

**OBTENCIÓN DE QUITOSANO POR MEDIO DE ESCAMAS DE PESCADO PARA
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.**

KEILA ISABEL CRUZ JIMENEZ



UNIVERSIDAD DE LA COSTA

DEPARTAMENTO CIVIL Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BARRANQUILLA, COLOMBIA

2021

**OBTENCIÓN DE QUITOSANO POR MEDIO DE ESCAMAS DE PESCADO PARA
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.**

KEILA ISABEL CRUZ JIMENEZ

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL

TITULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR: Ms. RUBEN CANTERO

CODIRECTOR: Ms. LEANDRO GOMEZ.

UNIVERSIDAD DE LA COSTA

DEPARTAMENTO CIVIL Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BARRANQUILLA, COLOMBIA

2021

Agradecimientos

La presente tesis es el producto de mi esfuerzo y dedicación durante un año, en el cual he contado con el apoyo y colaboración de varias personas. Por ese motivo, quiero manifestarles en este apartado mi agradecimiento, puesto que, gracias a ellos de un modo u otro, han hecho realidad desarrollar este trabajo de grado.

Primeramente, quiero agradecerle a Dios y a mi familia por estar siempre presente y nunca dejarme caer. A mis padres Samir y Jadra, muchas gracias por su confianza, apoyo y esfuerzo que hicieron posible la realización de este gran logro en mi vida.

Quiero agradecer de forma muy especial al Ing. Rubén Cantero, por brindarme su apoyo incondicional, tener confianza en mí y siempre ser muy optimista con el resultado de este proyecto.

Del mismo modo, agradezco al profesor Leandro Gómez, por su colaboración, sus sugerencias, su disponibilidad constante para responder mis muchas dudas a lo largo de esta investigación y el tiempo dedicado en la orientación del desarrollo de esta investigación.

También a el profesor Sergio Ardila, a las profesoras Yuleisi Núñez y Erika Arbeláez, por su amistad, paciencia y comprensión para conmigo. Muchas gracias por compartir conmigo todos sus conocimientos y estar disponible para atenderme en horarios fuera de los laborales.

A todos los amigos que creyeron en mí, muchas gracias por brindarme su apoyo y amistad durante todo este tiempo, por estar conmigo en mis momentos difíciles y soportarme.

Sin ustedes nada de esto hubiera sido posible.

Resumen

En este trabajo, se investigó sobre las propiedades coagulantes del quitosano, encontrándose que es un polímero catiónico lineal, biodegradable, con excelentes características como coagulante, debido a la presencia de los grupos aminos en su estructura que confieren la capacidad para disminuir la presencia de coloides en el agua. De este modo, el objetivo del presente trabajo fue preparar un coagulante natural a partir de quitosano, originario de escamas de pescado de la Mojarra Lora (*Oreochromis niloticus*), por el método químico homogéneo. Primeramente, se separó la quitina de las escamas, mediante los procesos de despigmentación, desproteinización, desmineralización y desacetilación (obtención de quitosano); Los cuales tuvieron un rendimiento en el proceso de 78%, 78.20%, 88.752 % y 30% respectivamente. Para comprobar la eficiencia del procedimiento se caracterizó la estructura del quitosano obtenido, donde se obtuvo por titulación potenciométrica un grado de DD (76,87%), proteínas (<2.45%) y cenizas (40.52%). Dichos resultados obtenidos se encuentran comparados teóricamente con diferentes tipos de coagulantes, tanto de origen comercial, como obtenidos de manera experimental, por otros autores; En ambos casos el quitosano obtenido a partir de Mojarra Lora (*Oreochromis niloticus*), ha mostrado resultados favorables en los diferentes procesos que se han comparados. Al aplicar el quitosano obtenido, como coagulante al tratamiento de agua, se desarrollaron diferentes pruebas de jarras para obtener la dosis óptima de coagulante (300mg/l) y el tiempo de floculación (30 min). Estas variables se sometieron a un análisis estadístico ANOVA, el cual indica que la dosis de coagulante y tiempo de floculación, si afectan significativamente (p-valor < 0.05) sobre la remoción de la turbiedad del agua; Obteniendo así una disminución de la turbiedad del 76.30%, por lo que se puede inferir que la realización del coagulante y los parámetros a determinar fueron óptimos.

Sin embargo, al comparar los valores obtenidos de turbiedad y color final, con los límites máximos permisibles de la resolución 2115 del 2007 normatividad de calidad de agua para consumo humano, la turbiedad promedio que se obtuvo fue 79.1 NTU y 370 UPC para color, sobrepasan los límites permisibles. Debido a que el coagulante no está removiendo totalmente las impurezas presentes en la muestra de agua del río Magdalena a estudiar; se recomienda antes de utilizar el coagulante, realizar un barrido para eliminar las impurezas, además de mejorar la etapa de desacetilación, para obtener un quitosano más puro (mayor grado de DD) y así poder obtener un mejor rendimiento del coagulante y por ende un rendimiento mayor en la remoción de turbiedad y color.

Palabras clave: quitosano, escamas, coagulación-floculación, método químico homogéneo, turbiedad, calidad del agua, desacetilación

Abstract

In this work, the coagulant properties of chitosan were investigated, finding that it is a linear cationic polymer, biodegradable, with excellent characteristics as a coagulant, due to the presence of amino groups in its structure that confer the ability to reduce the presence of colloids in water. Thus, the objective of the present work was to prepare a natural coagulant from chitosan, originating from fish scales of the Mojarra Lora (*Oreochromis niloticus*), by the homogeneous chemical method. First, the chitin was separated from the scales, through depigmentation, deproteinization, demineralization and deacetylation processes (obtaining chitosan); Which had a yield in the process of 78%, 78.20%, 88.752% and 30% respectively. To verify the efficiency of the procedure, the structure of the chitosan obtained was characterized, where a degree of DD (76.87%), proteins (<2.45%) and ashes (40.52%) were obtained by potentiometric titration. Said results obtained are theoretically compared with different types of coagulants, both of commercial origin, and obtained experimentally, by other authors; In both cases, the chitosan obtained from Mojarra Lora (*Oreochromis niloticus*), has shown favorable results in the different processes that have been compared. By applying the chitosan obtained, as a coagulant to the water treatment, different jar tests were developed to obtain the optimal dose of coagulant (300mg / l) and the flocculation time (30 min). These variables were subjected to an ANOVA statistical analysis, which indicates that the coagulant dose and flocculation time do significantly affect (p-value <0.05) on the removal of turbidity from the water; Thus, obtaining a decrease in turbidity of 76.30%, so it can be inferred that the coagulant performance and the parameters to be determined were optimal. However, when comparing the values obtained for turbidity and final color, with the maximum permissible limits of resolution 2115 of 2007 regulation of water quality for human consumption, the average turbidity obtained was 79.1 NTU and 370 UPC for color, exceeding the permissible limits. Because the coagulant is not totally removing the impurities present in the water sample from the Magdalena River to be studied; It is recommended before using the coagulant, to carry out a sweep to eliminate impurities, in addition to improving the deacetylation stage, to obtain a purer chitosan (higher degree of DD) and thus be able to obtain a better performance of the coagulant and therefore a yield greater in the removal of turbidity and color.

Keywords: chitosan, flakes, coagulation-flocculation, homogeneous chemical method, turbidity, water quality, deacetylation

Contenido

Lista de tablas y figuras	11
1. Introducción	16
2. Planteamiento del problema	18
3. Justificación	20
4. Objetivos	23
5. Antecedentes	24
6. Estado del arte	33
7. Marco teórico	37
7.1. Coagulación	41
7.1.1. Factores que influyen en la coagulación	42
7.1.2. Mecanismos de coagulación	45
7.1.3. Tipos de coagulación	49
7.1.4. Coagulantes químicos utilizados	53
7.1.5. Ayudantes de coagulación	57
7.1.6. Coagulantes naturales	59
7.2. Floculación	64
7.2.1. Factores que influyen en la floculación	65
7.2.2. Tipos de floculantes	67
7.3. Sedimentación	68

7.4. Características fisicoquímicas de agua potable	69
7.5. Obtención del quitosano	71
7.5.1. Desacetilación de la quitina por el método químico homogéneo.	77
8. Marco legal	80
9. Metodología	81
9.1. Diseño metodológico	81
9.2. Preparación del quitosano	84
9.3. Determinación del grado de desacetilación del quitosano por valoración potenciométrica ...	89
9.4. Proceso de tratamiento de agua	90
9.4.1. Caracterización de parámetros de la calidad del agua	90
9.4.2. Coagulación.	91
9.4.3. Floculación	91
10. Análisis y resultados	93
10.1. Obtención y caracterización de quitosano	93
10.1.1. Proceso de despigmentación	93
10.1.2. Proceso de desproteinización.	94
10.1.3. Proceso de desmineralización.	97
10.1.4. Proceso de desacetilación	99
10.2. Aplicación del quitosano	104
10.2.1. Caracterización de agua de río.	104

10.2.2. Dosis optima de coagulante.....	104
10.2.3. Tiempo de floculación.....	108
10.3. Análisis estadístico (ANOVA).....	110
10.4. Comparación con normativa.....	113
11. Conclusión	115
12. Recomendaciones	117
13. Referencias.....	118
Anexos	127

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1.	Composición química porcentual de las principales fuentes de materia prima de quitina.	27
Tabla 2.	Propiedades de la quitina y quitosano	31
Tabla 3.	Propiedades generales y comparación entre la quitina y el quitosano.....	32
Tabla 4.	Características fisicoquímicas de quitina y quitosano y métodos de determinación.....	41
Tabla 5.	Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación	44
Tabla 6.	Productos naturales evaluados y considerados positivos para reducir la turbidez.....	60
Tabla 7.	Diseño experimental.....	83
Tabla 8.	Operalización de variables.....	84
Tabla 9.	Equipos necesarios para proceso de obtención de quitosano.	89
Tabla 10.	Equipos necesarios para proceso de coagulación – floculación.....	93
Tabla 11.	Resultados de prueba de despigmentación.....	¡Error! Marcador no definido. 94
Tabla 12.	Resultados de prueba de desproteinización.....	¡Error! Marcador no definido. 95
Tabla 13.	Comparación de diferentes orígenes de proteína.....	97
Tabla 14.	Resultados de prueba de desmineralización.....	98
Tabla 15.	Comparación % de cenizas.....	100
Tabla 16.	Resultados de prueba de desacetilación.....	102
Tabla 17.	Comparación de diferentes orígenes de grado de DD..	¡Error! Marcador no definido. 104
Tabla 18.	Caracterización muestra de agua de río Magdalena	105

Tabla 19. Comparación de dosis de coagulante (Quitosano).....	107
Tabla 20. Comparación de tiempos de floculación con otros orígenes de quitosano.....	110
Tabla 21. Análisis de varianza para turbiedad (anova).....	111
Tabla 22. Comparación con límites máximos permisibles de agua para consumo (res. 2115)	114
Tabla 23. Encuesta de residuo de pescado.....	129
Tabla 24. Producción de escamas de pescado.....	132
Tabla 25. Resultados de prueba potenciométrica.....	136
Tabla 26. Información de dosis a estudiar.....	141
Tabla 27. Turbiedad final de la muestra (dosis optima).....	143
definido	143
Tabla 28. % Remoción de turbiedad. (dosis optima).....	144
Tabla 29. Ensayo determinación tiempo de floculación.....	146
Tabla 30. Información inicial prueba de tiempo de floculación.....	147
Tabla 31. % Remoción determinación tiempo de floculación.....	147
Tabla 32. ficha técnica de equipos.....	152

Figuras

Figura 1. Ejemplos biológicos de polimorfismo de la quitina en la naturaleza.....	25
Figura 2. estructura química de la quitina (a) y celulosa (b).....	26
Figura 3. estructura química del quitosano.....	29
Figura 4. reacción de la desacetilación de la quitina.....	31
Figura 5. esquema elemental de la producción de los derivados de la quitina.....	38
Figura 6. aplicaciones de la quitina y el quitosano.....	40
Figura 7. aglomeración de las partículas coloides.....	42
Figura 8. Tiempo de mezclado.....	45
Figura 9. Fuerzas de Atracción y Repulsión.....	47
Figura 10. Re-estabilización de partícula.....	48
Figura 11. Atrapamiento de las partículas en un Floc.....	49
Figura 12. Efecto de puente de las partículas en suspensión.....	50
Figura 13. coagulación por adsorción.	50
Figura 14. Potencial zeta en la coagulación por adsorción.	51
Figura 15. coagulación por barrido.....	52
Figura 16. Potencial zeta en la coagulación por barrido.	53
Figura 17. reacciones de sulfato de aluminio con alcalinidad del agua.	55
Figura 18. porcentaje de almidón, proteínas, fibras y cenizas de algunas fuentes de almidón...	63
Figura 19. floculación.....	65
Figura 20. sedimentación.....	69
Figura 21. diagrama de flujo de producción de quitosano	73

Figura 22. mecanismo de reacción que interpreta la reacción de desacetilación de la quitina para obtener quitosano. a) reacción generalizada, b) detalle del mecanismo de reacción	77
Figura 23. diagrama de flujo de desacetilación de la quitina para la obtención de quitosano aplicando el método químico homogéneo	79
Figura 24. Proceso de despigmentación.....	86
Figura 25. Proceso de desproteinizada	87
Figura 26. Proceso de desacetilación.....	88
Figura 27. materia prima des pigmentada antes y despues	95
Figura 28. materia prima desproteinizada.....	96
Figura 29. comparacion de otras materias primas de quitina.....	99
Figura 30. materia prima desacetilación	101
Figura 31. Grafica ($\Delta\text{pH}/\Delta\text{V}$)	102
Figura 32. Determinación de dosis optima de coagulante.	106
Figura 33. Resultados de prueba de jarra dosis de coagulante 300 mg/l.	107
Figura 34. Efecto del tiempo de floculación. remoción de turbiedad	109
Figura 35. Diagrama de Pareto estandarizado para turbiedad.....	112
Figura 36. Efectos principales para turbiedad (tiempo de floculación y dosis de coagulante) ...	113
Figura 37. caracterización inicial de agua de rio (alcalinidad)	133
Figura 38. caracterización inicial de agua de rio (pH y Color).....	134
Figura 39. caracterización inicial de agua de rio (Dureza).....	134
Figura 40. preparación de sustancia para prueba potenciométrica. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 41. prueba potenciométrica.	135

Figura 42. Resultados de prueba de jarra.....	138
Figura 43. Resultados de prueba de jarra dosis de coagulante 200 mg/l.	138
Figura 44. Resultados de prueba de jarra dosis de coagulante 250 mg/l	139
Figura 45. Resultados de prueba de jarra dosis de coagulante 350 mg/l.	139
Figura 46. Resultados de prueba de jarra dosis de coagulante 400 mg/L.	140
Figura 47. Resultados de prueba de jarra dosis de coagulante 450 mg/l	140
Figura 48. Muestras para % de proteína. Método Kjeldahl	149
Figura 49. Procedimiento Kjeldahl	150
Figura 50. resultados ante de titulación. Método Kjeldahl	150
Figura 51. resultados después de titulación. Método Kjeldahl.....	151
Figura 52. (a)resultados antes del proceso de determinación de cenizas. (b) resultados después del proceso de determinación de cenizas	151
Figura 53. resultados después del proceso de determinación de cenizas (pesaje).....	152

1. Introducción

El agua denominada “potable”, debe ser aceptable desde el punto de vista organoléptico, es decir, estar exenta de turbidez, de color y de sabor perceptibles, y debe tener una temperatura razonable (Resolución 631 del 2015). Las aguas naturales, raramente son de calidad satisfactoria para el consumo humano o el uso industrial, por lo cual no todas son aptas para el consumo y casi siempre deben ser tratadas (*Kiely, 1999*), haciéndose necesario su tratamiento, mediante la combinación de procesos físicos y químicos que requieren el uso de coagulantes como el sulfato de aluminio; sustancia que cumple eficientemente su función, pero es bioacumulada por los humanos afectando la salud.

