo con la ecuación 6:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{t_0 - t_f}{t_0} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

t_0 = turbidez inicial

t_f = turbidez final

- **Actividad 3.4** Comparación de los resultados obtenidos de remoción de acuerdo con la normatividad ambiental vigente.

Descripción: Estas actividades se realizaron en base al protocolo de monitoreo de agua y guías del IDEAM sobre los parámetros fisicoquímicos estudiados.

De acuerdo a los resultados y análisis que se realizaron en el laboratorio; se comparó la información con la normatividad que establece los valores máximos permitidos respecto a los vertimientos permisibles al recurso hídrico, de acuerdo a la normatividad vigente como lo es la Resolución 0631 del 2015.

Tabla 5.

Niveles permisibles y valores a monitoreados en los vertimientos de aguas de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de las actividades de elaboración de productos lácteos.

PARÁMETROS	UNIDADES	VALORES PERMISIBLES
Temperatura	°C	NR
pH		6 a 9
Turbidez	NTU	NR
SST	mg/L	150
SSV	mg/L	NR
Aceites y Grasas	mg/L	20
DQO	mgO ₂ /L	425
DBO	mgO ₂ /L	250

Nota: Tomada de la Resolución 0631 de 2015, Artículo 12, Adaptada por autores, 2020

- **Actividad 3.5** Comparación del coagulante natural (escama de pescado) y coagulante comercial (policloruro de aluminio) en relación al porcentaje de remoción de turbiedad.

Descripción: Para la comparación se aplicó el coagulante comercial (PAC) con las mismas dosis de concentración ppm trabajadas en el coagulante natural, se llevó a cabo el test de jarra para la determinación de la de la dosis óptima del coagulante comercial. se agregó 1 L agua residual, a cada uno de los seis vasos de precipitado de 1.000 ml, luego tomamos uno de estos como control. Posteriormente, se procedió a agregar la solución coagulante, al iniciar el mezclado rápido (100 rpm, alrededor de 1 min); se agregó en cinco de los vasos de precipitado las diferentes dosis de coagulante usando una pipeta, se procedió luego al mezclado lento (30 rpm, durante 20 min),

para finalizar con la fase de sedimentación (30 min). El parámetro fisicoquímico (turbiedad) de cada una de las muestras, se midió antes y después del tratamiento.

- **Actividad 3.6** Medición de la eficiencia de la dosis de coagulante comercial (PAC) aplicada para comparar el % de remoción de turbiedad

Descripción: La eficiencia del proceso se determinó mediante el porcentaje de remoción de turbidez de acuerdo con la ecuación 6:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{t_0 - t_f}{t_0} \times 100 \quad (6)$$



6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas fisicoquímicas realizadas de cada uno de los parámetros en estudio y los rangos óptimos utilizados con el coagulante de Escamas de pescado tilapia roja (OREOCHROMIS SP). Además, la remoción de los parámetros y se presentan las características de las APAP en función de los parámetros fisicoquímicos evaluados.

6.1 ETAPA 1: CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA (DBO, DQO, SST, TURBIEDAD, ACEITES Y GRASAS) DE LAS AGUAS DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA LÁCTEA KLAREN'S.

Las características fisicoquímicas de las aguas residuales asociadas de la Empresa Lácteos del Cesar S.A (klaren's) se presentan en la Tabla 6, donde se observa una diferencia en los parámetros estudiados, comparando estos resultados con la normativa ambiental vigente para descargas a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillados públicos (Resolución 0631 del 2015).

Tabla 6.

Resultados caracterización de aguas residuales de la planta de Klaren's

Parámetros	Valores Obtenidos	Valores Límite – Res. 0631 de 2015
pH	11,5	6-9
Turbidez (NTU)	2908	NR
DQO (mg/L)	533,12	450mgO ₂ /L
DBO ₅ (mg/L)	275	250mg/L
Aceites y Grasas (mg/L)	5910	20mg/L
SST (mg/L)	2240	150mg/L
SSV (mg/L)	1860	NR

Nota: Elaborado por autores, (2023)

En términos generales los parámetros DQO, DBO₅, A y G, SST Y SSV, en comparación con la legislación actual para el agua analizada no cumplen con los límites máximos de descarga, esto demuestra que las aguas provenientes de la empresa Lácteos Del Cesar SA (Klaren's) presentan una gran concentración de contaminantes, como de denoto en

la tabla anterior. Estos resultados sustentan la necesidad de evaluar tecnologías destinadas a mejorar la calidad de los efluentes aceiteros para su disposición final.

6.2 ETAPA 2: OBTENCIÓN DE LA SOLUCIÓN COAGULANTE A PARTIR DE ESCAMAS DE PESCADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICACIA DE REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ESTUDIO.

Para obtener la solución coagulante primero se realizó la extracción del material de la escama de pescado, lo cual se obtuvo el coagulante de manera que se especificara a continuación:

- Las escamas de pescado se lavaron con agua corriente y se secaron al sol.
- Se desmineralizaron con HCl 1 M (1:5 p/v) durante 24 horas (hrs) a 30 °C.
- Se enjuagaron varias veces con agua desionizada y se desproteinizaron con NaOH al 0,5 % (1:1 m/ v) durante la noche a temperatura ambiente.
- La quitina como producto se enjuagó varias veces con agua desionizada y luego se secó durante 4 horas a una temperatura de 80°C.
- El proceso de desacetilación se llevó a cabo agregando 100 ml de NaOH al 50 % a cada muestra y luego se hirvió a 120°C durante 120 minutos (mins) en un plato caliente.
- Las muestras se lavaron continuamente con agua desionizada hasta obtener una solución clara y se filtró para retener la materia sólida, que es el quitosano. Las muestras se dejaron descubiertas y se secaron en horno a 120°C durante 24 horas

Imagen 3.

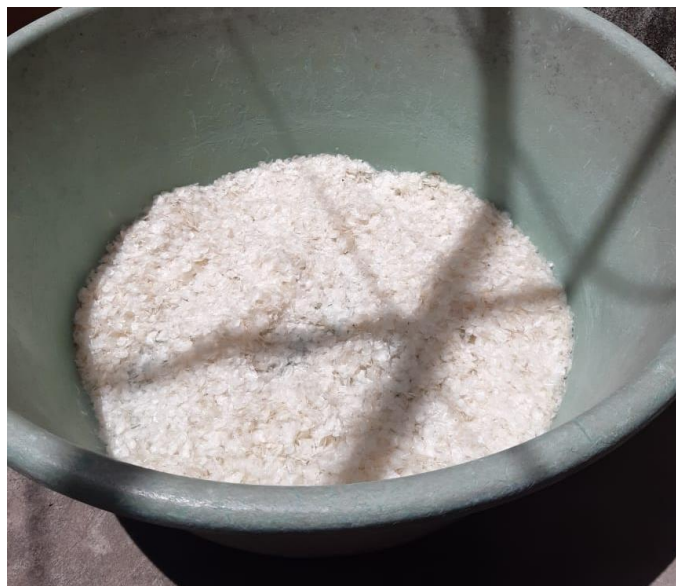
Escamas lavadas con agua corriente.



Nota: Fotos tomadas por autores, (2023)

Imagen 4.

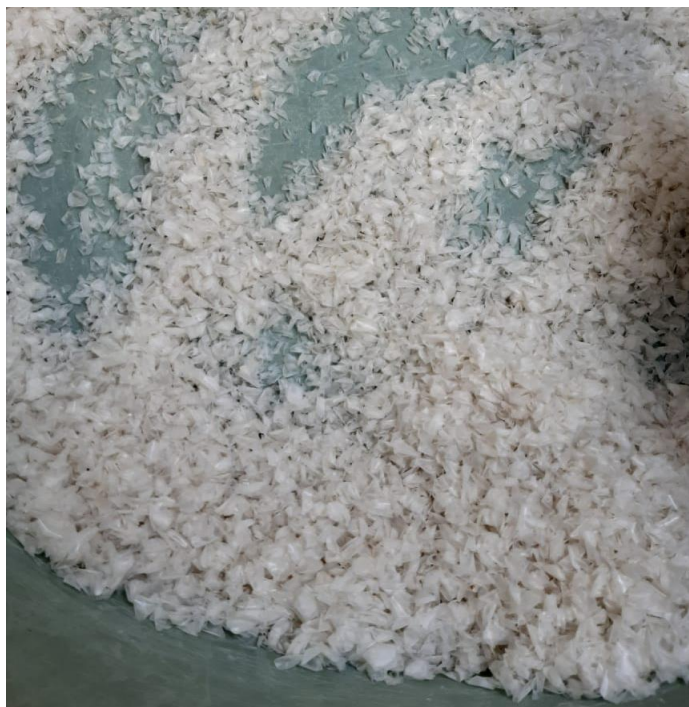
Escamas colocadas a la luz solar para su secado.



Nota: Fotos tomadas por autores, (2023)

Imagen 5.

Escamas secadas a la luz solar



Nota: Fotos tomadas por autores, (2023)



Imagen 6.

Escamas montadas a una temperatura de 120 grados por 2 horas en solución de NaOH.



Nota: Fotos tomadas por autores, (2023)

Imagen 7.