Para tratar esta agua se recurre a los procesos de coagulación y floculación, la coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión es decir facilitar su aglomeración. La floculación tiene por objetivo favorecer con la ayuda de la mezcla lenta el contacto entre las partículas desestabilizadas; Estas partículas se aglutinan para formar un floc que pueda ser fácilmente eliminado por los procedimientos de decantación y filtración (*Andia, 2000*). La coagulación es el proceso más importante en el tratamiento convencional del agua, su aplicación incluye la remoción de especies en suspensión, mediante la adición de coagulantes químicos, cuyo uso trae desventajas asociadas a altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo y el hecho de que afectan el pH del agua tratada (*Flaten, 2001*). También existe evidencia que relaciona a los coagulantes a base de aluminio (si la concentración excede 0,110 mg/l), con el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer en los seres humanos, debido a la presencia de aluminio residual en el agua tratada (*Miller, 1984*).

Buscando alternativas para estos coagulantes químicos, se encuentra el uso de polímeros de origen orgánico, de larga cadena y de alto peso molecular; Siendo usado en reemplazo de los coagulantes inorgánicos, los biopolímeros se presentan como una opción ecológica para el tratamiento de aguas (*Yee et al., 2015*). El quitosano, entre estos polímeros, se ha propuesto como sustituto de coagulantes convencionales como es el caso de polielectrolitos (*Ebeling et al., 2006*) y sales metálicas (*Quintana, 2000*). El quitosano es un polisacárido de alto peso molecular, carga catiónica y abundante en la naturaleza, que al adicionarse al agua reacciona con las partículas cargadas negativamente permitiendo su eliminación (*Ma et al., 2016; Lárez, 2006*).

Tradicionalmente, la fuente primaria de quitosano proviene de los subproductos en la industria pesquera (*Balanta, 2010*). En la actualidad, las industrias procesadoras de pescado y mariscos son grandes generadoras de desechos sólidos debido a que el 75% al 85% del peso vivo de los mariscos y peces son conchas, cabezas y patas que se convierten en una carga económica debido a que contaminan el medio ambiente (*Asbjorn Gildberg, 2001*). Estos residuos contienen desde el 14% al 35% de quitina (*Pastrana Bonilla, 2010*), siendo el biopolímero natural después de la celulosa que se ha encontrado (*A. Paulino, 2006*).

Por lo expuesto anteriormente, se va a trabajar con escamas de pescado de Mojarra Lora (*Oreochromis niloticus*), como alternativa a la utilización de coagulantes químicos en el tratamiento de agua potable; Teniendo en cuenta que se encontró que todos los coagulantes naturales empleados son eficientes, seguros, económicos y no afectan significativamente las variables (pH, conductividad y OD) en el tratamiento de las aguas de consumo (*Fuentes, et al., 2016*), con una menor generación de lodos, gracias a los mecanismos de adsorción y la neutralización de cargas que ofrecen las biomásas de origen vegetal, y cumplen muy bien en la reducción de la turbiedad (*Molina, 2016*).

2. Planteamiento del problema

En Barranquilla, ciudad capital industrializada, el mal manejo de residuos sólidos se suma a los problemas ambientales que se manifiestan en la ciudad, siendo el principal problema ambiental que aqueja a la ciudad y al departamento, la contaminación de los recursos hídricos, derivado del mal manejo de los residuos sólidos. En una entrevista Víctor Téllez, presidente seccional de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACODAL), asegura que la contaminación hídrica es un problema muy serio que cada día se está volviendo más intolerable.

Centrándonos en la actividad de procesamiento industrial de los productos de la pesca, (pescados, langostino, camarón, centolla, entre otros) y moluscos cefalópodos (calamar), estos generan actualmente una gran cantidad de residuos, que suponen a nivel mundial, un grave problema medioambiental (*Tello Palma, 2017*). Se estima que la industria mundial de captura, la acuicultura y el procesamiento de crustáceos y moluscos genera anualmente aproximadamente 144 x 10⁴ toneladas de desechos quitinosos sólidos, donde Iberoamérica produce aproximadamente un 12 % de esa cifra (*Berghoff, 2011*).

Teniendo en cuenta estos factores, surge la necesidad de encontrar una solución para potabilizar el agua, que en gran medida llega contaminada de desechos, producto de la pesca, mediante un coagulante que no genere metales; Pues en las industrias alimenticias para el tratamiento de aguas residuales, especialmente para la precipitación de partículas coloidales se emplean coagulantes químicos como el Sulfato de Aluminio o Policloruro de Aluminio, ambos son eficaces y económicos, pero su empleo puede causar un aumento en el contenido de aluminio en los efluentes ocasionando impactos sobre la salud humana a largo plazo (*Fuentes et al, 2008*).

Se considera, que en la década de los 70 la necesidad de dar una respuesta a la creciente concentración de los desperdicios de las industrias pesqueras, estimularon investigaciones en torno a las distintivas propiedades de la quitina, sus derivados y el potencial de estos polímeros naturales, que sirven para el tratamiento del agua potable (*Garcia, 2016.*). Actualmente las principales fuentes de desechos mundiales son aprovechadas para producir quitina y quitosano comercialmente a partir de los crustáceos.

El Quitosano es un polímero natural Biodegradable, donde múltiples investigaciones lo identifican como un coagulante-floculante eficaz para el tratamiento de aguas residuales industriales, donde reportan una remoción del 70 al 98% del material suspendido y una reducción de la turbidez del 95 al 99% (*Márquez et al., 2019*); Dicho material puede ser obtenido por el tratamiento químico o enzimático de las escamas de pescado, cáscaras de camarón y otros mariscos, estos residuos son generados en grandes volúmenes por industrias empacadoras de éstos productos que no tiene un aprovechamiento final y pasan a ser parte de la contaminación ambiental.

¿Cuál sería el desempeño del quitosano obtenido de escamas de Mojarra Lora (*Oreochromis niloticus*), como coagulante natural en la potabilización de agua?

3. Justificación

Actualmente existe una creciente contaminación acuífera, atribuible al incesante desarrollo industrial y al aumento acelerado de la población, generando grandes volúmenes de contaminantes, afectando la capacidad de auto depuración de los cuerpos de agua y la progresiva disminución de agua apta para el consumo humano (*Cabarcas et al, 2011*). Esta contaminación proviene de las fábricas e industrias que vierten aguas residuales con elevados volúmenes de contaminantes inorgánicos y orgánicos; y las industrias procesadoras de pescados presentan dentro de sus principales problemas la disposición final de los desechos generados, a partir de esqueleto, aletas, cola y vísceras de pescados(*Tello Palma, 2017*).

Para tratar estas aguas, se utilizan coagulantes químicos, siendo en su mayoría los más usados las sales de hierro o aluminio, los cuales dejan remanentes en los lodos que se generan, además de afectar significativamente el pH del agua tratada, en muchos casos la adquisición de estos coagulantes genera altos costos. El coagulante más usado es el sulfato de aluminio, el cual presenta muy buenos resultados en cuanto a la remoción de contaminantes, sin embargo, el impacto económico y medioambiental debido a su uso es muy alto (*Donato et al, 2006*).

Por otra parte, los lodos remanentes generan tierras inertes no aptas para algún cultivo; Los altos niveles de aluminio remanente en las aguas tratadas ponen en riesgo la salud pública debido a que en grandes cantidades pueden ser causantes del síndrome de Alzheimer (*Flaten, 2001*), lo cual ha sido demostrado en investigaciones médicas realizadas en Inglaterra, donde se ha encontrado que el riesgo de contraer esta enfermedad es 1,5 veces mayor en aquellos sitios donde las concentraciones de aluminio en el agua exceden los 0,110 mg/l (*González et al, 1991*).

En vista de lo expuesto anteriormente, la presente propuesta está enfocada en el aprovechamiento de dichos residuos, que tienen una mala disposición final (desechados), estableciendo una oportunidad de desarrollo industrial, y a la vez, una solución inteligente para el problema ambiental que los mismos producen; Generando una alternativa al tratamiento de aguas, por medio de un coagulante natural que permitirá la remoción de parámetros como turbidez y color, mediante la utilización de escamas de pescados Mojarra Lora (*Oreochromis niloticus*), sustituyendo los procedimientos usados en las plantas de tratamiento mediante el uso de sulfato de aluminio como coagulante, el cual causa daños a la salud pública (Alzheimer), debido a la relación directa que tiene el aluminio con el agua (La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha determinado que la cantidad de aluminio en polvo que respiran los trabajadores no debe exceder 15 mg /m³ (polvo total) y 5 mg /m³ (fracción respirable) de aire durante un jornada diaria de 8 horas, 40 horas a la semana) (Márquez Rivera, 2019).

Buscando una solución para la utilización de estos residuos que son desechados, se plantean las escamas de pescado como fuente de materia prima para la obtención de quitosano, pretendiendo mitigar el impacto ambiental creado por estas industrias pesqueras o negocios dedicados a la comercialización de pescado ubicadas en la ciudad de Barranquilla/ Atlántico (Colombia), en el centro (Plaza del pescado, mercado).

La quitina y el quitosano pueden considerarse como un nuevo tipo de materiales poliméricos biofuncionales que son ambientalmente benignos (tello palma, 2017) y que poseen mayor número de potenciales aplicaciones en diferentes campos, como sus aplicaciones tecnológicas y biomédicas, debido a su biocompatibilidad, baja toxicidad, biodegradación y bioactividad (Mandujano, 2020), más aún, es un material abundante, renovable y su producción

es de bajo costo y de interés ecológico y puede ser transformada y utilizada como un biopolímero renovable, que se obtiene en forma de fibra, película, esponja o en polvo.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Desarrollar un coagulante natural a base de escamas de Mojarra Lora (*Oreochromis niloticus*), con el fin de aplicarlo en las etapas de coagulación-floculación.

4.2. Objetivos específicos

- Extraer el quitosano de las escamas de Mojarra Lora (*Oreochromis niloticus*), para uso en el tratamiento de agua cruda a potabilizar.
- Determinar la eficiencia del coagulante generado a base de escamas de pescado con el fin de observar su desempeño a través de un tratamiento de coagulación - floculación.

5. Antecedentes

La quitina es un polisacárido lineal nitrogenado, de origen natural, blanco, duro y cristalino. Fue aislado por primera vez por Braconnot en 1811, a partir de hongos superiores, y por su origen la denominó “*fungina*”. Químicamente se trata de un polímero de alto peso molecular compuesto por unidades de N-acetil-2-amino-2-desoxi-D-glucosa unidas entre sí por enlaces glicosídicos β (1 \rightarrow 4) formando una cadena lineal. Algunas de las unidades monoméricas se encuentran desacetiladas (Tello Palma, 2017). Se puede encontrar en forma natural en las paredes celulares de algunas plantas y hongos, por ejemplo, en el *Mucor rouxii* y *Choanephora cucurbitarum* con 30 y 28 % de quitosano, respectivamente (ver figura 1)

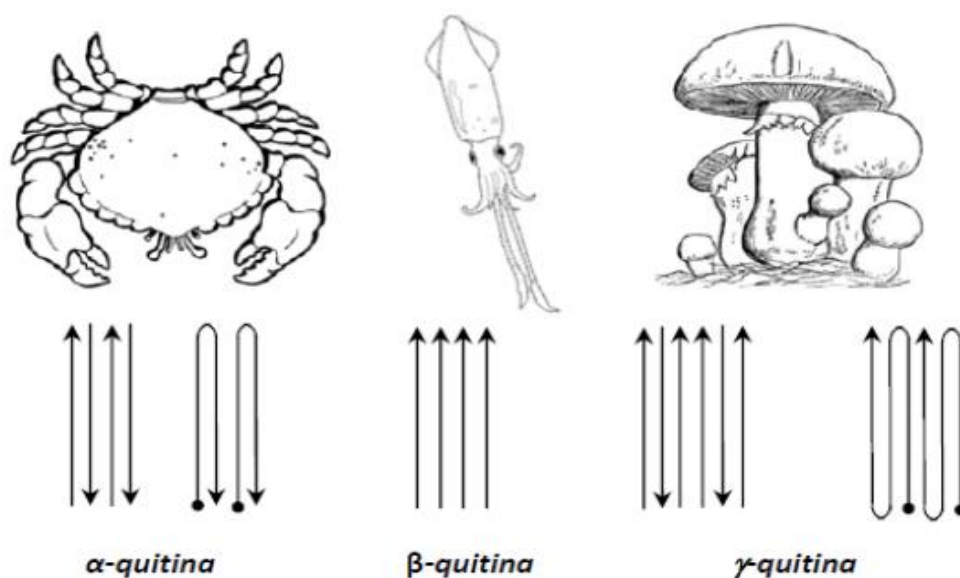


Figura 1. Ejemplos biológicos de polimorfismos de la quitina en la naturaleza. Fuente: Berghoff (2011).

Nota. La figura muestra algunos de los diferentes orígenes en los cuales se puede encontrar quitosano en la naturaleza.

La quitina se diferencia estructuralmente de la celulosa en la presencia de un grupo N-acetamida (-NH-CO-CH₃) en lugar del grupo hidroxilo (OH-) en el carbono en posición (2) de la

unidad de glucosa de la celulosa. Si bien la quitina y la celulosa desempeñan un rol semejante como materiales de soporte y defensa en los organismos que los contienen, la celulosa es sintetizada preferentemente en plantas, mientras que la quitina se encuentra presente en varios grupos taxonómicos, principalmente en animales inferiores (figura 2). Comúnmente se la encuentra en el exoesqueleto o cutícula de varios invertebrados (artrópodos y moluscos entre otros), así como también en las paredes celulares de la mayoría de los hongos y algunas algas (Berghoff, 2011).

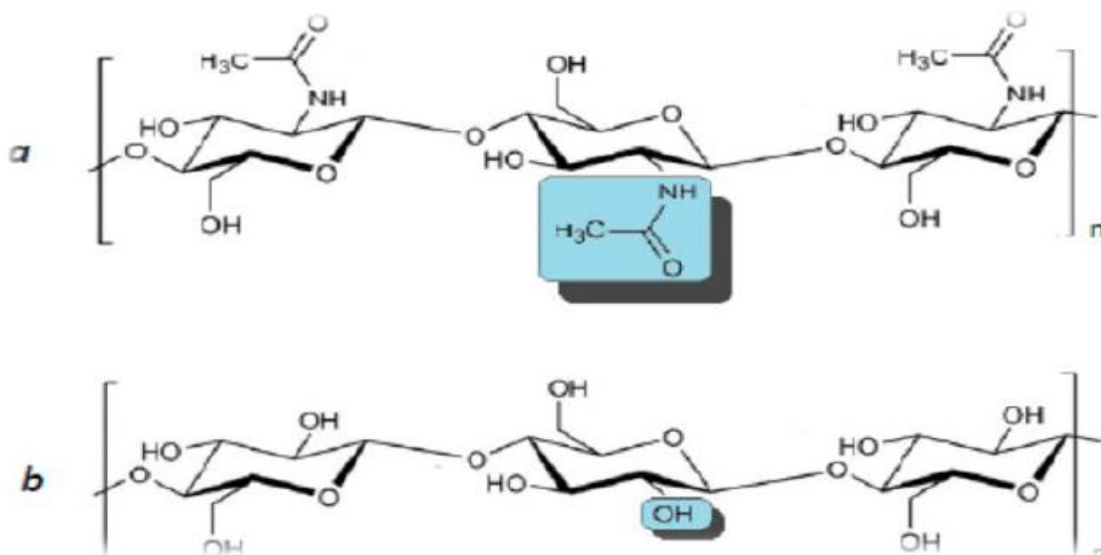


Figura 2. Estructura química de la quitina (A) y celulosa (B). Fuente: (Berghoff, 2011).

Nota. La figura muestra la estructura de la quitina (a) y la celulosa (b), para poder mostrar la ausencia del grupo N-acetamida ($-\text{NH-CO-CH}_3$) en la celulosa.

La quitina es el polisacárido natural más abundante en términos de ocurrencia estática luego de la celulosa y primero por su tasa de regeneración en la biósfera, que se estima el doble de la celulosa (2.3×10^9 toneladas/año sólo para crustáceos). Se produce por biosíntesis y las enzimas involucradas en su formación y degradación están identificadas; para aislar el

biopolímero de su matriz biológica original serán necesarios sucesivos procesos de extracción y purificación.

Cerca del 10 por ciento de los productos acuáticos pesqueros mundiales consisten en especies ricas en material quitinoso. En la actualidad la fuente industrial principal de quitina, son los exoesqueletos de muchos crustáceos (cangrejos, langosta, calamares, camarones, langostinos, etc.) debido a la facilidad de encontrar estos materiales como desecho de las plantas procesadoras de estas especies, tal como se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1

Composición química porcentual de las principales fuentes de materia prima de la quitina.

Origen	Composición química (%)				
	humedad	proteínas	cenizas	lípidos	quitina
<i>Caparazones de jaiba y cangrejo</i>					
<i>Callinectes</i> <i>sapidus</i>	46.8	7	38.5	0.4	7.3
<i>Paralithodes</i> <i>camtschaticus</i>	50	11	23	0.5	15.5
<i>Chionectes</i> <i>opilio</i>	---	10.3	57.9	1.35	26.65
<i>Camarón (langostino) penaus sp.</i>					
<i>cabeza</i>	77.04	12.9	5.2	2.06	2.8
<i>Cascara</i>	65	22.1	9.2	0.5	6.2
<i>Krill euphasia</i> <i>superba</i>	---	41	23	11.6	24

<i>Langosta</i>					
<i>Linuparus</i>	13.5	17	54.7	n. r	---
<i>trigonus</i>					
<i>Palinurus</i>	11.8	11.0 – 4.0	55	---	10.6
<i>argus</i>					
<i>Pluma de calamar</i>					
<i>Dosidicus</i>					
<i>gigas</i>	60	24.16	0.4	0.26	18.9
(<i>calamar</i>					
<i>gigante</i>)					
<i>Loligo sp.</i>					
(<i>calamar</i>	50	32.75	0.25	---	17
<i>común</i>)					
<i>Escamas de peces</i>					
<i>Tilapia de</i>					
<i>Nilo</i>	13.08	54.25	36.06	0.34	---
(<i>oreochromis</i>					
<i>niloticus</i>)					
--- (valor no registrado)					

fuelle: (Márquez Rivera, 2019) Nota. Esta Tabla muestra la composición química de diferentes fuentes de origen de quitina. Esta Tabla sirve de referencia para hacer comparaciones de resultados.

El quitosano fue descubierto por Rougel en 1859, quien encontró que al tratar la quitina con una solución caliente de hidróxido de potasio se obtiene un producto soluble en ácidos orgánicos, esta quitina modificada, como él lo llamo, se tornaba color violeta en soluciones

diluidas de yoduro y ácido, mientras la quitina era de color verde. Pero no es hasta 1894 cuando Hoppe-Seyler sometió la quitina a reflujo a 180 °C en hidróxido de potasio y observo que el producto que se formaba era bastante soluble en ácido acético y clorhídrico y lo denominó quitosano (*Medina, 2005*).

El quitosano es un polisacárido lineal que se obtiene por desacetilación extensiva de la quitina (figura 3). Si bien no existe una especificación comúnmente aceptada, se lo describe como un copolímero compuesto por dos tipos de unidades estructurales, la N-acetil-D-glucosamina y la D-glucosamina, unidas entre sí por enlaces glicosídicos del tipo β (1 \rightarrow 4), las cuales se distribuyen de manera aleatoria (distribución Bernouliana) y varían en su proporción a lo largo de la cadena.

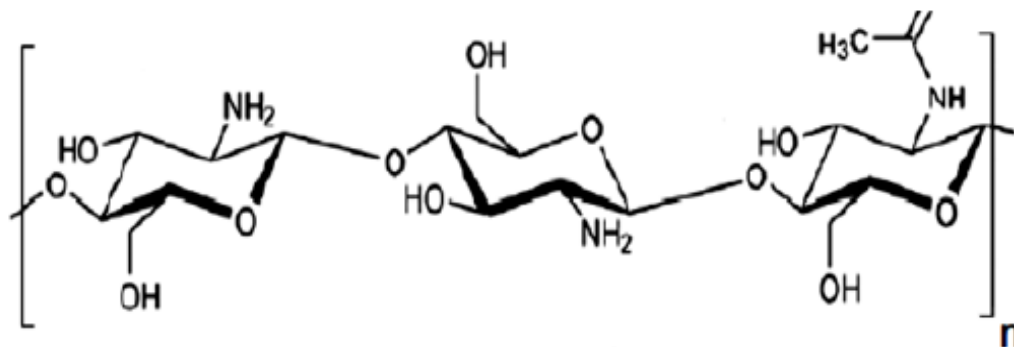


Figura 3. Estructura química del quitosano. fuente: (Berghoff, 2011)

Nota. Esta figura muestra la estructura química del quitosano, a modo de diferenciarlo de la quitina.

Lo que usualmente se conoce como quitosano no es una entidad química única y definida, sino que es una familia de quitinas que varían entre sí su composición y tamaño molecular y poseen diferente grado de desacetilación (*Larez, 2006*).

El quitosano, en contraste a la quitina, se encuentra muy raramente presente en la naturaleza, se puede encontrar en forma natural en las paredes celulares de algunas plantas y hongos, por ejemplo, en el *Mucor rouxi* y *Choanephora cucurbitarum* con 30 y 28% de quitosano, respectivamente. También, dos diatomeas marinas, *Cyclotella cryptica* y *Thalassiosira fluviatilis* han demostrado ser una fuente de quitosano puro que no se asocia a las proteínas, donde llega a representar hasta un tercio de su peso (Rinaudu, 2006). Sin embargo, la fuente más importante de quitosano, a nivel industrial, lo constituye la quitina, la cual, mediante un proceso de desacetilación química o enzimática, ha permitido producirlo a gran escala (Lárez 2006).

El quitosano se obtiene mediante el procesamiento tradicional de los caparzones de crustáceos involucra la remoción de proteínas con hidróxido de sodio diluido y la disolución del carbonato de calcio presente en altas concentraciones con ácido clorhídrico. La quitina es luego decolorada exponiéndola al sol o bien con permanganato de potasio y ácido oxálico. Finalmente, el producto es desacetilado con hidróxido de sodio concentrado y a altas temperaturas para obtener el quitosano. Este tratamiento produce quitosano con un grado de desacetilación cercano al 70% (Tello Palma, 2017).

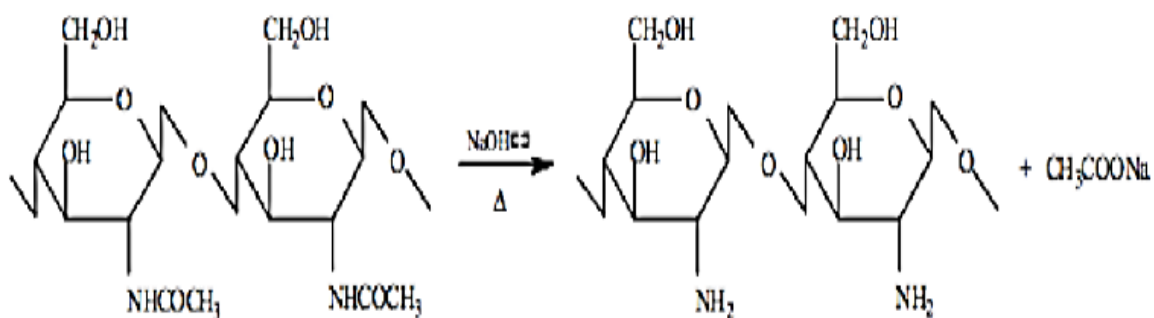


Figura 4. Reacción de la desacetilación de la quitina. *fuentes: (Berghoff, 2011) Nota.* la presente figura ilustra la reacción que ocurre durante el proceso de desacetilación de la materia prima para obtener quitina.

Esta reacción consiste en la pérdida del resto acetilo del grupo amido del carbono 2 (figura 4), mientras queda un grupo amino en esa posición, por ello el comportamiento marcadamente básico debido al grupo amino libre en su estructura, lo cual además le proporciona ciertas características fisicoquímicas de gran interés industrial (ver Tabla 2).

Tabla 2

Propiedades de la quitina y quitosano.

PROPIEDADES DE LA QUITINA Y QUITOSANO					
Propiedad	Quitina (*)	Quitosano (*)	Quitina (**)	Quitosano (***)	Quitosano (****)
PM(g/mol)	$1 \times 10^6 - 2.5 \times 10^6$	$1 \times 10^5 - 5 \times 10^3$		5200.96	1.01×10^5
Humedad	8 - 10	6 - 7	2.12 ± 0.01		
solubilidad	DMCA- LiCl/TCA-MC	Ácidos diluidos		75% en HAC	

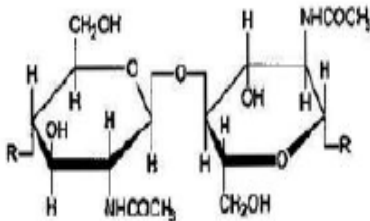
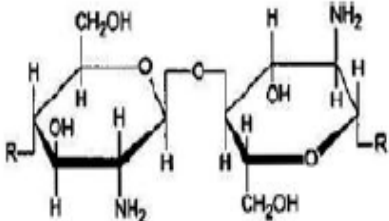
Fuente: (chatelete et al., 2001, citado por Berghoff, 2011) *Nota.* La presente Tabla presenta las propiedades de diferentes orígenes de la quitina y quitosano, a manera de tener presente para comparación.

Los métodos de producción y el origen son los principales responsables de estas diferencias (Tabla 3) y, por tanto, la caracterización física y química del quitosano es fundamental debido a que estos parámetros están relacionados con la funcionalidad (*Chatelete et al., 2001, citado por Berghoff, 2011*).

Tabla 3

Propiedades generales y comparación entre la quitina y el quitosano.

COMPARACIÓN	QUITINA	QUITOSANO
Forma molecular.	$(C_6H_{13}O_5N)_n$	$(C_6H_{11}O_4N)_n$

Masa molecular.	203 n	161 n
Nombre sistemático.	Poli {β-(1.4)-2-acetamido -2-Desoxi-D-glucopiranosas }	Poli {β-(1.4)-2-desoxi-2-amino-D-glucopiranosas }
apariciencia	Polvo de color amarillento	Polvo de color amarillento o blanco muy fino
Unidad estructural.		
Agua	Insoluble	Insoluble
Alcohol	Insoluble	Insoluble
Ácido acético	Insoluble	Altamente soluble
Ácido oxálico	Insoluble	soluble
Ácido clorhídrico	insoluble	soluble

Fuente: (Berghoff, 2011) .Nota: la Tabla actual expone una comparación entre la quitina y el quitosano, que sirve para conocer la manera de como trabajarla experimentalmente y que tipos de sustancias se pueden utilizar.

Los métodos de producción y el origen son los principales responsables de estas diferencias y, por tanto, la caracterización física y química del quitosano es fundamental debido a que estos parámetros están relacionados con la funcionalidad (Chatelete et al., 2001, citado por Berghoff, 2011).

A diferencia de la quitina, el quitosano es soluble en agua en un medio ácido. La ventaja del quitosano frente a otros polisacáridos (celulosa, almidón galactomananos, etc.) es que su estructura química permite modificaciones específicas sin demasiadas dificultades. Cabe destacar que grupos específicos pueden ser introducidos en el diseño de polímeros para determinadas

aplicaciones, puesto que es un material fungicida, antiviral, biocompatible, biodegradable, antimicrobiano, no tóxico, emulsionante, absorbente de grasas, absorbente de metales contaminantes, filmogénico, etc (*Lin et al, 2001*).

En una de sus primeras aplicaciones en control ambiental, el quitosano ha sido empleado como un efectivo agente coagulante en reactores de lodo activado en plantas de tratamiento biológico secundario de aguas de origen doméstico e industrial. El mayor impacto en control ambiental de la quitina y el quitosano es el potencial que poseen en sistemas de tratamientos de aguas residuales que contienen metales tales como Cu (II), Cd (II), Zn (II), Pb (II), Fe (III), Mn (II), Ag (I). Este hecho se debe a la capacidad que presentan estos polímeros de sufrir reacciones de quelación con ellos (*Tello Palma, 2017*).

6. Estado del arte

Algunas investigaciones en el ámbito internacional se han realizado para el aprovechamiento de las escamas con el fin de obtener biopolímeros como son la quitina y el quitosano, productos utilizados en las industrias cosmética, farmacéutica, bioquímica, biomédica, y para el tratamiento de aguas residuales, entre otros usos (*Lárez Velásquez, 2003*).

Proporcionando la ingesta del 1% de quitosano en la composición dietética mejoras el sistema inmune y la capacidad de supervivencia en la carpa común (*Gopalakannan et al., 2006*).