Proceso de desacetilación de las escamas terminado después de 2 horas a 120 grados.

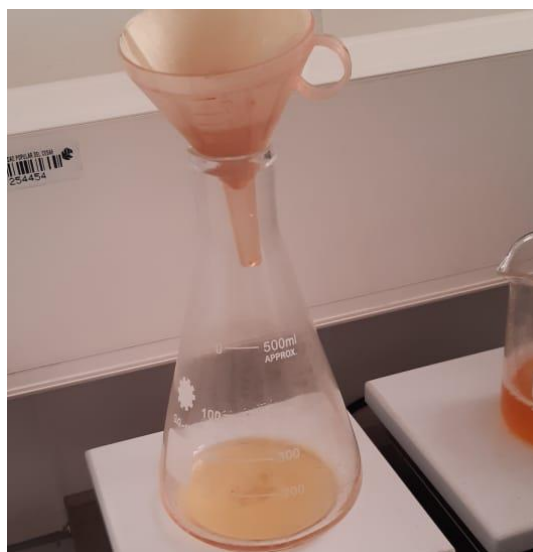


Nota: Fotos tomadas por autores, (2023)



Imagen 8.

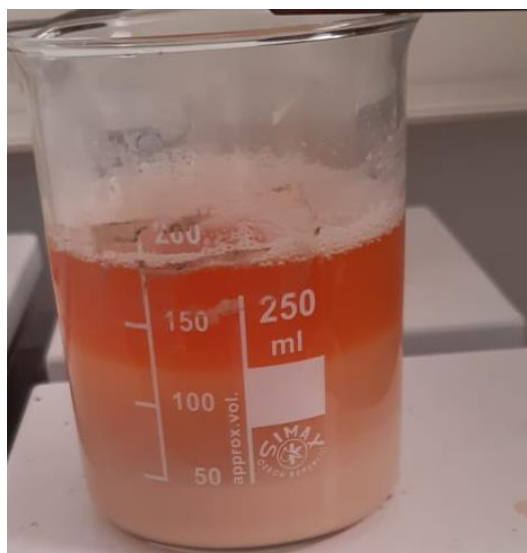
Filtrado de la muestra para obtener una solución casi homogénea.



Nota: Fotos tomadas por autores, (2023)

Imagen 9.

Muestra resultante después del filtrado.



Nota: Fotos tomadas por autores, (2023)



Imagen 10.

Material solido obtenido a partir de las escamas de pescado.



Nota: Fotos tomadas por autores, (2023)

Imagen 11.

Agentes activos (Quitosano) de las escamas de pescado obtenido finalmente.



Nota: Fotos tomadas por autores, (2023)

Después de haber obtenido los agentes activos de las escamas (quitosano) se realizó la solución coagulante:

Se pesó con precisión 250 mg de Quitosano ya obtenido en un vaso de precipitado y se mezcló con 10 ml de solución de HCl 0,1 M y se dejó a un lado durante aproximadamente una hora para que se disolviera, el proceso de disolución fue lento, y una cierta cantidad del

Quitosano permaneció en forma de un gel fino, luego se diluyó a 100 ml con agua del grifo. De esta forma se obtuvo una solución de Quitosano al 1%. Como se observó que las soluciones de Quitosano en medio ácido sufren algún cambio en las propiedades durante un período de tiempo, las soluciones se prepararon frescas antes de cada conjunto de experimentos (Divakaran y Pillai, 2002).

6.3 ETAPA 3: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL COAGULANTE NATURAL, EN LA REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DESPUÉS DE LA APLICACIÓN Y COMPARAR EL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD CON UN COAGULANTE COMERCIAL (POLICLORURO DE ALUMINIO).

Se evaluó la eficiencia del coagulante usando el test jarra, donde se obtuvieron los siguientes resultados para cada dosis:

Tabla 7.

Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 11.50.

DOSIS (mg/L)	J1(NTU)	J2(NTU)	TURBIDZ FINAL (NTU)
5	866	866	866
10	859	854	856,5
20	850	840	845
50	833	825	829
100	762	759	760,5
CONTROL	2488	2650	2569
MUESTRA			2908

Nota: Elaborado por autores, (2023)

Después de una prueba de ensayo-error que se obtuvo en el test de jarra se procedió a bajar el pH a la muestra de agua, debido a que el quitosano extraído de las escamas de pescado de la tilapia roja (*OREOCHROMIS SP*) actúa eficientemente en medios ácidos, la cual se trabajó con un pH 5, para así darle afinidad al proceso.

Tabla 8.

Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Quitosano a pH 5.

DOSIS (mg/L)	J1(NTU)	J2(NTU)	TURBIDZ FINAL (NTU)
5	733	701	717
10	315	288	301,5
20	300	265	282,5
50	165	99,9	132,45
100	85,8	69,5	77,65
CONTROL	1990	2461	2225,5
MUESTRA			2908

Nota: Elaborado por autores, (2023)

Para la medición de la eficiencia de las dosis aplicadas de coagulante se determinó con el porcentaje de remoción de turbidez:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{t_o - t_f}{t_o} \times 100 \quad (6)$$

t_o = turbidez inicial

t_f = turbidez final

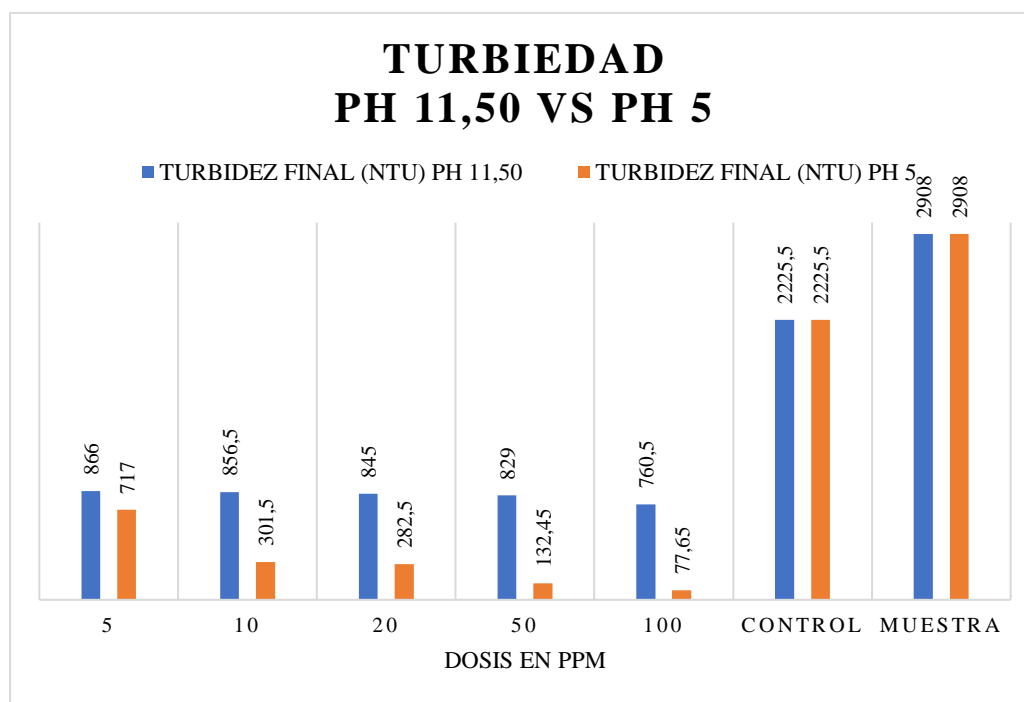
$$\% \text{ Remoción} = \frac{2908 - 77.66}{2908} \times 100 = 97,33\%$$

Se toma la dosis de **100 ppm** como dosis optima teniendo en cuenta que los costos del coagulante y del proyecto en general se incrementarían si se añade una mayor dosis, donde ya hubo un porcentaje de remoción muy favorable que fue de 97%, lo cual indica que se puede trabajar sin ningún problema con esta dosis.

En comparación a lo dicho anteriormente, se evidencia en la gráfica 1 que el quitosano extraído de escamas de pescado se comporta de mejor manera en un medio ácido, sabiendo que el quitosano a un pH ligeramente ácido obtiene su rendimiento óptimo; como se notó en la remoción de la turbiedad en el test de jarra.

Gráfica 1.

Comportamiento de remoción de turbiedad durante la aplicación del coagulante natural de escamas de pescado a pH 11,50 y 5



Nota: Elaborado por autores, (2023)

6.3.1 Remoción de solidos suspendidos totales (SST)

Después de la aplicación del coagulante, tomando como partida como dosis optima 100ppm, se obtuvo un valor de 57,5 mg/L, lo cual tuvo un excelente comportamiento, esto se puede denotar en la tabla 9:

Tabla 9.