Siguiendo directrices tanto a nivel nacional (Colombia), como internacional, se promueve la investigación para la recuperación, eliminación y reutilización de los residuos sólidos generados en el procesamiento de peces (*Centro de Cooperación del Mediterráneo de UICN, 2007*).

En efluentes agrícolas se ha logrado remover hasta un 99% en los sólidos suspendidos totales al usar quitosano como adsorbente y coagulante (*Mohd et al., 2007*). Por otro lado, el quitosano se ha estudiado como inmunopotenciador y estimulante del crecimiento en peces (*Lin et al., 2011*). Uawonggul, *et al.* (2011) obtuvieron estos biopolímeros a partir de escamas de tilapia (*Oreochromis niloticus*) con el fin de tratar aguas residuales. Por otro lado, Muslim, *et al.* (2013), obtuvieron quitosano y carboxiquitosano a partir de escamas de *Labeo rohita*, demostrando que es viable obtener este polímero a partir de las escamas de peces, ya que la mayor síntesis industrial para la obtención de estos polímeros se lleva a cabo a partir de los caparazones de crustáceos. Es decir, los residuos que salen del sistema de producción acuícola pueden ser aprovechados como suministro de alimento en las especies acuáticas cultivadas (*Hargreaves, 2013*). Además de ser utilizados como coagulantes en efluentes de la industria harinera de pescado, logrando remociones del 97.78% de SST y 97.79% de SSV (*Arias et al., 2014*).

Álava (2015), en su investigación “Eficiencia del Quitosano como coagulante en agua residuales de una industria procesadora de harina”, evaluaron la eficiencia del Quitosano como coagulante midiendo la reducción de la concentración de los parámetros físico-químicos DQO, DBO5, Turbidez, ST, SST, entre otros; el Quitosano usado en el tratamiento se obtuvo de los caparazones de cangrejos, posteriormente el polímero se regeneró en forma de hidrogel y luego se liofilizó, obteniéndose Quitosano en forma de esponja. Los resultados mostraron que la dosis óptima del Quitosano fue de 250 mg/l alcanzando un porcentaje de remoción del 80.2% de DQO, 98.9% de Turbidez y un 80 % para el color.

Diversas organizaciones mundialmente han desarrollado la acuicultura desde la perspectiva de desarrollo sostenible (*European Comisión, 2015*), ya que se estima que los residuos generados del procesamiento pueden llegar a ser superiores al 50 % del peso total del pez (*Fabienne Guérard, et al, 2005, citado por García, et al., 2016*). Entre estos residuos, las escamas del pez son las menos aprovechadas, a pesar de contener proteínas como colágeno tipo I y apatita (fosfato de calcio, carbonato de magnesio y carbonato de calcio) que pueden ser aprovechados (*Muslim, et al., 2013; citado por García, et al., 2016*).

Cruz et al (2016), Investigaron sobre “El tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con Quitosano producidos a partir de biomasa residual”, para la construcción del filtro utilizado en el proceso experimental usaron 30g del carbón colocado dentro de un soporte de PVC, los resultados demostraron que el filtro redujo eficientemente la concentración de turbidez, cloro residual y las bacterias heterótrofas presentes en el agua potable llegando a valores entre 46.9-68.9%, 87.5-100% y 32.8-66.7% respectivamente, Concluyendo que la capacidad máxima del filtro para el tratamiento del agua

potable teniendo como variable limitante la reducción de las bacterias heterótrofas es de 0.3 L agua/ g de carbón impregnado con Quitosano.

Gerardo Cruz et al (2016) En Ecuador, realizó una investigación titulada “Aplicación de Quitosano como biocoagulante en aguas residuales contaminadas con hidrocarburos”, utilizó el exoesqueleto de la cola del camarón para obtener el Quitosano y luego aplicarlo con biocoagulante en muestras de agua residual de una estación de servicio de la ciudad de Portoviejo contaminada con residuos hidrocarburíferos; Los resultados demostraron que a un pH de 5.5, una dosis de 2 mg de Quitosano/l de muestra y agitación rápida la carga contaminante disminuyó en 98.19%, 78.17%, 91.45% y 99.09% para Turbidez, DQO, color e hidrocarburos respectivamente.

García Zabala (2017), presento su trabajo de titulación “Obtención de Quitosano a partir del exoesqueleto de langostino blanco para el tratamiento de efluentes residuales”, el biopolímero obtenido mediante el proceso de desacetilación química fue evaluado como coagulante de agua residual de una industria procesadora de langostino blanco observando el rendimiento en la remoción de color, obteniéndose el máximo rendimiento a un pH de 7 y 60 ml de una solución de concentración de Quitosano de 1mg/L, concluyendo que mediante los ensayos de coagulación el aumento de pH de Flocculación se obtiene el mayor rendimiento de la remoción de color de aguas residuales (*Campo Vera, 2018*).

Otras investigaciones realizadas en torno al uso de Quitosano para el tratamiento de aguas residuales se tiene el estudio realizado por Díaz, et al (2018) denominado “Uso del Quitosano como coagulante natural para el tratamiento de efluentes generados por la industria textil”, donde evaluaron la eficiencia del Quitosano comercial para la remoción de sólidos

suspendidos y coloides, analizando los porcentajes de remoción de los parámetros SST, DQO, DBO y Turbidez; dicho proceso experimental se realizó con la prueba de jarras en el que se determinó que a una dosis óptima de Quitosano de 135mg/L con un pH de 9 se obtiene los mayores porcentaje de remoción de la carga contaminante en valores de 96.21%, 94.78%, 82.11%, 82.42% para Turbidez, SST, DQO y DBO respectivamente.

En Colombia en el año 2018, estudiaron el efecto de la mezcla de Quitosano y extracto acuoso de cáscara de naranja a distintas concentraciones, definiendo como parámetros de control a evaluar la Turbidez (NTU), DQO, DBO5, SST y SS; los resultados mostraron que en la mezcla de Quitosano y extracto acuoso de cáscara de naranja (50-50) % a un pH de 5.5 la turbidez disminuyó en un 79% (*Campo, et al. 2018*).

7. Marco teórico

Las escamas de pescados son pequeñas y finas placas óseas, de las cuales 1/4 están adheridas en la piel mientras que las otras están superpuestas como tejas en un tejado. La función de la escama es la protección de la piel, tanto de lesiones como de cicloidea la entrada de parásitos o gérmenes. No todas las escamas de los peces son iguales, las de las truchas son redondeada y de superficie lisa. Pero las escamas no son un algo muerto, sino que, si las observamos a través de un microscopio o con algún tipo de lente de aumento, se verá que está formada por unos círculos más o menos concéntricos, denominados “circuli”, los cuales forman unas “bandas o annuli”, que representan una parada estacional del crecimiento, por lo cual la escama contando las bandas se puede determinar la edad del pez. La escama no solo informa de la edad aproximada del pez, sino que son una buena fuente de quitina y quitosano; La quitina se encuentra principalmente en conchas de crustáceos, siendo insoluble en agua o en medios ácidos, su principal fuente de producción es la hidrolisis de la quitina en medio alcalino. En la figura 5 se aprecia los pasos para la obtención del quitosano.

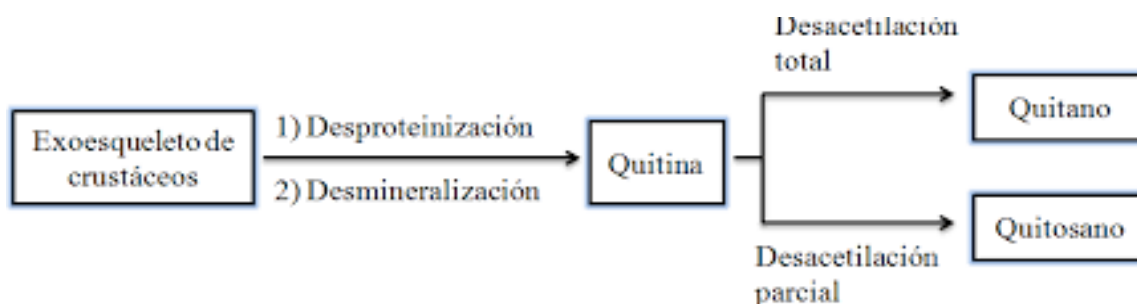


Figura 5. Esquema elemental de la producción de los derivados de la quitina. Fuente: (Márquez rivera, 2019)

Nota: la presente figura muestra el modo de obtener quitina o quitosano, a partir de un ejemplo de exoesqueleto de crustáceos.

En el mundo la industria acuícola representa casi el 50 % de los productos pesqueros existentes, destinado a la alimentación, (*FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014*). Esta práctica se ha caracterizado por un notable crecimiento en la década del 2000, con una producción estimada en el mundo de 2 millones de toneladas en 2010 (*FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2012*); sin embargo, como toda actividad industrial de transformación, en esta se generan una serie de residuos que afectan al medioambiente uno de ellos son las escamas; las cuales, en algunos casos son arrojados a los cuerpos de agua produciendo un aumento en la carga orgánica, o en otros son enterradas, aumentando la proliferación de vectores como moscas y roedores. Entre estos residuos, las escamas del pez son las menos aprovechadas, a pesar de contener proteínas como colágeno tipo I y apatita (fosfato de calcio, carbonato de magnesio y carbonato de calcio) que pueden ser aprovechados (*García, 2016.*) en la figura 6 se muestran algunos usos de la quitina y el quitosano.

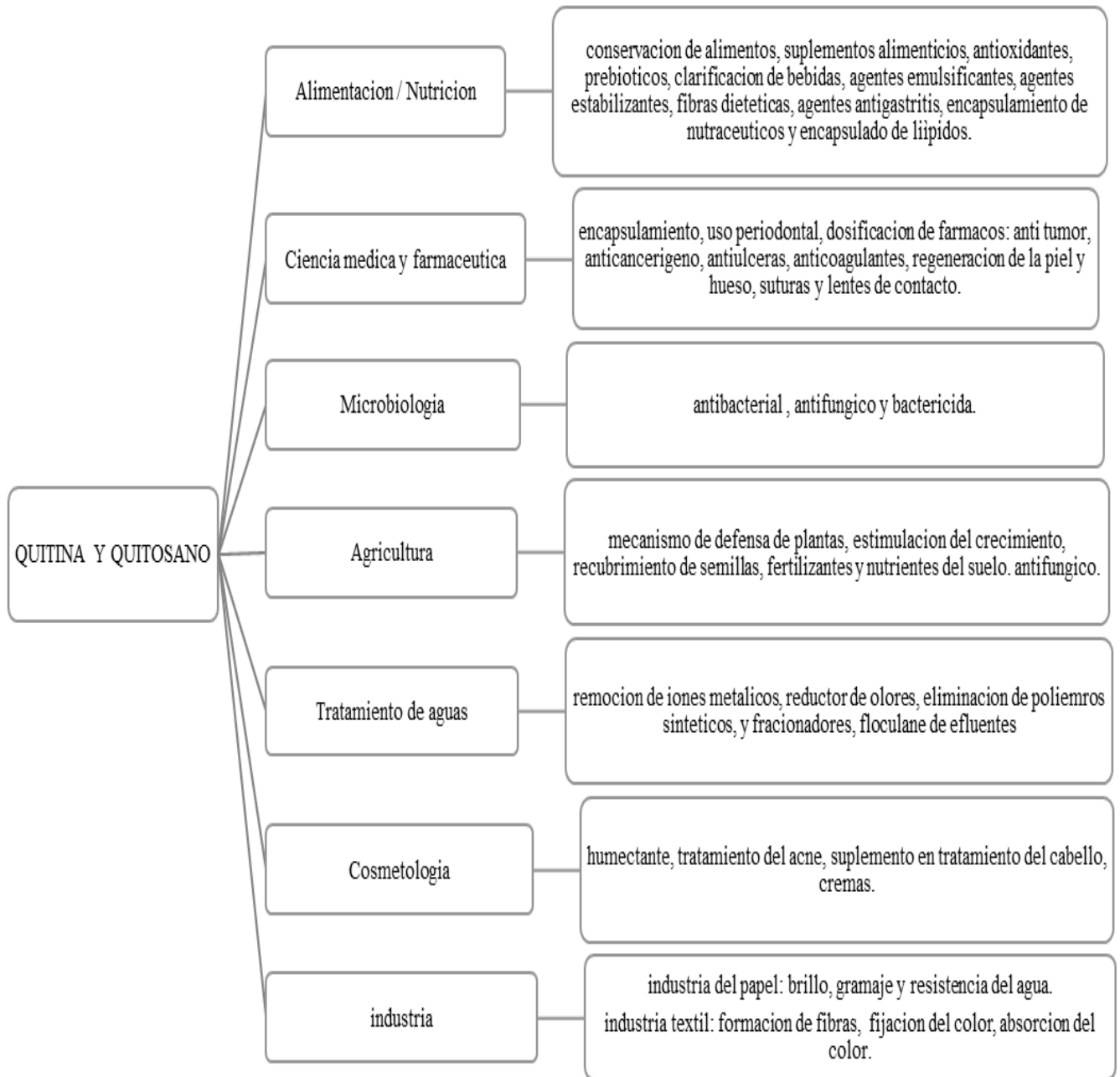


Figura 6 Aplicaciones de la quitina y el quitosano. fuente: (García, 2016.)

Nota. La figura muestra todos los diferentes usos que se le puede dar al quitosano o quitina obtenida en diversos campos, tantos como industrial.

En la Tabla 4 se presentan los métodos de determinación para realizar caracterizaciones fisicoquímicas.

Tabla 4

características fisicoquímicas de quitina y quitosano y métodos de determinación.

Características fisicoquímicas	Métodos de determinación
Grado de acetilación	Espectroscopia IR, espectroscopia UV, espectroscopia RMN, conductimetría, potenciometría, DSC, análisis elemental, cromatografía GPC, dicroísmo circular.
Peso molecular promedio y/o distribución de peso molecular.	Viscometría, cromatografía GPC, dispersión de luz.
Cristalinidad	Difracción por rayos X.
Contenido de humedad	Gravimetría.
Contenido de cenizas	Gravimetría.
Contenido de proteínas	Bradford.

fuentes: (Berghoff, 2011) Nota: la Tabla muestra diferentes métodos para determinar las características fisicoquímicas a estudiar de la producción del quitosano y/o quitina. Conocer algunas de estas características nos ayuda a saber si el procedimiento se está efectuando adecuadamente.

7.1. Coagulación

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

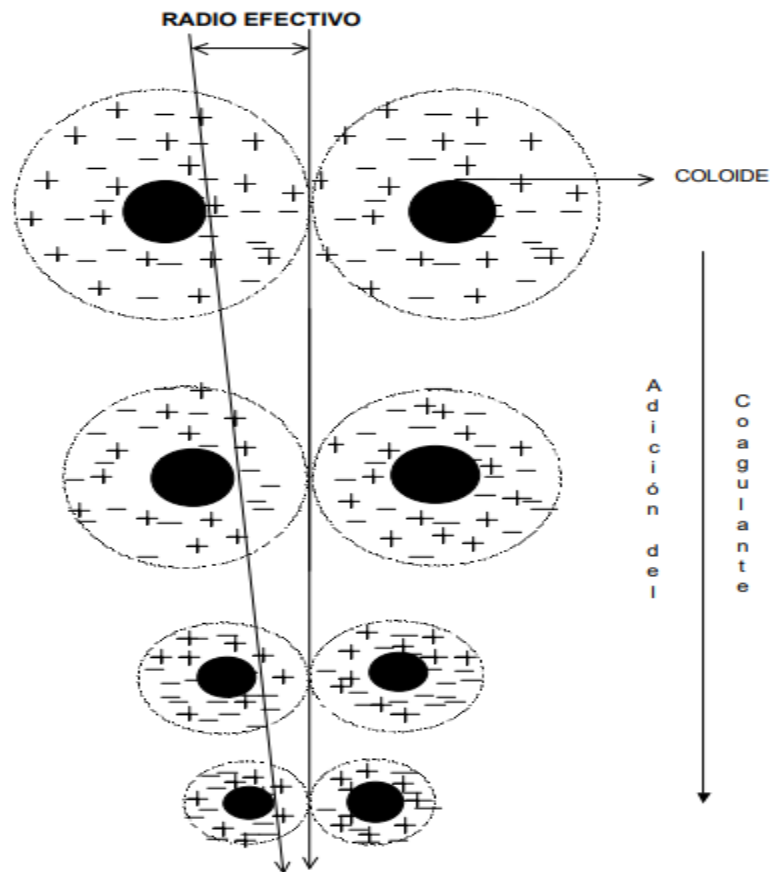


Figura 7 Aglomeración de las partículas coloides. Fuente: (Howe k. J., 2017).

Nota. La figura muestra la forma en que se aglomeran las partículas coloidales al momento de realizar la coagulación.

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos. El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas (*Andia, 2000*).

7.1.1. Factores que influyen en la coagulación.

- **Influencia del pH:** El pH es la variable más importante para tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua (*Donato, et al., 2007*). El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es alta (*Kiely, 1999*).
- **Influencia de la Dosis del Coagulante:** es La cantidad de coagulante a adicionar durante el proceso de potabilización del agua. Debe ser determinada con anterioridad, la cual dependerá principalmente del grado de turbidez que presente el agua a tratar. Esta dosis es considerada como el volumen indicado de coagulante a una concentración determinada con la cual se logrará conseguir la formación de flóculos con mayor compactación y velocidad de sedimentación, lo que a su vez permitirá obtener un mayor porcentaje de reducción de la turbidez (*A. Zambrano and D. Liliana, 2008*).

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación:

- Poca cantidad del coagulante no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microfloculos es muy escaso, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.

Tabla 5

Clasificación del agua, según su comportamiento en la coagulación.

TIPO DE AGUA	TIPO DE COAGULANTE	REQUERIMIENTO
1. baja concentración de coloides, baja alcalinidad.	Formación de precipitado. Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes. Adición de alcalinidad o partículas, o ambas.
2. baja concentración de coloides, alta alcalinidad.	Formación de precipitado. Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes. Adición de partículas.
3. alta concentración de coloides, baja alcalinidad.	Adsorción de polímeros metálicos positivos, en la superficie de los coloides. (pH 4 a 7)	Dosis de coagulante incrementa con concentración de partículas, adición de alcalinidad

4. alta concentración de coloides, alta alcalinidad.	Adsorción de polímeros metálicos	Dosis de coagulante incrementa con concentración de partículas
	positivos y precipitados de hidróxidos ($\text{pH} > 7$)	

Nota. La actual Tabla indica las diferentes floc que se van a obtener, dependiendo del tipo de agua con que se trabaje y da recomendaciones, para cada tipo de coagulante. *Fuente:* (Andia, 2000).

- **Influencia de Mezcla:** es una parte importante de los procesos de coagulación y floculación. La coagulación se realiza en una mitad de mezclado rápido que está diseñada para que el coagulante y las partículas se adhieran de manera eficiente, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 seg, máx.), tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar, como se aprecia en la figura 8 (Dumez, 1985), y la floculación se efectúa en depósitos diseñados para hacer que las partículas entren en contacto entre sí y formen partículas más grandes (microfloculos) que puedan eliminarse por separación gravitacional o filtración (Howe k. J., 2017).

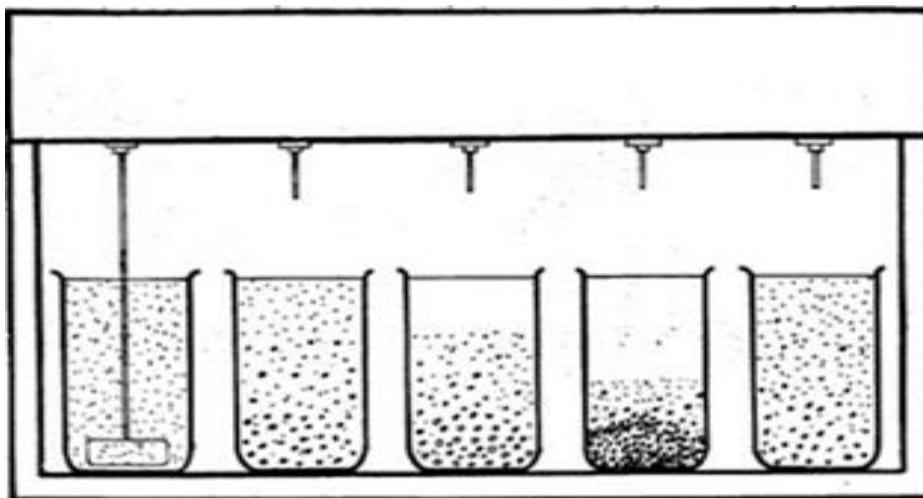


Figura 8. Tiempo de mezclado. fuente:(lex nova, 2008).

Nota. La figura muestra el modo en que se efectúa el tiempo de mezclado en el proceso de coagulación.

- **Influencia de la temperatura:** La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación (*Andia, 2000*).

Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc.

- **Influencia de la turbiedad:** Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima. Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario, cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta (*Andia, 2000*).

7.1.2. Mecanismos de coagulación.

La desestabilización de las partículas coloides se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- **Compresión de la doble capa:** Cuando se aproximan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de

carga opuesta al de las partículas, esto se consigue sólo con los iones del coagulante (Ver Fig. 9).

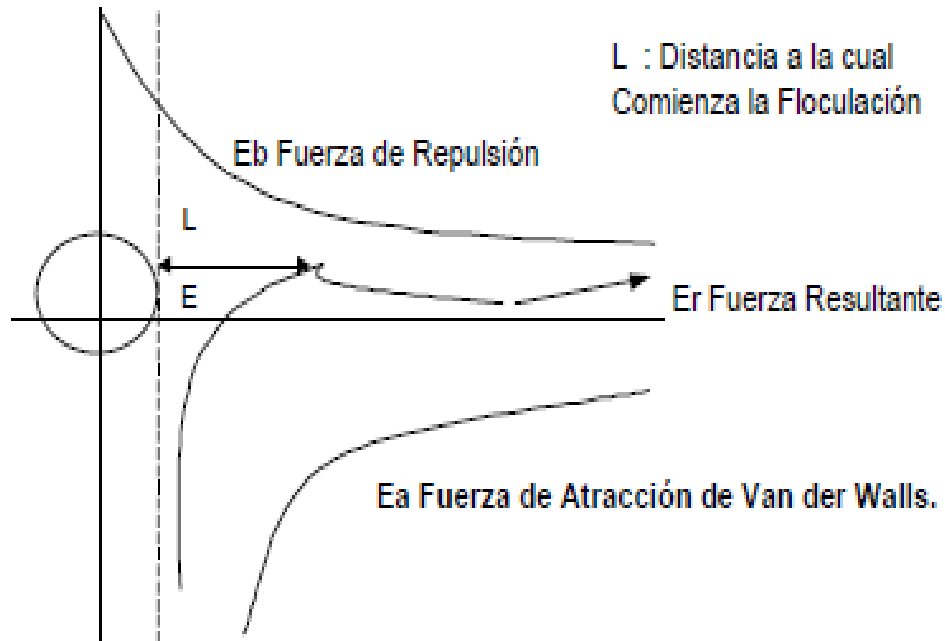


Figura 9. Fuerza de atracción y repulsión. fuente: (A zambrano and d. Liliana, 2008)

Nota: la presente figura presenta uno de los diferentes mecanismos que puede suceder durante la coagulación, al unirse dos partículas.

Existe por otro lado un potencial de atracción o fuerzas de atracción Ea , entre las partículas llamadas fuerzas de Van der Walls, que dependen de los átomos que constituyen las partículas y de la densidad de estos últimos. Contrariamente a la distancia que separa a las partículas es superior a "L", entonces las partículas, no se atraen. E es la energía que los mantiene separados (A. zambrano and d. Liliana, 2008).

- **Absorción y neutralización de cargas:** Las partículas coloidales poseen carga negativa en sus superficies, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide.

Cuando se adiciona un exceso de coagulante al agua a tratar, se produce a la re-estabilización de la carga de la partícula; esto se puede explicar debido a que el exceso de coagulante es absorbido en la superficie de la partícula, produciendo una carga invertida a la carga original (Ver Fig. 10).



Figura 10. Re-estabilización de partículas. Fuente: (Andia, 2000).

Nota: la presente figura presenta uno de los diferentes mecanismos que puede suceder durante la coagulación, al unirse dos partículas.

- **Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado:** Las partículas coloidales desestabilizadas, se pueden atrapar dentro de un floc, cuando se adiciona una cantidad suficiente de coagulantes, habitualmente sales de metales trivalente como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o Cloruro Férrico $FeCl_3$, el floc está formado de moléculas de Al

(OH⁻ (3 o de Fe (OH)₃ (Dumez, 1985). Las partículas coloidales juegan el rol de anillo durante la formación del floc; este fenómeno puede tener una relación inversa entre la turbiedad y la cantidad de coagulante requerida (Ver Fig. 11).

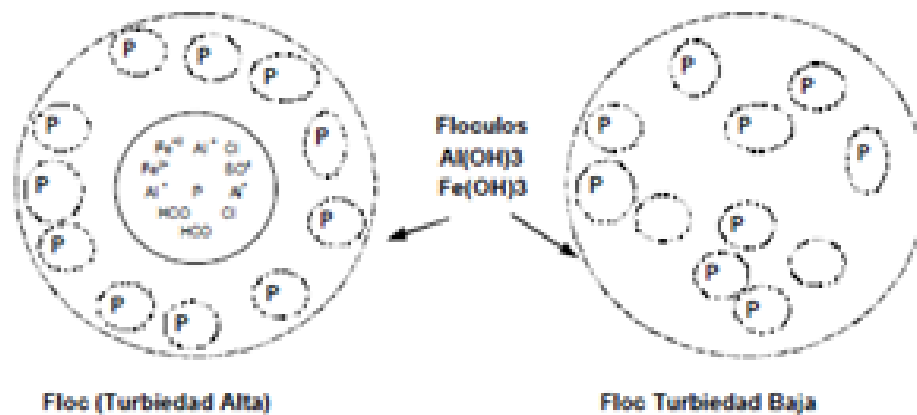


Figura 11. Atrapamiento de las partículas en un Floc. Fuente: (Dumez, 1985)

Nota: la presente figura presenta uno de los diferentes mecanismos que puede suceder durante la coagulación, al unirse dos partículas.

- **Adsorción y puente:** En cualquier caso, se obtiene el tratamiento más económico utilizando un polímero aniónico, cuando las partículas están cargadas negativamente. Este fenómeno es explicado por la teoría del “puente”. La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas (howe, 2017). Esto puede tener una estabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros (Ver Fig. 12).

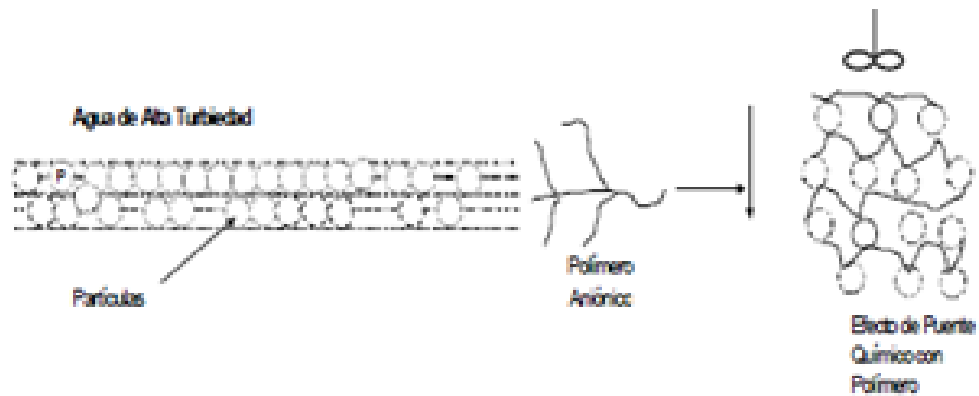


Figura 12 Efecto de puente de las partículas en suspensión. *fuelle: (howe, 2017)*

Nota: la presente figura presenta uno de los diferentes mecanismos que puede suceder durante la coagulación, al unirse dos partículas.

7.1.3. Tipos de coagulación.

- **Coagulación por adsorción:** Se presenta cuando el agua presenta una alta concentración de partículas al estado coloidal; cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son absorbidas por los coloides y forman los floculos en forma casi instantánea (ver figura 13).

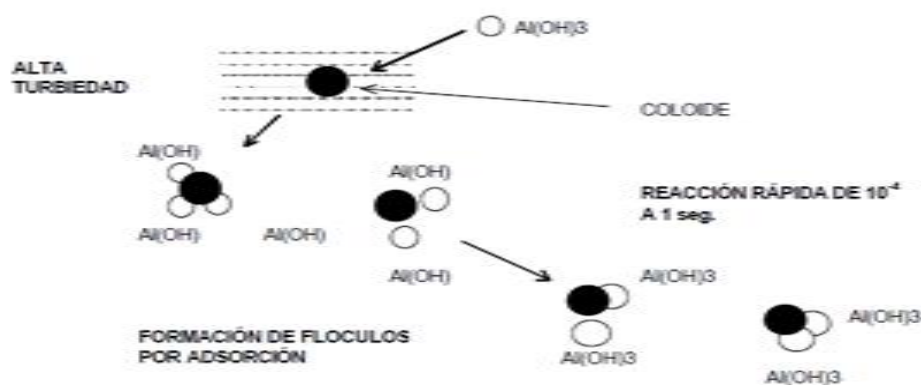


Figura 13. Coagulación por adsorción. *fuelle: (Andia, 2000)*

Nota: la presente figura presenta uno de los diferentes tipos de coagulación que puede suceder durante la coagulación, cuando se presenta alta turbiedad.