Comportamiento de la remoción de SST durante la aplicación de la dosis optima del coagulante de escama de pescado

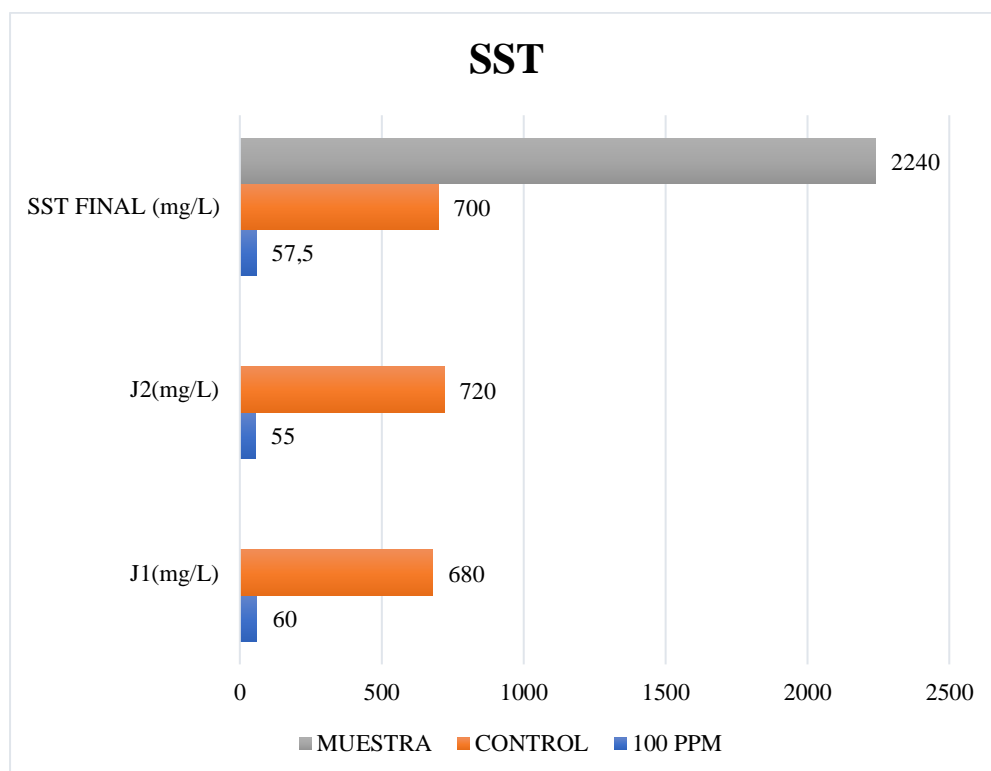
DOSIS (mg/L)	J1(mg/L)	J2(mg/L)	SST FINAL (mg/L)
100	60	55	57,5
CONTROL	680	720	700
MUESTRA			2240

Nota: Elaborado por autores, (2023)

Para los SST se obtuvo un porcentaje de remoción del 97%, este cumpliendo con lo exigido por la legislación colombiana (resolución 0631 del 2015).

Gráfica 2.

Comportamiento de remoción de los SST durante la aplicación del coagulante natural de escamas de pescado a pH 5.



Nota: Elaborado por autores, (2023)

6.3.2 Remoción de solidos suspendidos volátiles (SSV)

Después de la aplicación del coagulante, tomando como partida dosis optima 100 ppm, se obtuvo un valor de SSV 42,5 mg/L, lo cual tuvo un excelente comportamiento, esto se puede denotar en la tabla 10:

Tabla 10.

Comportamiento de la remoción de SSV durante la aplicación de la dosis optima del coagulante de escama de pescado.

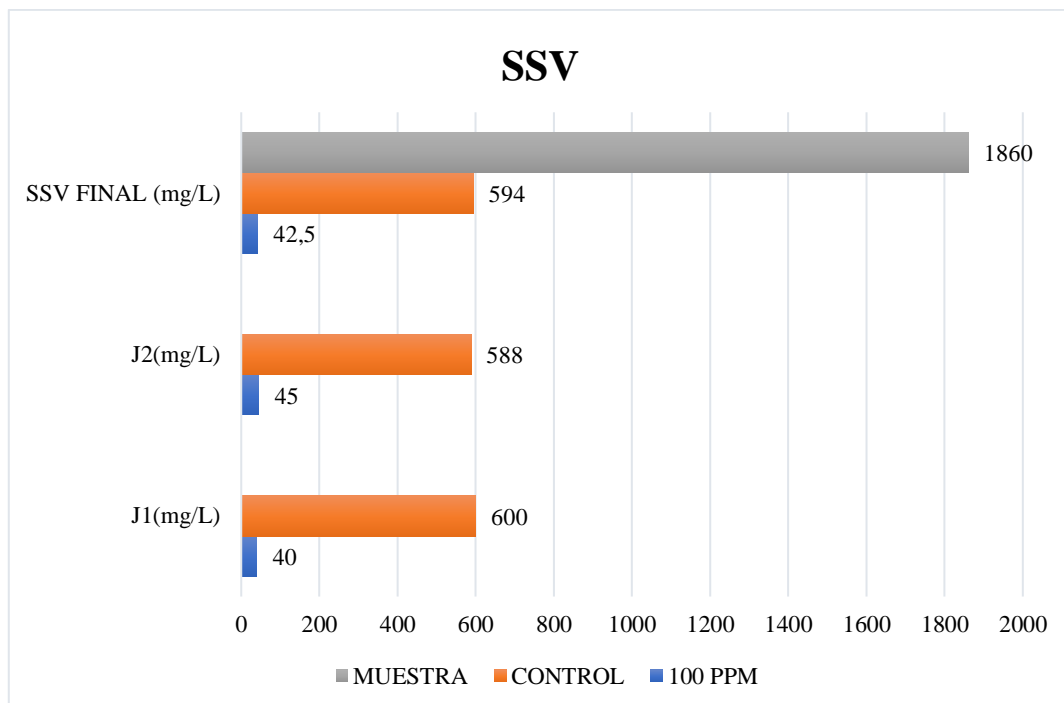
DOSIS (mg/L)	J1(mg/L)	J2(mg/L)	SSV FINAL (mg/L)
100	40	45	42,5
CONTROL	600	588	594
MUESTRA	-	-	1860

Nota: Elaborado por autores, (2023)

Para los SSV se obtuvo un porcentaje de remoción del 98%, este cumpliendo con lo exigido por la legislación colombiana (resolución 0631 del 2015).

Gráfica 3.

Comportamiento de remoción de los SSV durante la aplicación del coagulante natural de escamas de pescado a pH 5.



Nota: Elaborado por autores, (2023)

6.3.3 Remoción de aceites y grasas (A y G)

Después de la aplicación del coagulante, tomando como partida como dosis optima 100ppm, se obtuvo un valor de A Y G 140 mg/L

Tabla 11.

Comportamiento de la remoción de A Y G durante la aplicación de la dosis optima del coagulante de escama de pescado

DOSIS (mg/L)	J1 (mg/L)	J2 (mg/L)	A Y G FINAL (mg/L)
100	130	150	140
CONTROL	2650	2630	2640
MUESTRA			5910

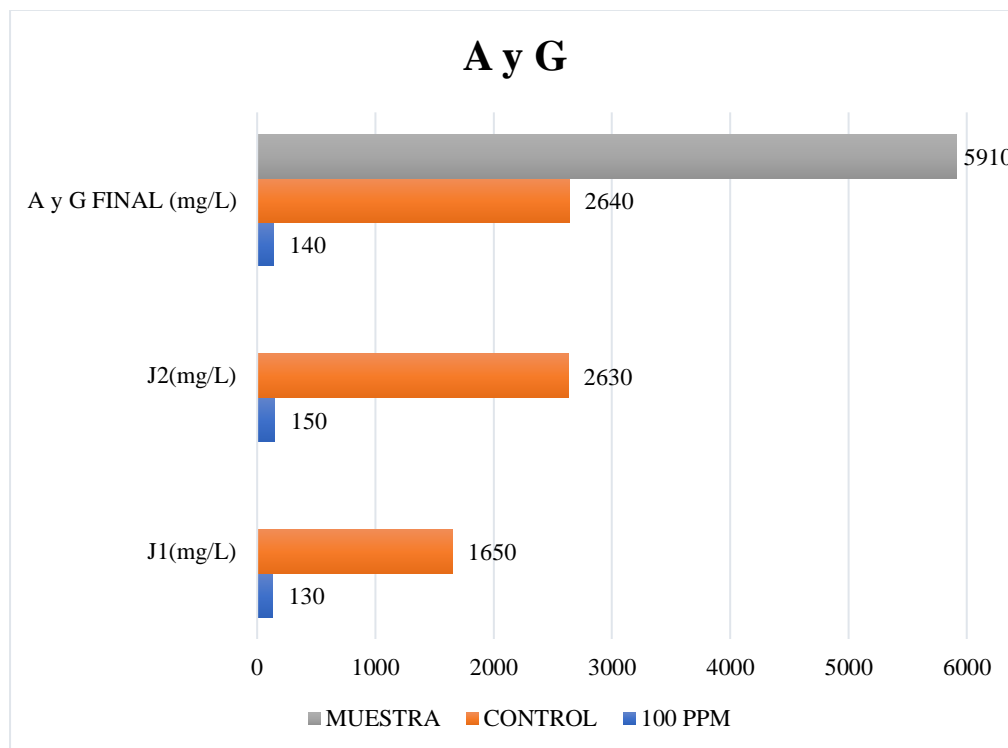
Nota: Elaborado por autores, (2023)

Para aceites y grasas (A Y G) se obtuvo un porcentaje de remoción del 97, 63%, lo cual indica que el coagulante se comportó de manera eficiente pero no logro remover la cantidad necesaria para lograr el cumplimiento exigido por la legislación colombiana (resolución 0631 del 2015), tendría que haber removido un porcentaje mayor o igual al 99,67% respecto a la muestra inicial, para haber abarcado el valor limite permisible de esta legislación.