Cuando se agrega sulfato de aluminio o sales de fierro al agua en condiciones especiales de dosis de coagulante y pH, se forma una serie de especies solubles hidrolizadas. En el caso del sulfato de aluminio, las especies hidrolizadas que se forman son Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ y $Al(OH)_4$, las cuales son tomadas a menudo para representar todo el sistema. Estas especies hidrolizadas se adhieren o forman complejos superficiales con los grupos Silanol ($=SiOH$) y el coloide, y lo desestabilizan, lo que permite la formación de flóculos (Andia, 2000).

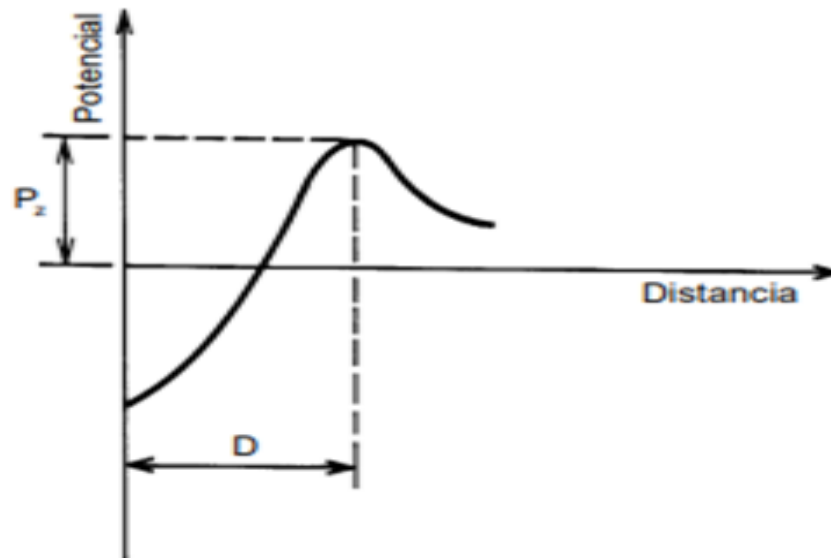


Figura 14. Potencial zeta en la coagulación por adsorción. Fuente: (Andia, 2000).

Nota: la imagen presentada muestra el potencial zeta resultante, cuando la cantidad de coloides en el agua es grande.

Cuando la cantidad de coloides presente en el agua es grande, la distancia entre ellos es pequeña. Por lo tanto, es mayor la fuerza de atracción y la energía requerida para

su desestabilización menor, así como el potencial zeta resultante (figura 14) (Martel, 2016).

- **Coagulación por barrido:** Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña (ver figura 15); en este caso las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico.

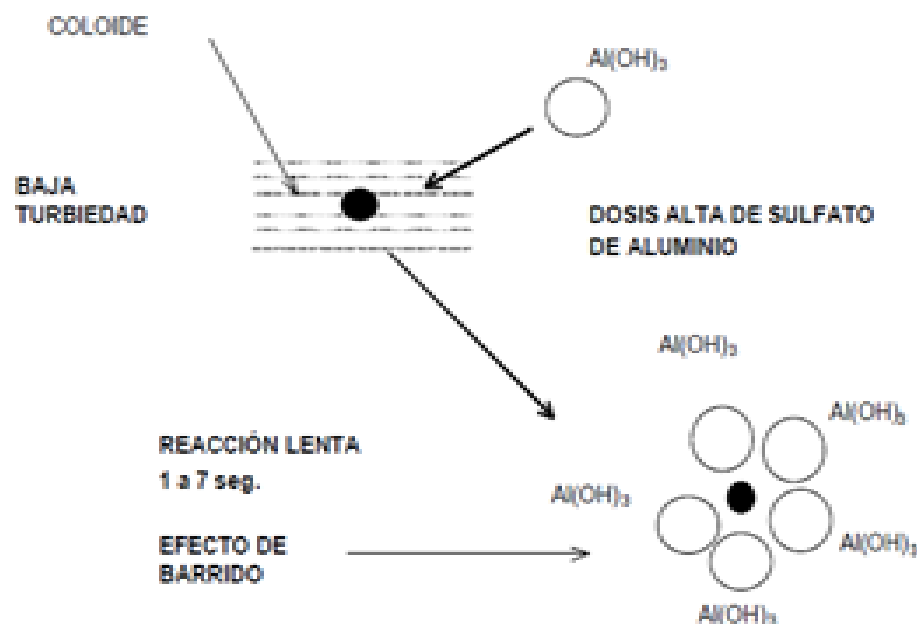


Figura 15. Coagulación por barrido. Fuente: (Andia, 2000)

Nota: la imagen muestra el efecto de barrido en el agua, durante el proceso de coagulación; esto ocurre cuando la turbiedad es baja.

En ese momento se precipitan los hidróxidos que se forman por reacción de la alcalinidad y el agua misma con los coagulantes, con lo que se induce la producción de una masa esponjosa (floc de barrido) que atrapa en su caída a los coloides y partículas

suspendidas las cuales se ven forzadas a decantar, incorporadas dentro del precipitado que desciende. Este tipo de remoción de turbiedad no es una verdadera coagulación, pero es la que más frecuentemente se produce. En este caso las partículas son atrapadas al producirse una sobresaturación de precipitado de sulfato de aluminio o cloruro férrico (Valencia, 2000).

Debido a que la distancia entre las partículas es mayor, las fuerzas de atracción son menores y se requiere mayor cantidad de coagulante y energía para desestabilizarlas, lo que aumenta la potencial zeta y el tiempo de reacción, que puede llegar hasta 7 segundos (ver figura 16) (Martel, 2016).

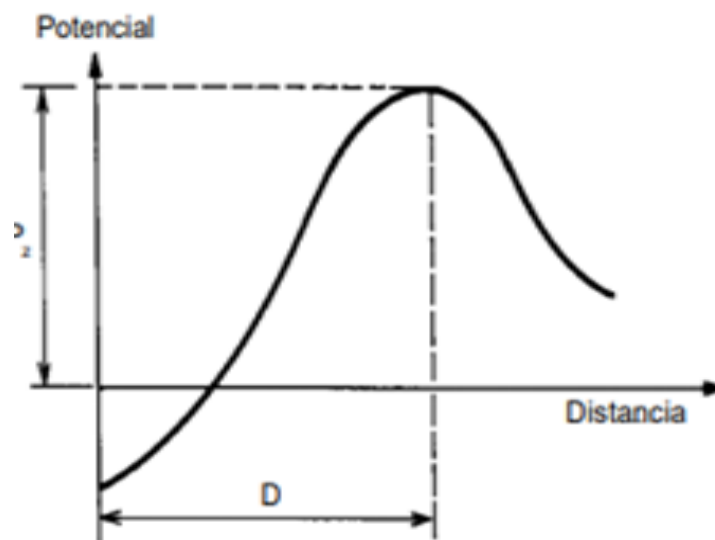


Figura 16. Potencial zeta en la coagulación por barrido. Fuente. (Martel, 2016)

Nota. la imagen presentada muestra el potencial zeta resultante, cuando la cantidad de coloides en el agua es pequeña.

7.1.4. Coagulantes químicos utilizados.

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- Sulfato de Aluminio
- Aluminato de Sodio
- Cloruro de Aluminio
- Cloruro Férrico
- Sulfato Férrico
- Sulfato Ferroso
- Polielectrolitos

Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados (*Martel, 2016*).

- **Sulfato de Aluminio:** Conocido comúnmente como Alumbre, es considerado como el coagulante estándar con mayor uso en el tratamiento de aguas debido a que es fácil de producir y por ende posee un costo de comercialización relativamente bajo. Su rango óptimo de pH varía entre 5.5 y 8.0 unidades de pH, lo que contribuye a que en etapas 24 anteriores del tratamiento de agua se disminuyan las actividades necesarias para conseguir un ajuste de pH del fluido, disminuyendo al mismo tiempo los costos de

operación de la planta. Las dosis de Sulfato de aluminio usada para aguas superficiales varían normalmente de 5 a 50mg/L. Se comercializa en diversas presentaciones como en polvo, granulado, en escamas y en solución, siendo la primera la más común (Bedoya, 2012).

Ventajas: Es fácilmente se disuelve con agua, y no causa la coloración rojiza (antiestético) de suelos, paredes y equipos como el sulfato férrico.

Desventajas: Es eficaz sólo en cierto intervalo de pH, una buena floculación puede no ser posible con alumbre en algunas aguas.

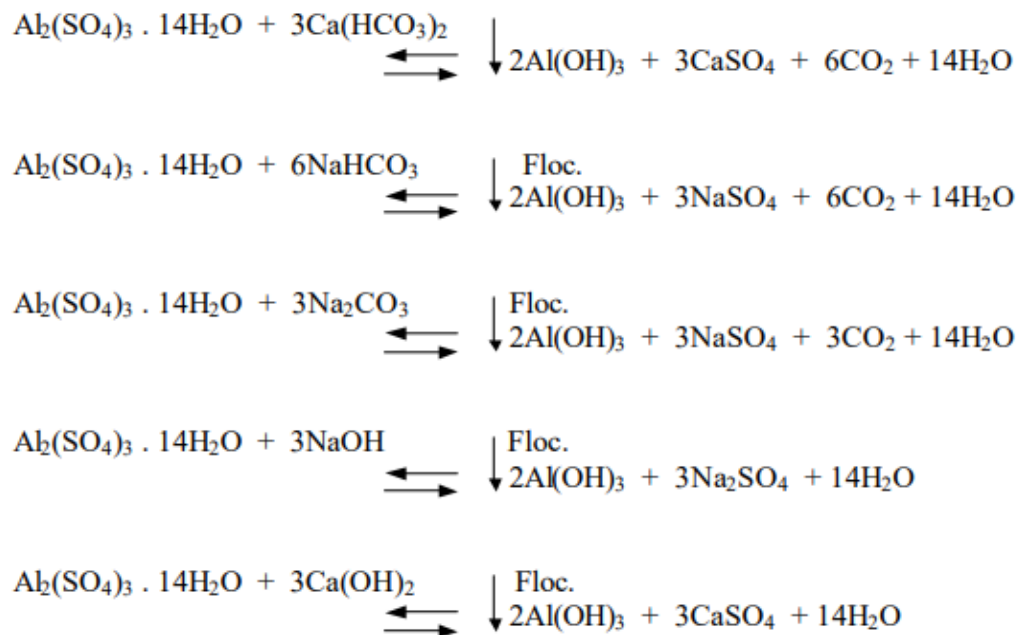


Figura 17. Reacciones del sulfato de aluminio con alcalinidad del agua. Fuente (Andia, 2000).

Nota: la figura muestra las principales reacciones del sulfato de aluminio con la alcalinidad del agua.

- **Sulfato férrico:** El sulfato férrico está disponible como un coagulante de tratamiento de agua comercial en forma de un material anhidro que puede ser transportado y almacenado en barriles de madera. El material se disuelve fácilmente en una cantidad limitada de agua tibia, 1 parte en volumen de sulfato férrico se disuelve en 2 partes de agua para producir una solución de alrededor del 40% (*Adminmgv, 2016*).

Ventajas del sulfato férrico: El hidróxido férrico se forma a valores de pH bajos, por lo que la coagulación es posible con sulfato férrico a valores de pH tan bajos como 4,0, es insoluble en un amplio intervalo de valores de pH. El floculo formado con coagulantes férrico es más pesado que el floculo formado con alumbre (*Andia, 2000*). El floculo de hidróxido férrico no se disuelve a valores altos de pH. Coagulantes férricos pueden ser utilizados como coagulantes en la eliminación del color en los valores altos de pH necesarios para la eliminación de hierro y manganeso y en el ablandamiento de agua (*Arboleda, 1994*).

- **Cloruro de hierro:** El cloruro de hierro (III) o tricloruro de hierro (tradicionalmente llamado cloruro férrico) es un compuesto químico utilizado a escala industrial perteneciente al grupo de los haluros metálicos, cuya fórmula es $FeCl_3$. También se le denomina equivocadamente percloruro de hierro e incluso percloruro férrico. El cloruro férrico en solución al 40% se utiliza como coagulante para tratamiento de aguas y efluentes, se comercializa habitualmente a granel (*Adminmgv, 2016*).

Cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o

hierro que son insolubles y forman los precipitados. En una solución acuosa el Fe está hidrolizado y al ser agregado al agua reacciona, primero con la alcalinidad y luego con la molécula de H₂O. La reacción de estos productos monoméricos entre sí crea productos poliméricos, esta reacción continúa con el tiempo, hasta llegar como producto final, a un hidróxido de hierro neutro o negativo. Las reacciones con la molécula de H₂O son también del tipo ácido -base como las del Al (III) (*Valencia, 2000*).

Al igual que en la reacción con la alcalinidad el $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})(\text{OH})]^{++}$ se hidroliza hasta formar hidróxidos neutros o negativos y se polimeriza. La composición de las diferentes especies de productos de hidrólisis, que existen en equilibrio con hidróxido de hierro recién precipitado, depende del pH, a un pH inferior a 4 las especies primariamente presentes están constituidas por los iones de hierro hidratados, mono hidróxidos simples o compuestos poliméricos, a pH mayor que 4 lo constituyen los hidróxidos de hierro insolubles el rango de insolubilidad del hidróxido férrico es mucho mayor que la del hidróxido de aluminio (*A. Zambrano and D. Liliana, 2008*).

Como en el caso de Al (III) son los iones trivalentes hidratados los responsables de la compresión o neutralización de la doble capa. Los compuestos polinucleares poliméricos cargados positivamente son rápidamente adsorbidos por la superficie del coloide estableciendo puentes químicos (*Dumez, 1985*). Lo anterior explica porque las sales de hierro y aluminio continúan siendo las más utilizadas en los tratamientos de coagulación del agua. No obstante, estos coagulantes presentan el inconveniente de modificar la hidrólisis del líquido, en dosis fuertes producen exceso de fangos, y no siempre alcanzan la precipitación de los coloides.

7.1.5. Ayudantes de coagulación.

Los ayudantes de coagulación son sustancias que producen poco o ningún floc al ser usadas solas, pero que mejoran los resultados obtenidos con simples coagulantes. En general, son sustancias químicas agregadas para optimizar la coagulación, formar un floc más fuerte y sedimentable, superar caídas de temperatura que retardan la coagulación, reducir la cantidad de coagulante requerido y disminuir la cantidad de lodo producido (*Salcedo, 2008*).

Existen muchas ayudas de coagulación, Arcilla, sílice activada y polímeros orgánicos por cuanto mejoran la eficacia de las unidades de floculación y sedimentación, reducen el volumen de los lodos depositados, amplían el rango de condiciones óptimas de floculación y minimizan los residuos química; pero las tres más generalizadas son:

- **Sílice activada:** Se ha usado desde hace más de cincuenta años con alumbre; en dosis apropiadas, aumenta la tasa de coagulación, reduce la dosis de alumbre y amplía el intervalo de pH efectivo para coagulación. Se prepara a partir de silicato de sodio “activado” mediante un material adecuado, por ejemplo, ácido hipocloroso o ácido sulfúrico, para reducir alcalinidad. Tiene la ventaja de fortalecer el floc, hacerlo más denso, más grande y de asentamiento más rápido, mejorando normalmente la remoción de color. Por lo regular se agrega después del alumbre, aunque también se utiliza antes de adicionar el coagulante. Nunca se agrega directamente con alumbre, pues reacciona con este. Tiene la desventaja que requiere un control cuidadoso a lo largo de su preparación o activación y durante la dosificación (*Salcedo, 2008*).
- **Poliectrolitos:** Son compuestos orgánicos sintéticos que tienen la habilidad de causar la agregación de suelos y sólidos, finalmente divididos, en suspensiones acuosas.