Los resultados demuestran que el quitosano obtenido de las escamas de pescados no es un coagulante efectivo para eliminar el contenido de aceites y grasas en su totalidad de las aguas residuales asociadas a la empresa Lácteos del Cesar Klaren's.

Gráfica 4.

Comportamiento de remoción de A y G durante la aplicación del coagulante natural de escamas de pescado a pH 5.



Nota: Elaborado por autores, (2023)

6.3.4 Remoción de la DQO

Después de la aplicación del coagulante, tomando como partida dosis optima 100ppm, se obtuvo un valor de DQO **145 mg/L**, lo cual tuvo un excelente comportamiento, esto se puede denotar en la tabla 12:

Tabla 12.

Comportamiento de la remoción de la DQO durante la aplicación de la dosis optima del coagulante de escama de pescado

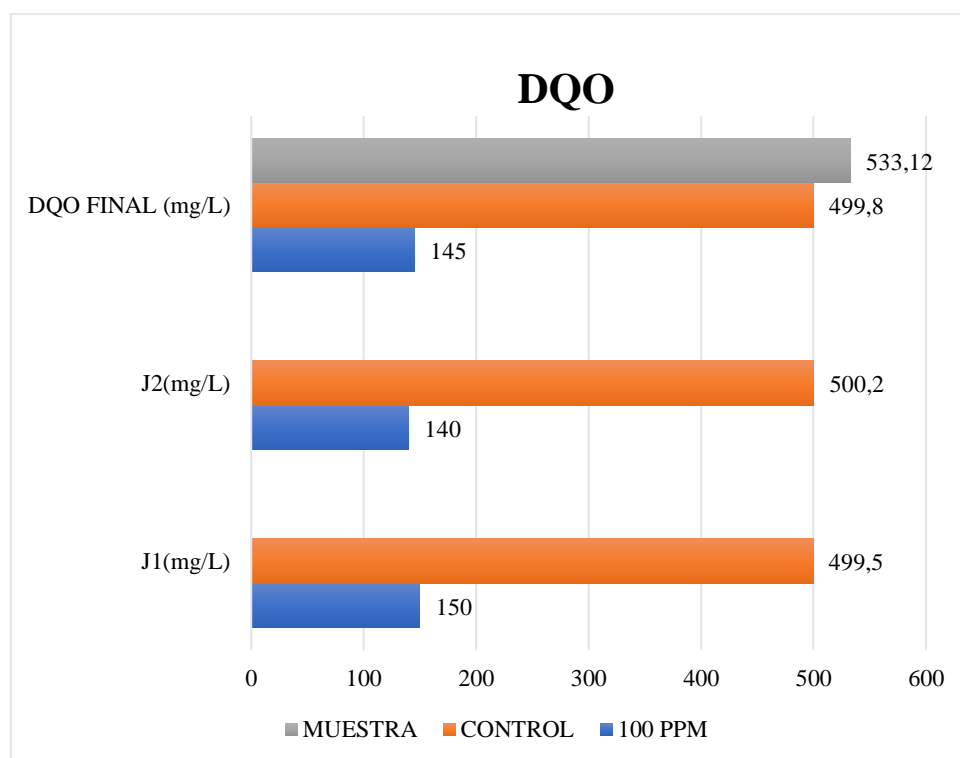
DOSIS (mg/L)	J1(mg/L)	J2(mg/L)	DQO FINAL (mg/L)
100	150	140	145
CONTROL	499,4	500,2	499,8
MUESTRA			533,12

Nota: Elaborado por autores, (2023)

Para la DQO se obtuvo un porcentaje de remoción del 72.8%, un porcentaje no tan alto debido a que la muestra se llevó a dilución, pero logró ser acta para el vertimiento cumpliendo con lo exigido por la legislación colombiana (resolución 0631 del 2015).

Gráfica 5.

Comportamiento de remoción de la DQO durante la aplicación del coagulante natural de escamas de pescado a pH 5.



Nota: Elaborado por autores, (2023)

6.3.5 Remoción de la DBO5

Tabla 13.

Comportamiento de la remoción de la DBO5 durante la aplicación de la dosis optima del coagulante de escama de pescado.

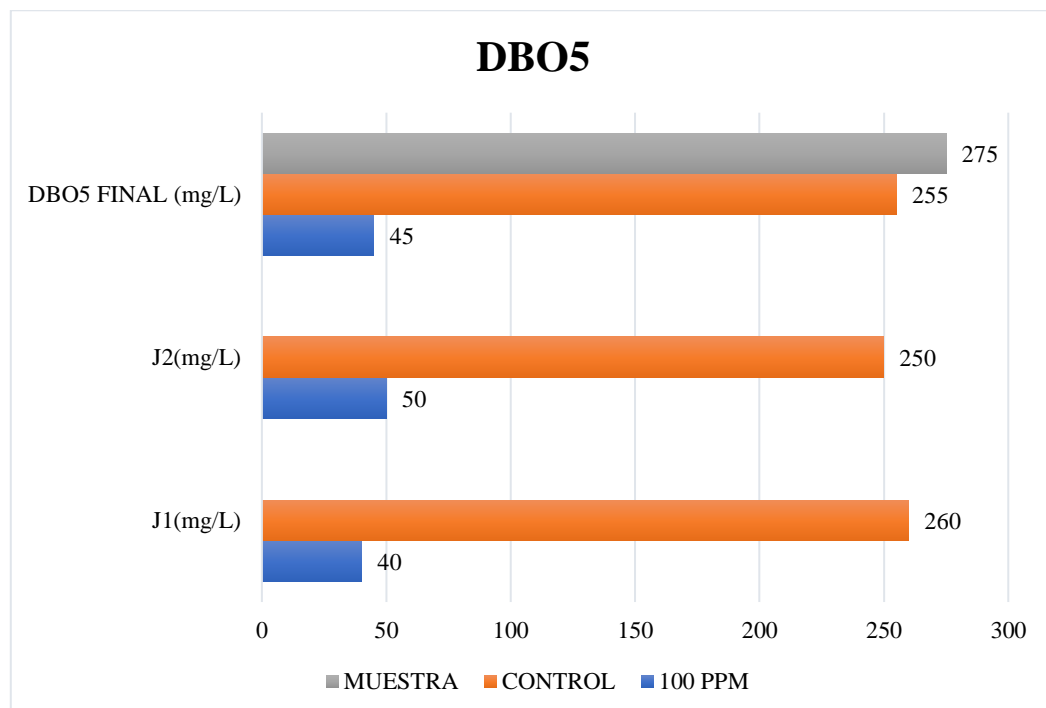
DOSIS (mg/L)	J1(mg/L)	J2(mg/L)	DQO FINAL (mg/L)
100	40	50	45
CONTROL	260	250	255
MUESTRA			275

Nota: Elaborado por autores, (2023)

Para la DBO5 se obtuvo un porcentaje de remoción del 83,64%; Se logro analizar que en las aguas provenientes de la planta de klaren's después del tratamiento de la dosis optima (100ppm), se baja la carga de materia orgánica lo que hace requerir menos cantidad de oxígeno de disuelto requeridos por los organismos presentes; cumpliendo con lo exigido por la legislación colombiana (Resolución 0631 del 2015).

Gráfica 6.

Comportamiento de remoción de la DBO5 durante la aplicación del coagulante natural de escamas de pescado a pH 5.



Nota: Elaborado por autores, (2023)

6.3.6 Comparación de eficiencia de coagulante natural (escamas de pescado) y coagulante comercial (policloruro de aluminio) en la remoción del parámetro turbidez.

Tabla 14.

Comportamiento de la remoción de turbidez durante la aplicación del Coagulante comercial PAC a pH 5

DOSIS (mg/L)	J1(NTU)	J2(NTU)	TURBIDZ FINAL (NTU)
5	813	962	887,5
10	778	811	794,5
20	710	805	757,5
50	699	69,1	69,5
100	254	235	244,5
CONTROL	1990	2461	2225,5
MUESTRA			2908

Nota: Elaborado por autores, (2023)

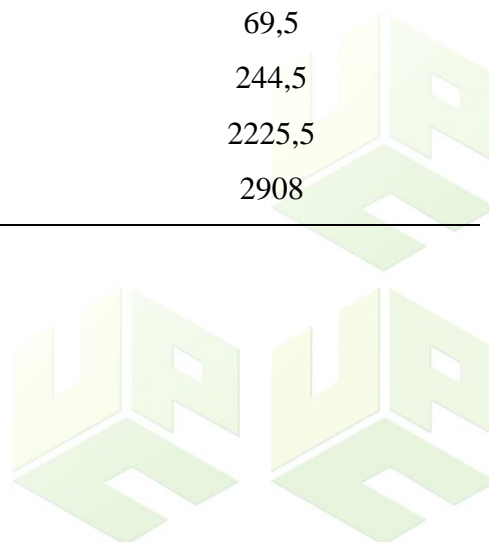
Se evidencia que en el caso del coagulante comercial PAC, logra remover el mayor porcentaje de turbiedad en la dosis de 50 ppm con 97,61% respecto a la muestra inicial.

Tabla 15.

Comparación de la remoción de turbidez durante la aplicación del coagulante comercial PAC y coagulante natural escamas de pescado a pH 5.

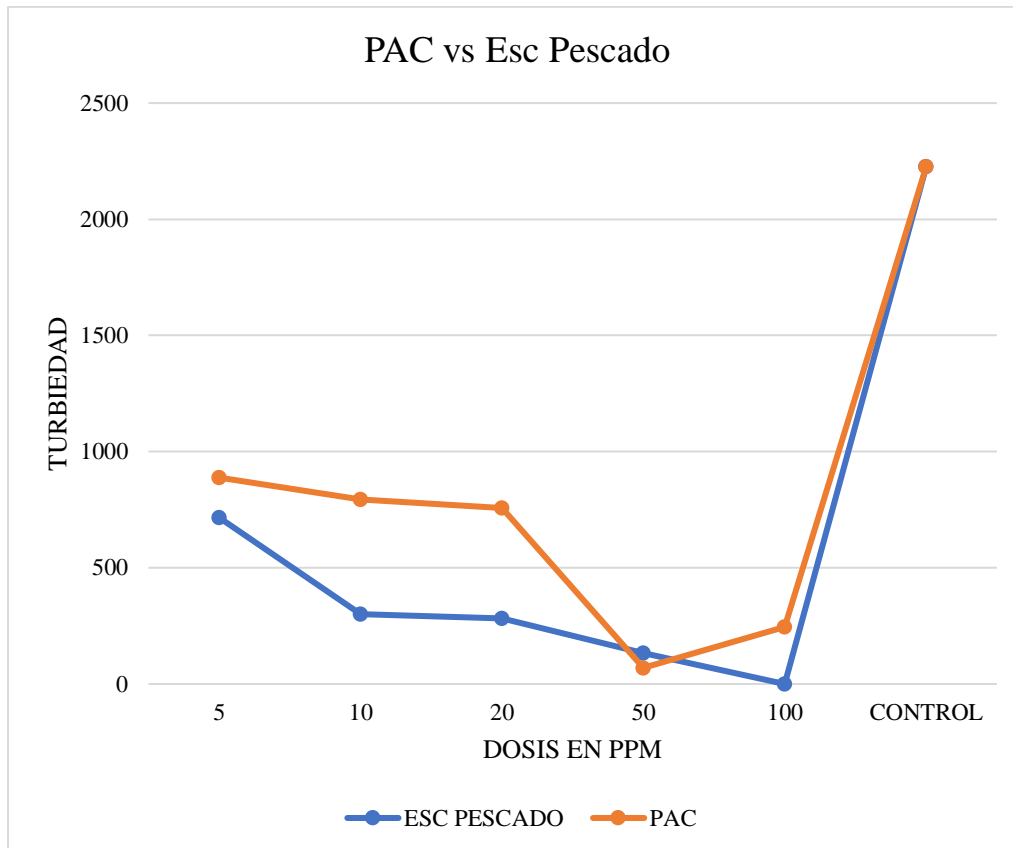
DOSIS (mg/L)	TURBIDZ FINAL (Esc. Pescado) (NTU)	TURBIDZ FINAL (PAC) (NTU)
5	717	887,5
10	301,5	794,5
20	282,5	757,5
50	132,45	69,5
100	77,65	244,5
CONTROL	2225,5	2225,5
MUESTRA		2908

Nota: Elaborado por autores, (2023)



Gráfica 7.

Comportamiento de remoción de turbiedad durante la aplicación del coagulante comercial PAC y la del coagulante natural escamas de pescado a pH 5.

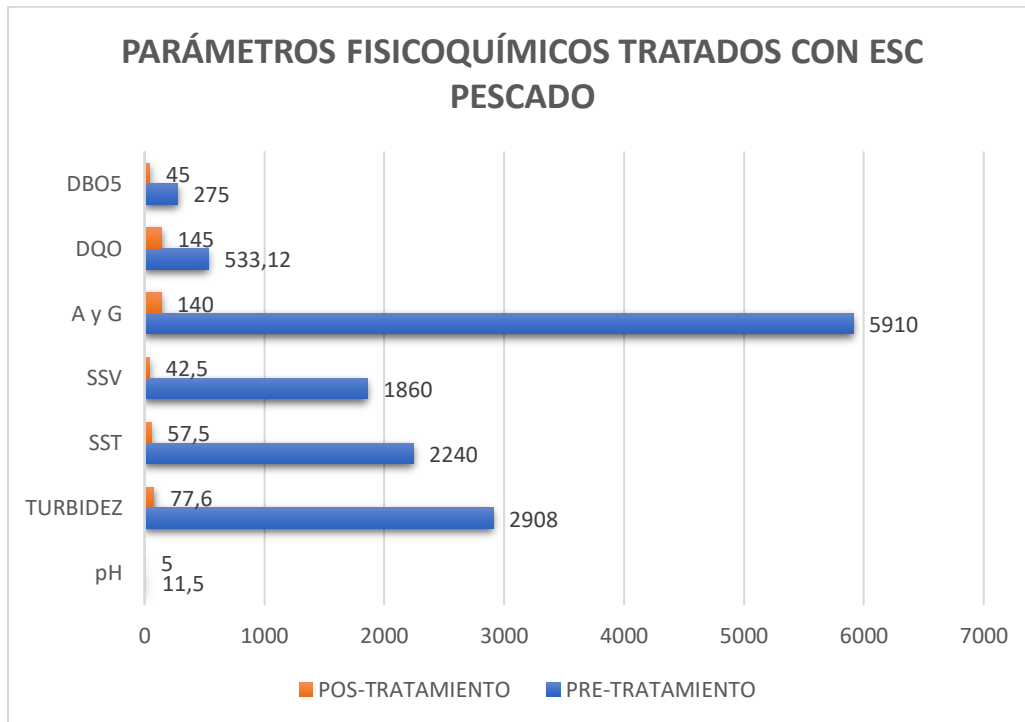


Nota: Elaborado por autores, (2023)

Teniendo en cuenta la gráfica 9, la dosis del coagulante comercial obtiene una remoción favorable con 50% menos de concentración utilizada por el coagulante natural de escamas de pescado, es decir con una dosis de 50 ppm en comparación a los 100 ppm del coagulante natural. Esto debido a que el PAC siendo un químico altamente concentrado puede generar esas remociones en menos concentración, para hay que tener cuenta que los efectos negativos que genera este químico son altamente considerables. Siendo quitosano extraído de las escamas de pescado es un producto natural que no conlleva a efectos negativos, por más que se use una mayor cantidad de dosis de este coagulante no genera costos económicos elevados al momento de adquirirlo, y se tiene en cuenta que remueve un porcentaje altamente favorable durante su aplicación en el tratamiento de estas aguas industriales lácticas y se evidencia que los resultados obtenidos cumplen los límites exigido en la normatividad Colombiana vigente (Resolución 0631 de 2015)

Gráfica 8.

Comparación de los parámetros fisicoquímicos durante el pre y postratamiento con el coagulante natural de escamas de pescado.



Nota: Elaborado por autores, (2023)

Tabla 16.

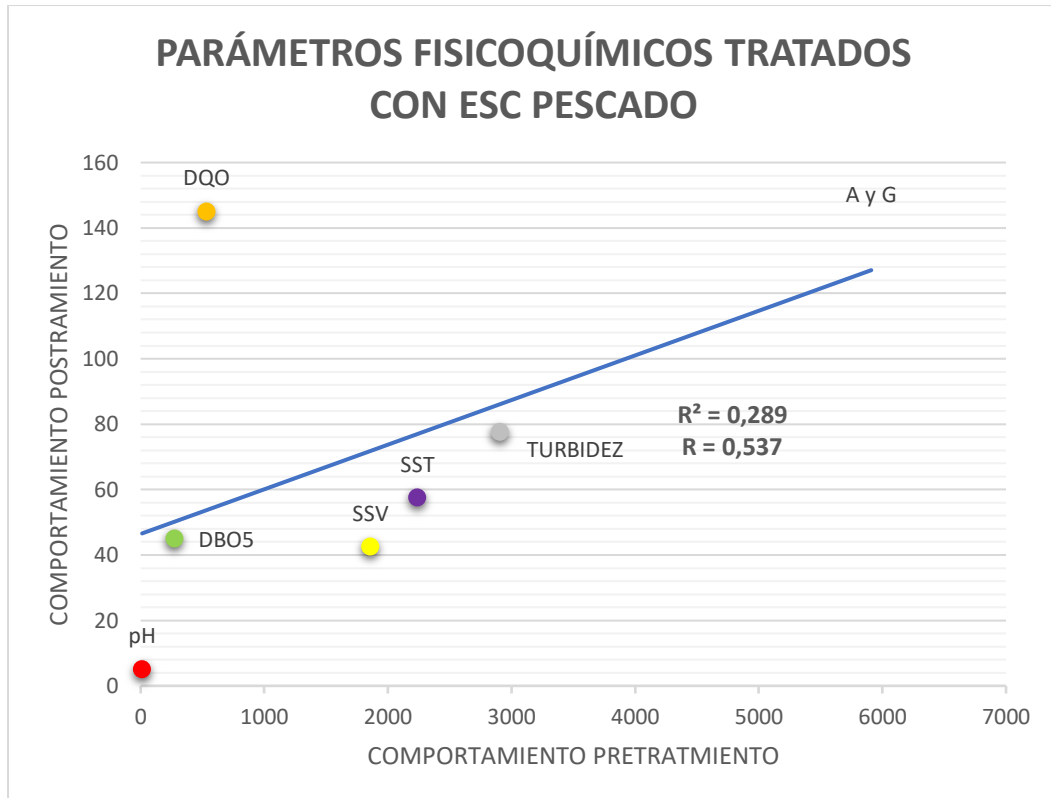
Correlación de parámetros fisicoquímicos presentes en el agua residual láctica, tratadas con coagulante natural extraído de las escamas de pescado.