Comercialmente existen diferentes Polielectrolitos, fabricados con diversos nombres por distintas compañías, efectivos como ayudas de coagulación. La dosis y el tipo del electrolito. Los Polielectrolitos se clasifican como catiónicos, Aniónicos y no iónicos. Los catiónicos son polímeros que al disolverse producen iones de carga positiva, por lo que se usan bastante en aguas naturales y pueden utilizarse también como coagulante primario o acompañados de alumbre o sulfato férrico (*Dumez, 1985*).

Los Polielectrolitos Aniónicos son polímeros que al disolverse producen iones de carga negativa y por tanto se usan para remover sólidos de carga positiva, generalmente acompañados de alumbre o un coagulante de hierro. Los Polielectrolitos no iónicos al disolverse producen iones tanto positivos como negativos y pueden usarse como coagulante o ayuda de coagulación, aunque se utilizan dosis más grandes que las de los otros dos tipos. La utilización de los polímeros es limitada por su alto costo (*Salcedo, 2008*).

- **Agentes lastradores:** Son materiales que al ser agregados al agua forman partículas adicionales que promueven la información del floc. Se usan para tratar aguas de color alto, baja turbiedad y bajo contenido mineral, que producen floc muy pequeño de baja sedimentabilidad. Los más comunes son arcillas como la bentonita, caolinita, montmorillonita, caliza y sílice pulverizada. La bentonita se ha empleado mucho, en dosis generalmente de 10 a 50 mg/L, para producir floc de rápido asentamiento (*Salcedo, 2008*).

7.1.6. Coagulantes naturales.

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 mínima o nula toxicidad y, en muchos casos, son productos alimenticios con alto contenido de carbohidratos y de proteínas solubles en agua (Campos & Luis., 2000). Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial (Choque-Quispe, 2018).

Para el proceso de coagulación del agua como material vegetal los coagulantes aniónicos tienen una eficiencia del 83-88%, coagulantes catiónicos una eficiencia de 94% utilizando este la *moringa oleífera*, *amorpha fruticosa*, *ceratonina siliqua*, *robina pseudoacacia*, *cactaceous opuntia*, *quercus rubra* (roble rojo), *Quercus cerris* (roble turco) y *quercus robur* (roble común) (Cogollo.F, J, 2011). A continuación, en la Tabla 6 se presentan los diferentes materiales vegetales con sus datos de tratamiento de agua.

Tabla 6

Productos naturales evaluados y considerados positivos para reducir la turbidez.

Material vegetal	Turbidez inicial (NTU)	Eficiencia de remoción (%)	Dosis optima (mg/l)
Coagulantes aniónicos	18-21; 38 -42;	83 - 88	1.0 – 2.0
Nirmali (strychrios potatorum)	130 – 135.		

Coagulantes catiónicos			
Moringa olifera	18-21; 38 -42; 130 – 135.	94.0 – 99.0	100 -200
Falso índigo Bush		80 -70 -80	5 – 5 – 10
Carob		100 – 80 - 80	20 – 10 - 10
Black locust	17.5 – 30 -70	60 – 60 - 60	5 -10 – 10
Cargamanto		80 – 60 - 65	5 - 10 – 10
Polímero catiónico a base de tananio			
(TBP) pH entre 4.0 y 7.0	100	85	0.15 – 0.30
Acacia siamea	10 -100	80 -95	50
Opuntia SSP.			5 -15
Moringa olifera	125	90 -92	15
Castaño			
Castaño común			
Roble común	70 – 35 – 17 .5	40 – 85	0.5
Roble turco			
Roble rojo			
Moringa olifera	49	96	250
j. curcas	49	95	50
Quebracho	123	80 - 95	0.25
Acacia australiana	200	75	12.5
Coagulante a base de taninos	100	50 - 60	2
Coagulante a base de taninos	80	100	20
Coagulante a base de taninos	80	85	20

Moringa olifera	80	95	20
Frijol común	35	72.3	0.7 -1.0
Moringa olifera	90 - 120	86.9	50

Nota. La Tabla muestra los diferentes productos naturales que ayudan con la disminución con la turbiedad en el agua y la dosis que se han utilizado. *Fuente.* (Guzmán, 2013).

El coagulante sintético más usado es el sulfato de aluminio, el cual presenta muy buenos resultados en cuanto a la remoción de contaminantes, sin embargo, el impacto económico y medioambiental debido a su uso es muy alto (*Donato, et al, 2007*). Además, su uso genera grandes cantidades de lodos de desecho, los cuales son difíciles de tratar, por otra parte, los lodos remanentes generan tierras inertes no aptas para algún cultivo (*Choque-Quispe, 2018*). lo cual se convierte en un problema ambiental, ya que en altas dosis pueden llegar a ser tóxicos. No obstante, al inicio de los años setenta, en varios países latinoamericanos se propuso utilizar coagulantes naturales extraídos de especies vegetales o animales nativos”, como alternativa a los coagulantes convencionales utilizados (*Martínez, 2017*).

Uno de estos coagulantes naturales es el almidón, el cual se encuentra en abundancia en el reino vegetal (figura 18) y constituye la mayor reserva de carbohidratos de las plantas, el cual puede ser extraído de su fuente con relativa facilidad. Entre las principales fuentes de almidón se tienen: maíz, yuca, papa, arroz, trigo, sagú, sorgo, araruta, los cuales deben ser sometidos previamente a un proceso inicial para lograr su gelatinización (*Campos & Luis., 2000*).

COMPONENTE	COMPOSICIÓN (%)			
	Maíz	Trigo	Yuca	Papa
Almidón	55.05	64.0	21.5	20.0
Proteínas	8.2	12.5	1.1	2.1
Fibras	2.4	2.5	1.1	1.1
Ceniza	1.5	1.7	0.5	0.9

Figura 18. Porcentaje de almidón, proteínas, fibras y cenizas de algunas fuentes de almidón. Fuente (Leonardo, 2013).

Nota. La presente imagen muestra el porcentaje de los diferentes componentes de coagulantes naturales utilizados.

Los coagulantes naturales de origen vegetal como Moringa oleífera, cactus lefaria, almidón de yuca y algas marinas, resultan ser biodegradables, económicos, seguros por su compatibilidad con el medio ambiente, gracias a la presencia de proteínas solubles que actúa en el proceso como un polielectrolito catiónico natural, capacidad que se incrementada cuando se emplean sales inorgánicas como pretratamiento; No inciden significativamente en los cambios de pH y conductividad del agua después de su tratamiento y reducen la presencia de microorganismos (Ndabigengesere, 1998).

- **Almidón de maíz:** puede ser utilizado como una solución tecnológica flexible, dado que es una materia prima disponible en condiciones tanto rurales como urbanas, de calidad óptima, mínima complejidad de operación, bajo costo y poco riesgo potencial a la salud del consumidor del agua potable (Rodríguez, 2007).

Generalmente, el uso del almidón de maíz en plantas potabilizadoras mejora la calidad del efluente e incrementa la velocidad de sedimentación; por consiguiente, al utilizarlo como coagulante primario natural se reduciría el volumen de lodos depositados,

así como las características de ellos facilitando la disposición final, sin dejar de lado la reducción de costos de tratamiento por compra de este insumo (*Campos & Luis., 2000*).

- **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 (*Hood y Zall, 1980*). 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.

Una cantidad de estudios realizados en diferentes países reportan varias fuentes naturales de coagulantes, como el exoesqueleto de los crustáceos, del cual se obtiene el quitosano, un polisacárido que ha sido utilizado para la clarificación del agua, y últimamente se ha introducido en productos para reducción de peso, ya que básicamente aglutina moléculas de grasa (*Leonardo, 2013*).

- **M oleífera:** Es un árbol tropical perteneciente a la familia Moringácea. Es originario del noroeste de la India, y es conocido en Brasil como Quiabo de quina y Lirio blanco (*Lopes, 2004*). Este árbol es resistente a la sequedad y crece en zonas áridas y semiáridas, por lo que se le llama el árbol milagroso (*Ghebremichael et al., 2005; Ali et al., 2004*). Las semillas de la planta Moringa Oleífera es usada como coagulante primario en la clarificación de aguas, se ha encontrado que el componente activo de la semilla de M. oleífera que causa la coagulación del agua cruda turbia es una proteína soluble que actúa en el proceso como un polielectrolito catiónico natural, la capacidad de coagulación de

las proteínas se ve incrementada cuando se emplean sales inorgánicas en su extracto (Jairo, 2014).

7.2. Floculación

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen, de esta forma se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos. Este proceso se efectúa en depósitos diseñados para hacer que las partículas entren en contacto entre sí y formen partículas más grandes que puedan eliminarse por separación gravitacional o filtración (Ver figura 19) (Howe, 2017).

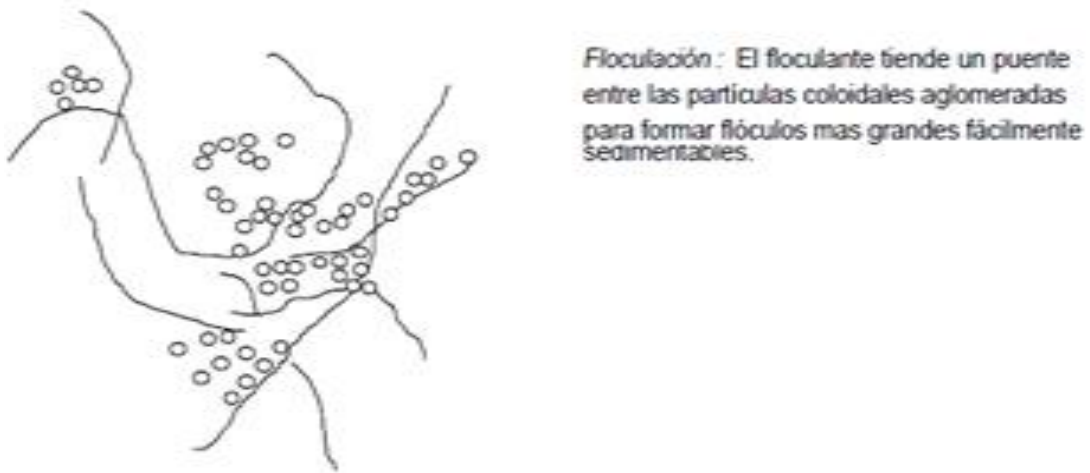


Figura 19 Floculación. Fuente (Andia, 2000)

Nota. La figura muestra el proceso de floculación.

El proceso de floculación es precedido por el de coagulación, por eso suele hablarse de procesos de coagulación - floculación. En el proceso de floculación es importante conseguir la formación del floculo de mayor peso y cohesión posible ya que estas características facilitan su eliminación. Existen además ciertos productos químicos llamados floculantes que ayudan en el proceso de floculación. Un floculante actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del floculó (floculo más pesado y voluminoso) (*Arboleda, 1994*).

7.2.1. Factores que influyen en la floculación.

- **Coagulación previa lo más perfecta posible.**
- **Agitación lenta y homogénea:** La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los flóculos. Un mezclado demasiado intenso no interesa porque rompería los flóculos ya formados (*Arboleda, 1994*).
- **Temperatura del agua.** La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos.
- Generalmente, temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante (*Arboleda, 1994*).
- **Características del agua:** Un agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente, de floculación más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan Como núcleos para la formación inicial de flóculos (*Arboleda, 1994*).
- **Influencia del gradiente de velocidad:** Es un parámetro importante en la floculación, que se da entre dos partículas separadas que se encuentran en el seno del fluido. El

número de choques entre partículas será, por tanto, proporcional al gradiente de velocidad (*Arboleda, 1994*). En la prueba de jarras, indica la intensidad de agitación que se le da a una masa de agua, para iniciar el proceso formación a los flóculos (*Camp, 1943*). Se define mediante la siguiente expresión:

$$GR = G\sqrt{V/V_R} \quad \text{Ec. 1}$$

Gr= Gradiente de trabajo

VR= Volumen de la jarra utilizada

G= Gradiente de la figura.

V= Volumen de la jarra relacionada con la figura.

Cuanto mayor es el gradiente de velocidad, más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas. Mientras tanto, a medida que los flóculos aumentan de tamaño, crecen también las fuerzas de cizallamiento (esfuerzo cortante) hidrodinámico, inducidas por el gradiente de velocidad (*Adminmgv, 2016*). Los flóculos crecerán hasta un tamaño máximo, por encima del cual las fuerzas de cizallamiento alcanzan una intensidad que los rompe en partículas menores. Por otro lado, se estima un valor máximo deseable debido a que un valor demasiado alto puede dar lugar a la ruptura por la acción de fuerzas de corte del líquido de los flóculos ya formados; De esta manera, cada tipo de agua contiene un valor de gradiente de velocidad dependiendo del tipo de partículas contenidas en ellas (*Camp, 1943*).

- **La resistencia de los flóculos depende de una serie de factores:**

- De su tamaño, forma y compactación
 - Del tamaño, forma y naturaleza de las micropartículas
 - Del número y forma de los ligamentos que unen a las partículas.
- **Tiempo de floculación.**
 - **Tiempo de retención largo:** Influye de dos maneras, si el tiempo es demasiado largo no se genera la floculación, porque se desarmarán los flóculos formados, o se sedimentarán en el floculador hasta colmatarlo (*Arboleda, 1994*).
 - **Tiempo de retención corto:** no se forman los floc, y las partículas pasan al filtro, ya que no sedimentarían, generando una obstrucción en el por la cantidad de partículas que retendría (*Camp, 1943*).

7.2.2. Tipos de floculantes.

- **Según su naturaleza, los floculantes pueden ser:**
- **Minerales:** por ejemplo, la sílice activada. Se le ha considerado Como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable (*Liu, 2013*).
- **Orgánicos:** son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de Origen natural o sintético. Los floculantes orgánicos de Origen natural se obtienen a partir de productos naturales Como alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales) y derivados de la celulosa. Su eficacia es relativamente pequeña (*Liu, 2013*) **Los de origen sintético,** Son macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, conseguidas por

asociación de monómeros simples sintéticos, alguno de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables por lo que se le denominan Polielectrolitos.

Según el carácter iónico de estos grupos activos, se distinguen:

- **Polielectrolitos no iónicos:** Son poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.
- **Polielectrolitos Aniónicos:** Caracterizados por tener grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos).
- **Polielectrolitos catiónicos:** Caracterizados por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amino.