PARÁMETROS	PRE-TRATAMIENTO	POS-TRATAMIENTO
pH	11,5	5
TURBIDEZ	2908	77,6
SST	2240	57,5
SSSV	1860	42,5
A y G	5910	140
DQO	533,12	145
DBO5	275	45
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	0,537572247	

Nota: Elaborado por autores, (2023)

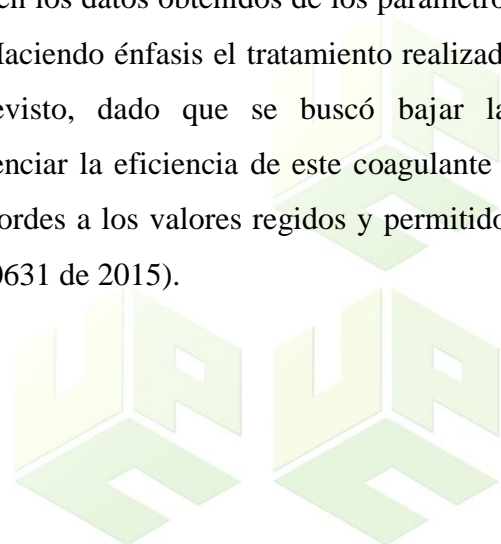
Gráfica 9.

Correlación de los parámetros fisicoquímicos teniendo en cuenta las condiciones iniciales y finales de la muestra de agua, durante el pre y postratamiento con el coagulante natural de escamas de pescado.



Nota: Elaborado por autores, (2023)

Analizando la tabla 15 y las gráficas 7 y 8 la correlación existente entre los parámetros estudiados con respecto al tratamiento con el coagulante natural es positiva débil, debido a que muestra de dispersión poco agrupada en los datos obtenidos de los parámetros antes y después del tratamiento con el coagulante. Haciendo énfasis el tratamiento realizado muestra resultados positivos en cuanto a lo previsto, dado que se buscó bajar las concentraciones de los parámetros para lograr evidenciar la eficiencia de este coagulante y que los valores de los mismos sean ampliamente acordes a los valores regidos y permitidos en la normatividad colombiana vigente (Resolución 0631 de 2015).



Por último, viendo el comportamiento obtenido de la remoción de los parámetros fisicoquímicos, usando el coagulante natural a partir de escamas de pescado se obtuvieron diferentes porcentajes como: 97% de turbiedad, 97% de SST, 98% de SSV, 97% de A y G, 72% de DQO y 83 % de DBO. Realizando una comparación con investigaciones similares en este caso con la Tuna (*Opuntia ficus indica*) que actúa como agente coagulante natural en tratamientos de aguas residuales de industria láctea, las eficiencias de remoción encontradas fueron 77,8% en turbidez, 26,8% en DQO, 13,9% en DBO, 31,0% en SS, 26,4% en ST y 99,96% en CF. MARCO CHUIZA, (2019). Se puede observar que el que brinda una mayor eficiencia de los parámetros fisicoquímicos según los porcentajes de remoción es el coagulante a partir de escamas de pescado. Así mismo Novoa & Pallares, (2022) en su tesis **EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL QUITOSANO COMO COAGULANTE NATURAL, EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA LACTEOS DEL CESAR S.A (KLAREN´S), EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR**, obtuvieron remociones de parámetros del 97% de turbidez, 95% de DQO, 95% de SST, 97% de SSV y 75% de A y G. Teniendo en cuenta que esta se llevó a cabo en el mismo sitio de evaluación y realizando la comparación se puede observar que muestra poca variabilidad de remociones realizadas por los distintos coagulante naturales.



7. CONCLUSIONES

Finalmente, después de obtener los resultados esperados en la investigación, se puede decir que el coagulante de escama de escama de pescado (Tilapia Roja) es efectivo para la remoción de parámetros fisicoquímicos (SST, SSV, A Y G, Turbiedad, DQO Y DBO5), donde se obtuvieron remociones mayores del 76% y unos que oscilaron entre 96 y 98% con respecto a la muestra que fue necesaria bajarle el pH Para garantizar la eficiencia del coagulante en términos de remoción de los parámetros en estudio en aguas residuales asociadas a la Empresa Lácteos del cesar esto debido a que el quitosano extraído de las escamas de pescados muestra su mayor eficiencia en medios ácidos.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede evidenciar y concluir que todos los parámetros estudiados a diferencia las aceites y grasas cumplen con los valores máximos permisibles exigidos por la normativa (RES 0631 de 2015); En términos de A Y G se remueve un porcentaje alto, pero no se logra llevar a su rango permisible, esto debido a que siendo estas aguas residuales provenientes de una industria Láctea la cual su materia prima conlleva concentraciones altas de aceites y grasas.

Por otra parte, la necesidad de utilizar un coagulante natural para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria Lácteos del Cesar (Klaren's), se llevó a cabo a raíz de las consecuencias generadas por el coagulante químico (Policloruro de Aluminio), esta es una sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio, Corrosivo por ingestión, puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa. Puede alcanzarse (muy) rápidamente una concentración nociva de vapores de cloruro de hidrógeno y es nociva para los organismos acuáticos. ICSC: 1125 (abril 2005)

En cuanto a la utilización de los coagulantes naturales, en este caso el coagulante extraído de escamas de pescado de la especie Tilapia Roja se concluye que es altamente beneficioso para la salud humana, el ámbito ambiental y en el ámbito socio-económico, en este entorno se puede obtener de materia prima que no son aprovechadas y que no generaría un costo económico tan considerable.

Para terminar este proyecto de investigación se convierte como soporte guía a todos aquellos (estudiantes, profesores, laboratorios, universidades, etc.) que quieren seguir la línea investigativas al momento de generar coagulantes naturales extraídos de las escamas de pescado (teniendo opción de evaluar y hacer estudios con diferentes especie a la se trabajó en este proyecto), donde podrán realizar diferentes estudios y evaluando su eficiencias en los tratamiento de aguas residuales no solo de tipo láctica, sino abarcando diferentes tipos de aguas residuales como las provenientes de activades domésticas, agropecuarias, minera; etc., para obtener muchas más referencias de remociones de contaminantes que se presentes en estas clases de aguas.

En conclusión se debe tener en cuentas los estudios realizado acerca de la eficiencia que tienes el coagulante extraído de las escamas de pescado de la especie tilapia roja, en los tratamientos de estas aguas residuales, ya que se convierten en una alternativa ambiental, y puede llegar hacer un estrategia de negocio, en cuanto a la producción en cantidades del quitosano (material coagulante extraído de las escamas), debido que puede entrar al mercado complementar y competir con los quitosanos comerciales naturales ya existente; teniendo en cuenta que este coagulante fue eficiente.



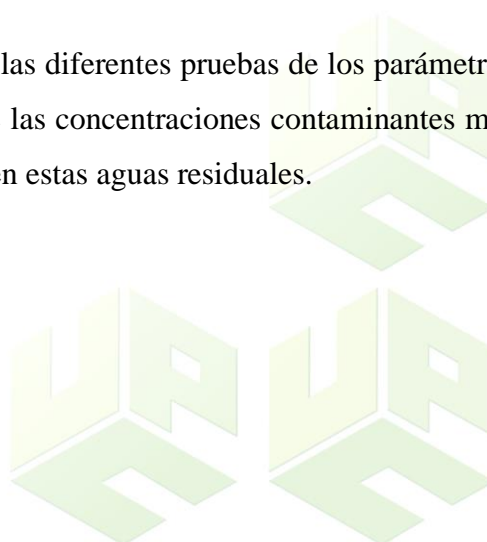
8. RECOMENDACIONES

Para la industria Láctea y a futuras investigaciones se recomienda:

- Continuar con la línea de investigación de los coagulantes naturales como el quitosano extraído de las escamas de pescado usando diferentes especies a la trabajada en la investigación, como lo fue la Tilapia Roja. por su variedad de beneficios, fácil adquisición, especialmente los relacionados con los riesgos a la salud, donde se puedan evaluar parámetros fisicoquímicos diferentes a los analizados en este proyecto como, sólidos disueltos totales (SDT), alcalinidad y color.
- Seguir trabajando este coagulante natural escamas de pescado en tratamientos de aguas en otros tipos de aguas residuales a las lácticas, donde evidencie otros tipos de parámetros y donde el pH del agua oscile entre 4-6, para que el coagulante tenga un comportamiento óptimo debido a sus propiedades.
- Para los ensayos de mejor dosis, realizar un solo muestreo, que en lo posible sea una muestra compuesta, de esta forma se evitará los cambios permanentes que se presentan en este tipo de industrias en los parámetros de las aguas residuales asociadas a industrias lácteas.
- Verificar la eficiencia de los coagulantes naturales haciendo ensayos comparativos de remoción de parámetros fisicoquímicos con coagulantes comerciales (sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato férrico, policloruro de aluminio y cloruro férrico), trabajándolos en las mismas dosis de concentración ppm.
- Tomar las muestras de agua residual a las que se les van a realizar los estudios en días donde la empresa presente su mayor productividad, para así obtener resultados que permitan realizar las pruebas de manera más complementarias.
- Tener en cuenta la normativa vigente colombiana Resolución 0631 de 2015, para verificar los valores límites permisibles para poder realizar los respectivos vertimientos a los cuerpos receptores de aguas, en este caso los sistemas de alcantarillados del municipio de Valledupar (Cesar).
- Tomar como referencia esta investigación con respecto a la utilización y verificación de un coagulante natural extraído de animal para los tratamientos de aguas residuales, para trabajar con diferentes coagulantes naturales extraídos de diferentes especies de

animales, como, por ejemplo: crustáceos, hongos, insectos, anélidos, moluscos, Celenterados etc. Teniendo en cuenta que este coagulante natural (extraído de la especie de pescado) tiene características que lo hacen una fuente óptima de estudio como su biodegradabilidad, alta densidad de carga catiónica, cadenas largas de polímeros, biocompatibilidad, y además presenta propiedades como bacteriostático y fungistático (Shi, 2012), por lo cual estos biopolímeros (coagulantes naturales) se pueden utilizar para sustituir los coagulantes convencionales como las sales de aluminio y polímeros químicos teniendo en cuenta que se evitaría problemas de contaminación al medio ambiente y a la salud humana causados por los residuos de polímeros de aluminio y químicos en el agua (Chi y Cheng 2006).

- Al momento de llevar el coagulante natural a prueba de jarra, buscar la dosis óptima en la cual se comportara de mejor manera, debido que esta investigación trabajamos con una dosis que nos indicó un alto porcentaje de remoción de los parámetros fisicoquímicos estudiados y que nos cumpliera con los valores permisibles de la normativa que regula los vertimientos, logrando así verificar su eficiencia; pero no siendo esta la dosis (óptima) con la que el coagulante de escamas de pescado buscara un comportamiento casi perfecto.
- Incluir coagulantes naturales extraídos de material vegetal para conocer y comparar sus comportamientos que tienen al momento de tratar aguas residuales de tipo láctica para tener una base de dato que indique que tipo de coagulante natural (animal o vegetal) es más eficiente en los tratamientos de estas aguas removiendo los diferentes parámetros fisicoquímico estudiados, y cual arrojan mejores valores al momento de compararlos con la normativa vigente.
- Realizar varios ensayos al momento de hacer las diferentes pruebas de los parámetros fisicoquímico, para determinar así, valores de las concentraciones contaminantes más reales y cercano que se encuentran presentes en estas aguas residuales.



9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, M. I. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*. Editum.

ALCALDIA MUNICIPAL DE VALLEDUPAR. (2016). Plan de desarrollo municipal “Valledupar Avanza 2016-2019”. Valledupar. 2016. 298 p.

ALMENDÁREZ, N. (2004). Comprobación de la efectividad del coagulante (Cochifloc) en aguas del lago de Managua Piedras Azules. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 46-54.

Arias, Hernández, Castro y Sánchez (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la m. Oleífera como coagulante natural

Arias-Hoyos, A., HERNÁNDEZ-MEDINA, J. L., CASTRO-VALENCIA, A. F., & SÁNCHEZ-PEÑA, N. E. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la m. oleífera como coagulante natural. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 15(spe), 29-39.

BANCO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. (2013). La industria de lácteos en Valledupar. Primera en la región Caribe. Documento de trabajo sobre economía regional. Valledupar, Cesar. Marzo de 2013. 58 p.

Barreto Pardo, S., Vargas Moncada, D. K., Ruiz Martínez, L., & Gómez Ayala, S. L. (2020). EVALUACIÓN DE COAGULANTES NATURALES EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(1).

Benitez, A. R. (2017). Oportunidades de Producción Más Limpia en la industria del procesamiento de pescado.

Bravo Gallardo, M. A. (2015). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales.

Buttice A.L, Alcantar N.A (2015) Sediment Removal with the *Opuntia ficus-indica* Cactus: A Water Purification Method for Communities in Latin America. University of South Florida, Tampa, FL, USA Current as of 2 January 2015. 2014, Pages 98–103

Cáceres, M. D. J. G. (2012). Aspectos medioambientales asociados a los procesos de la industria láctea. *Mundo pecuario*, 8(1), 16-32.

Caldera, Y., Clavel, N., Briseño, D., Nava, A., Gutiérrez, E., y Mármol Z. (2009). Quitosano como coagulante durante el tratamiento de agua de producción de petróleo. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 43, (4), 541-555.

Calderón, C. & Mendieta, A. (2018). Evaluación de la eficiencia del STENOCEREUS GRISEUS como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales de la empresa lácteos del cesar s.a. (klaren's), en la ciudad de Valledupar. [Trabajo de grado, Universidad Popular del Cesar, Colombia]

Carneiro, D. P. (2022). Extração de quitina e quitosana de escamas de pirarucu (*Arapaima gigas*).

Cartaya, O., Peniche, C., y Reynaldo, I. (2009). Polímeros naturales recolectores de iones metálicos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 10(2), 81-94.

Choque-Quispe, D., Choque-Quispe, Y., Solano-Reynoso, A. M., & Ramos-Pacheco, B. S. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309.

Crites, R., Tchobanoglous G. (2000). tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. McGraw-Hill interamericana S.A

Delgado Huallpa, S. (2013). Evaluación de escamas de pescado como adsorbente de metales pesados de agua residual.

Díaz Ponceca, N. Y., Lino Matos, C. R., & Quispe Huaytalla, R. (2018). Uso del quitosano como coagulante natural para el tratamiento de efluentes generados por la industria textil caso: Compañía Universal Textil SA.

Feria Díaz, J. J., Bermúdez Roa, S., & Estrada Tordecilla, A. M. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción+ limpia*, 9(1), 9-22.

Fuentes Carrillo, A. C. (2021). *Propuesta para el aprovechamiento de escamas de pescado aplicado a la producción de papel de quitosano por el método de desacetilación de quitina en medio alcalino* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

Fúquene, D. M., & Yate, A. V. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Documentos de trabajo ECAPMA*, (1).

García Gómez, A. G., Romero Ramos, R., & Castro Salazar, H. T. (2016). Aprovechamiento de las escamas de la industria acuícola en el departamento del Huila, Colombia. *Producción+ Limpia*, 11(2), 102-110.

García Nava, E. (2017). *Aprovechamiento de escamas de pescado provenientes de residuos sólidos urbanos RSU para la obtención de colágeno y su uso en la preparación de compositos con hidroxapatita* (Master's thesis, Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco. Coordinación de Servicios de Información.).

Gómez, G. I. G., & Ramos, M. D. (2013). Pre-tratamiento de aguas residuales de la industria láctea con una lipasa inmovilizada. *Producción+ Limpia*, 8(2), 51-59.

González Ostos, D. E., & Ángel Calderón, M. L. (2021). Escamas de pescado como coagulante natural en aguas: aplicación de un OVA con enfoque ABP.

Guzmán, K. (2013, 1 abril). La industria de lácteos en Valledupar: primera en la región Caribe. banco de la república de Colombia. <https://www.banrep.gov.co/es/dtser-184>
<https://www.redalyc.org/pdf/849/84916714054.pdf>

Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión.

Jaimes Palacios, N. Z. (2016). Eficiencia del coagulante natural *Opuntia ficus indica* (l.) Miller con un sistema de filtración para la remoción de parámetros fisicoquímicos y biológicos en el agua residual doméstica del Centro Urbano Hornillos, Ancash 2016.

Jairo, A. M. E. T. J., Díaz, F., & Roa, S. B. (2014). Eficiencia de la semilla *Moringa Oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción+ Limpia*, 9(1).

Jaramillo Campoverde, p. N. (2020). Análisis de la efectividad de coagulantes a base de taninos para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea

Johnson, D. B., & Hallberg, K. B. (2005). Acid mine drainage remediation options: A review. *Science of the Total Environment*, 338(1-2), 3–14.

Kushwaha, J. P., Srivastava, V. C., & Mall, I. D. (2011). An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(5), 442–452.

Lárez Velásquez, C. (2003). algunos usos del Quitosano en sistemas acuosos. *revista iberoamericana de polímeros*, 4(2), 91-109.

Lárez Velásquez, C. (2006). Quitina y Quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *avances en química*, 1(2), 15-21.

López-Santiago, N. (2016). Pruebas de coagulación. *Acta pediátrica de México*, 37(4), 241-245.

Mendoza, A. (2013). Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Tula-mexico].

Mercado, C. & Rodríguez, D. (2014). Eficiencia del Quitosano como coagulante en el tratamiento de las aguas asociadas a la producción de aceite de palma. [Trabajo de grado, Universidad Popular del Cesar, colombia]

Paca Telenchano, Flor Rocio. (2017). Evaluación de residuos vegetales de papa, yuca, camote y plátano, como coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea.

Romero Shiguango, L. E. (2019). *Evaluación de la utilización del almidón de papa, yuca y banano como bio coagulantes para el tratamiento de aguas de una industria láctea* (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2019).

Rubio Dávila, D., & Saravia Rodas, J. A. (2020). Optimización en la remoción de turbidez mediante prueba de jarras empleando Quitosano a partir de las escamas del *Trachurus Murphyi*.

Rubio, D. I. C., Calderón, R. A. M., Gualtero, A. P., Acosta, D. R., & Sandoval, J. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. *Ingeniería y Región*, (13), 73-90.

Ruíz, Á. A., & Giraldo, L. F. G. (2007). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Producción Más Limpia*, 2(2).

Santillán Quiroga, L. M., & Paredes Pacheco, L. P. (2018). Remoción de ácido sulfhídrico por microorganismos sobre lodos activados en aguas residuales de la industria alimenticia. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 112-123.

Tarón-Dunoyer, A. A., Guzmán-Carrillo, L. E., & Barros-Portnoy, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *Orinoquia*, 21(1), 73-78.

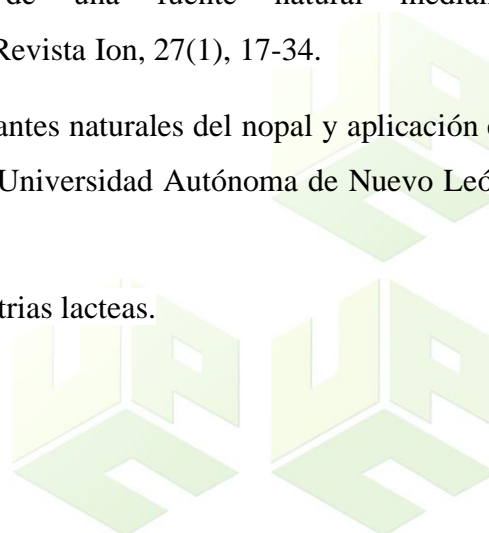
Telenchano, P., & Rocio, F. (2017). *Evaluación de residuos vegetales de papa, yuca, camote y plátano, como coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

Torres, K., Vanegas, A., Romero, A., Vega, J., & Fajardo, R. (2022). Lineamientos y guía orientadora para la formulación y estructuración del anteproyecto y proyecto de grado en el programa de ingeniería ambiental y sanitaria de la universidad popular del cesar

Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista Ion*, 27(1), 17-34.

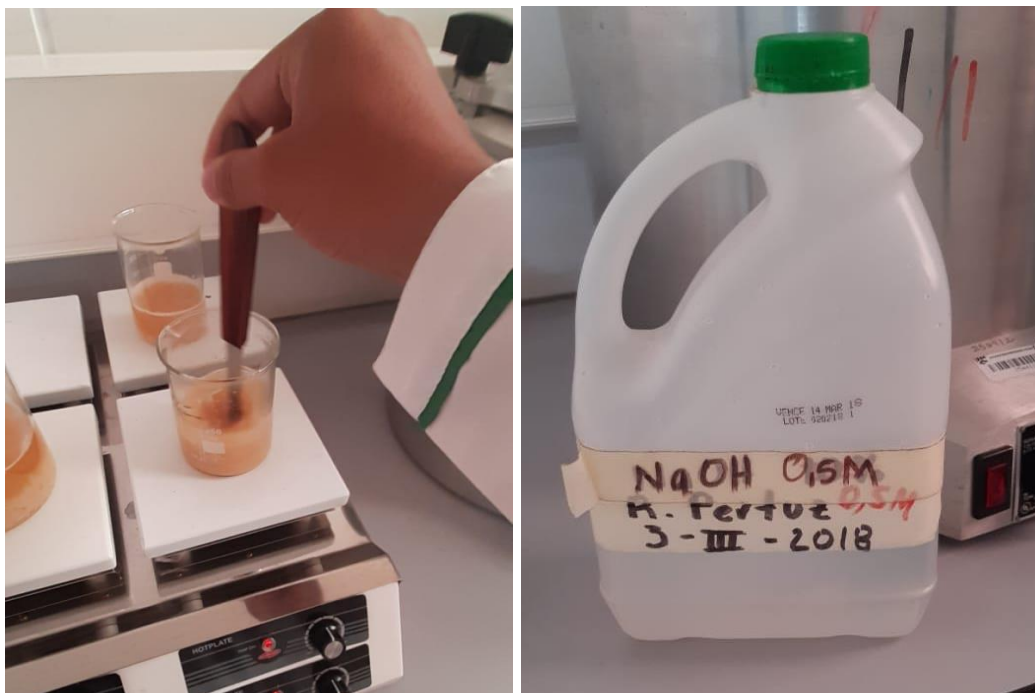
VÁZQUEZ, O. (1994). Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas residuales. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey. México D.F.

Villena, L. J. (1995). Contaminación de industrias lácteas.



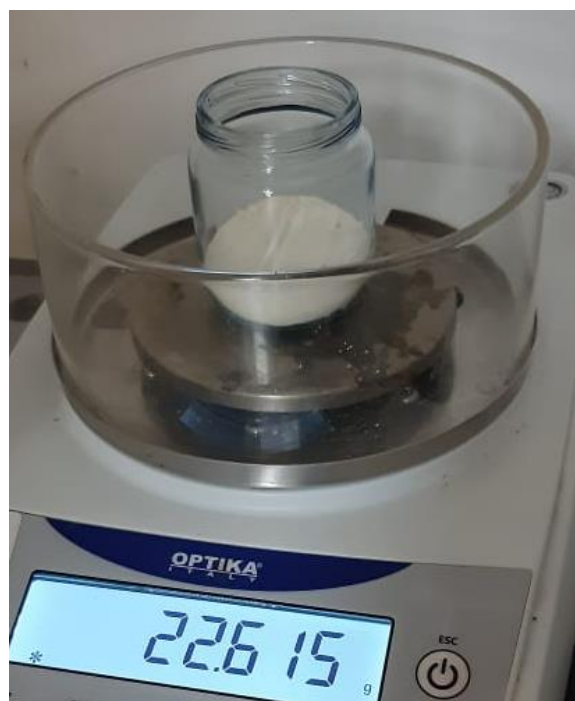
ANEXOS

Anexo 1. Montaje de las escamas en solución NaOH



Anexo 2. Extracción del quitosano de las escamas de pescado (coagulante natural)





Anexo 3. Punto de muestreo y toma de muestra



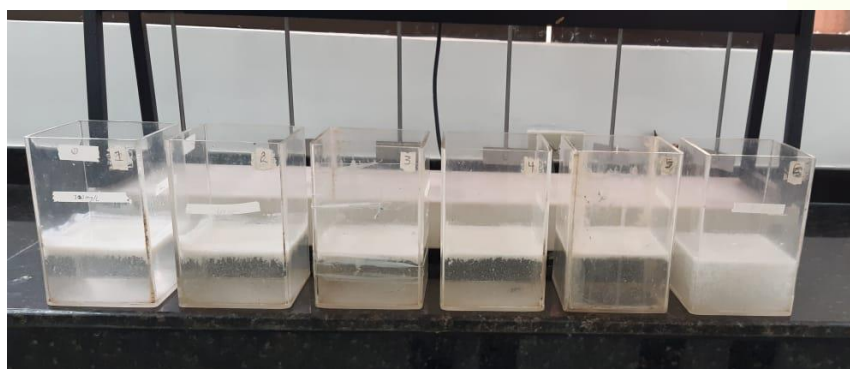
Anexo 4. Turbidímetro



Anexo 5. Cantidad utilizada de quitosano



Anexo 6. Antes y después de la prueba de jarras utilizando el coagulante natural de escama de pescado.



Anexo 7. Prueba de SST y SSV



Anexo 8. Pruebas de Aceites y Grasas



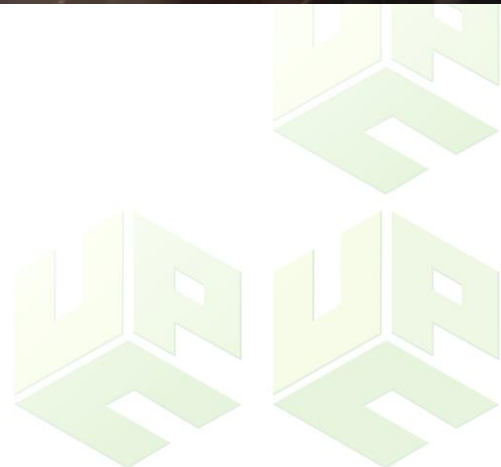


Anexo 9. Montaje de prueba DQO





Anexo 10. Montaje de prueba de DBO5



Anexo 11. Montaje de prueba de jarras con coagulante comercial PAC