7.3. Sedimentación

Proceso en el cual se remueven los sólidos en suspensión más pesados que el agua, por medio de la fuerza gravitacional (ver figura 20). Como ejemplo se pueden citar la remoción de arena en los desarenadores y la remoción de sólidos suspendidos en los decantadores de una planta, previa coagulación del agua (Dumez, 1985).

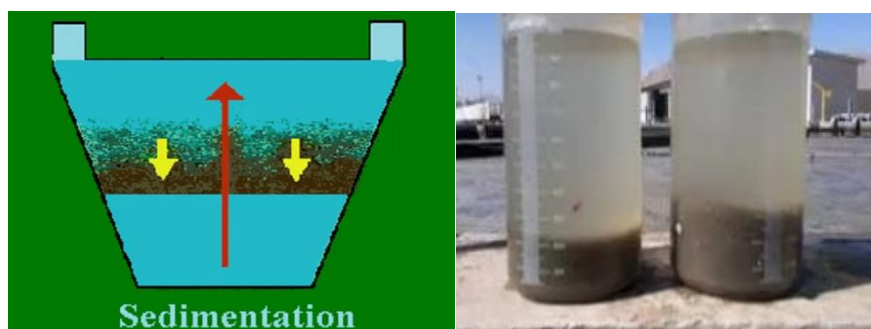


Figura 20. Sedimentación. Fuente. (SSWN, 2018).

Nota. En la figura se puede apreciar cómo se realiza el proceso de sedimentación.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración (*Maldonado, 2004*).

7.4. Características fisicoquímicas de agua potable

A continuación se detallan las principales características fisicoquímicas medidas en esta práctica, que definen la calidad del agua, presentes en la Resolución 2115 de 2007 de calidad de agua para consumo humano, la cual señala características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano, estableciendo así límites permisibles legalmente para la determinación por distintos análisis de la evaluación del comportamiento de este recurso.

- **Color:** Esta característica del agua puede estar ligada a la turbidez o presentarse independiente de ella. Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color, se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etc. En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados (*Arboleda, 1994*).

- **pH:** Es una medida de la concentración de iones hidronio en la disolución. Se determina mediante electrometría de electrodo selectivo (pH metro). Influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Es un parámetro fundamental para la realización del proceso de coagulación este se define como potencial de hidrógeno (*García, 2011*).

se dice que la disminución del pH en la reacción de aluminio con alcalinidad es mucho más lenta que en la reacción de Al con la molécula de agua sin la presencia de esta, la alcalinidad viene a actuar como una solución amortiguadora que evita el brusco descenso del pH el cual debe ser medido antes y después de la floculación tiene una importancia básica, por tanto, debe disponerse siempre de un sistema de medida de pH (*Dumez, 1985*). Un pH bajo tiene desventajas como, por ejemplo: la coagulación no se realiza o se realiza pobremente y hace el agua corrosiva. El pH modifica las cargas electrostáticas de las partículas, si se coagula a pH bajo (con o sin adición de ácido sulfúrico), es más alto el costo del alcalinizante para volver a subir el pH y alcanzar la estabilización química (*Valencia, 1992*).

- **Turbiedad:** es originada por las partículas en suspensión o coloides. Es decir, causada por las partículas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. La medición de la turbidez se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro, siendo la unidad utilizada la unidad nefelometría de turbidez (UNT) (*Arboleda, 1994*).
- **Temperatura:** Es una medida del grado de calor del cuerpo del agua. Este parámetro puede incidir mucho en la calidad del agua, ya que determina otras propiedades y

procesos que tienen lugar en el agua como la viscosidad, la solubilidad de los gases y de las sales, procesos fisiológicos de los organismos que provocan variaciones de su metabolismo, la proliferación de ciertos microorganismos, etc. (García, 2011).

- **Alcalinidad:** Es la capacidad de reaccionar con los iones hidrógeno del agua, estando provocada mayoritariamente por los iones carbonato (CO_3^-) y bicarbonato (HCO_3^-). Se determina por valoración con ácido, determinando los puntos de equivalencia mediante electrodo selectivo de pH o indicadores adecuados, obteniéndose de los puntos de inflexión o puntos de equivalencia los valores de alcalinidad compuesta (carbonatos $\text{pH} \approx 8,3$) y la alcalinidad total (bicarbonatos + carbonatos $\text{pH} \approx 4,5$) (Andia, 2000).

7.5. Obtención del quitosano

Existen varios métodos de obtención de la Quitina que varían en función de los investigadores, sin embargo, muchos de los autores coinciden que es necesario la utilización de ácidos y bases para la obtención de la quitina (Nieto et al., 2011, citado por Berghoff, 2011).

En general los procesos de obtención de quitina se realizan mediante las siguientes operaciones consecutivas: acondicionamiento de la materia prima, la extracción de la proteína (desproteínización), la eliminación de impurezas inorgánicas (desmineralización), la decoloración de la quitina obtenida, tal como se presenta en el diagrama de flujo siguiente:

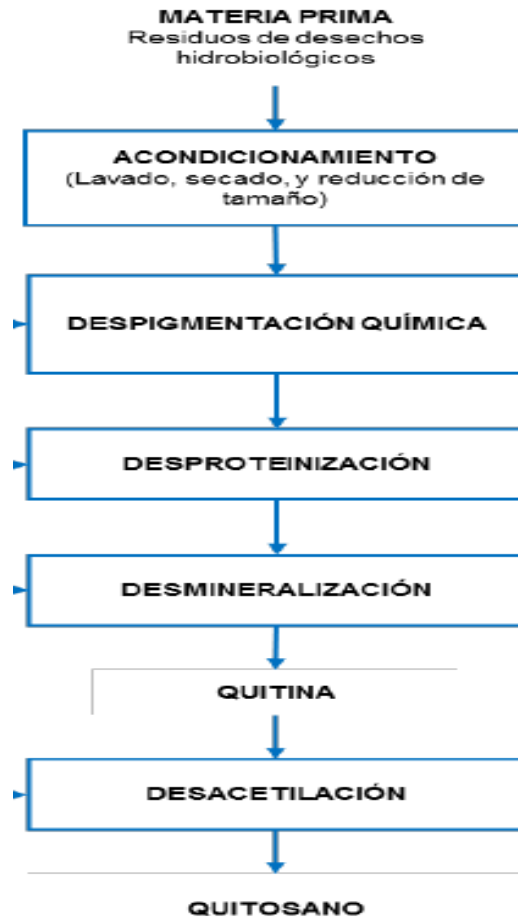


Figura 21. Diagrama de flujo de producción de quitosano. Fuente (Berghoff, 2011).

Nota. Esquema de producción de quitosano.

- **Acondicionamiento de la materia prima:** consiste en la eliminación de la materia orgánica u otros materiales extraños adheridos a la superficie de la biomasa quitinosa esto se logra mediante lavados sucesivos con agua a ebullición y agua fría en abundancia.
- **Aislamiento de quitina:** los desechos están compuestos de proporciones variables de proteínas, sales de calcio, quitina y cantidades mínimas de grasa y otros compuestos, por

lo tanto, el proceso para llevar a cabo el aislamiento de la quitina involucra tres operaciones básicas (*Agullo et al, 2004*):

a) Decoloración o Despigmientación química: se ha reivindicado que el empleo de ácido acético al 50% en caliente puede, simultáneamente, desmineralizar las cáscaras de crustáceos y extraer los carotenoides presentes (*Vásquez et al, 2011*). De igual forma se pueden emplear agentes blanqueadores convencionales tales como el peróxido de hidrogeno (H_2O_2) al 5 - 3% o hipoclorito de sodio ($NaClO$) al 0.32%. También se han empleado tratamientos que combinan la extracción con solventes y el uso de agentes oxidantes. Sin embargo, esta última alternativa debe ser considerada con mucha precaución, debido a los cambios químicos que este tipo de tratamiento oxidativo puede inducir en la estructura del polímero afectándolo negativamente (*Vásquez et al, 2011*).

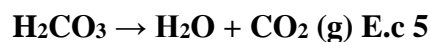
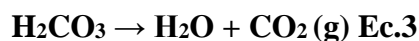
b) Desproteínicación: puede llevarse a cabo por métodos químicos y enzimáticos. Para separar la proteína en el material biológico, los exoesqueletos de crustáceos son tratados usualmente con soluciones de hidróxido de sodio ($NaOH$) (1-10%) a temperaturas entre los 65 °C y los 100°C durante un periodo de 1 a 24 horas. En ocasiones se prefiere realizar dos tratamientos consecutivos por tiempos cortos. Hay que tener en cuenta que tratamientos por largo tiempo o a temperaturas muy altas pueden provocar ruptura de las cadenas y la desacetilación parcial del polímero.

Un aspecto importante para tenerse en cuenta durante la desproteínicación es la formación de espuma característica de las proteínas. Para reducir este efecto, se debe

optimizar las condiciones operacionales, principalmente, la velocidad de agitación (*Vásquez et al., 2011*). realizaron un estudio completo de la cinética de desproteización en muestras de crustáceos se concluyó que la utilización de NaOH en una concentración 1M, con una temperatura menor a 70 °C y tiempo de reacción de 24 horas no produce efectos en el peso molecular ni el grado de acetilación del polímero (*Fong, 2012*). El tratamiento alcalino prolongado, bajo condiciones severas, causa despolimerización, desacetilación y modificaciones indeseables a las proteínas (*Berghoff, 2011*).

c) Desmineralización: El contenido mineral de los residuos de los crustáceos o pescados oscila entre 30% y 55%, y está constituido principalmente, por carbonato de calcio, en menor proporción (~10%) por fosfato de calcio y Carbonato de Magnesio. La remoción de carbonato de calcio se realiza por tratamiento ácido (*Vásquez, et al., 2011*). Para ello, se han utilizado numerosos ácidos: ácido clorhídrico (HCl), ácido nítrico (HNO₃), ácido acético (CH₃COOH), ácido fórmico (HCOOH), etc., pero habitualmente, se realiza con soluciones diluidas de HCl a temperatura ambiente. La concentración de la solución de HCl, la cantidad de ella y el tiempo de tratamiento varían de acuerdo con la materia prima (*Expósito, 2010*).

Dependiendo de la naturaleza de la materia prima variará la concentración del ácido y el tiempo de tratamiento, pero deben evitarse los tratamientos a temperaturas altas, que provocan la degradación del polímero para disminuir la degradación puede emplearse agente complejante como el EDTA. Desde el punto de vista químico, la desmineralización con ácidos se logra a través de las siguientes reacciones (*Fong, 2012*).



En esta reacción, se obtiene cloruro de calcio disuelto en el efluente acuoso y se libera dióxido de carbono. Mediante esta ecuación, es posible calcular el requerimiento estequiométrico de HCl necesario para reaccionar con la cantidad de carbonato de calcio presente.

Al concluir el proceso de desmineralización se procede al lavado de la quitina. Si queda retenido ácido en la estructura sólida, puede producirse una sustancia polimérica de la quitina. Para evitar este proceso se puede agregar una solución alcalina en pequeñas cantidades como para alcanzar un pH neutro, sobre todo si la desacetilación para obtener quitosano no se realiza a continuación (*Vásquez, et al., 2011*). Al iniciar la etapa de desmineralización ácida, es importante asegurar que la quitina haya sido lavada hasta la neutralidad con anterioridad de lo contrario parte del ácido añadido para la desmineralización se pierde. Lo anterior es válido para la continuación del proceso, ya que, de quedar ácido en el sólido antes de la desacetilación, una parte del NaOH se gasta, lo que además trae como consecuencia una disminución en su concentración (*Berghoff, 2011*).

d) Desacetilación: Las condiciones específicas de la reacción dependerán de diversos factores, tales como el material de partida, las técnicas de extracción, el tratamiento

previo, las cantidades disponibles del biodesecho, la composición química, las impurezas incluidas, la época del año y la aplicación deseada dependiendo del grado de desacetilación deseado (Berghoff, 2011). la principal reacción de reprivatización de la quitina es la hidrólisis de las funciones químicas acetamida para generar el polímero desacetilado quitosano (figura 22.a). Aunque las amidas, en principio pueden hidrolizarse en condiciones ácidas o alcalinas, se excluye el uso de la hidrólisis ácida debido a la susceptibilidad de los enlaces glicosídicos de la quitina a dicho tratamiento.

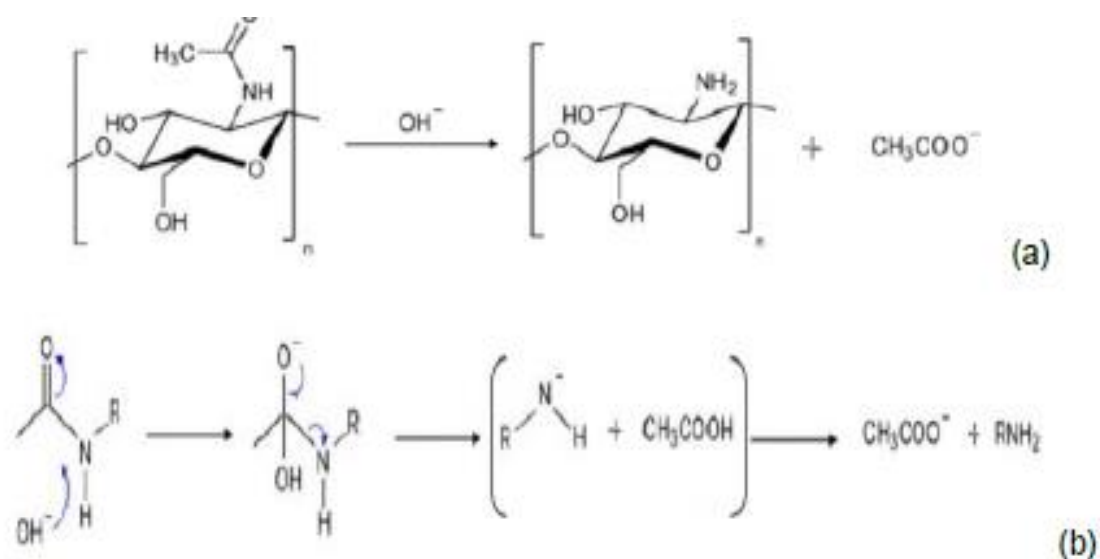


Figura 22. Mecanismo de reacción que interpreta la reacción de desacetilación de la quitina, para obtener quitosano.

A) Reacción generalizada, B) Detalle del mecanismo de reacción. Fuente. (Berghoff, 2011).

Nota. La figura muestra la reacción de la quitina y su mecanismo al ser desacetilizada para obtener quitosano

La reacción de N-desacetilación se corresponde con una hidrólisis en la que el ion hidróxido, fuertemente nucleofílico, ataca inicialmente al átomo de (C) carbonílico de la función

química amida mediante un mecanismo de adición nucleofílica-eliminación (*Berghoff, 2011*) (figura 22.b).

La desacetilación se conduce bajo condiciones alcalinas severas, debido a la combinación de tres factores.

1. La baja reactividad debida a la configuración trans de los sustituyentes acetamida con respecto al grupo (OH-) unido al átomo del C3 del anillo piranósico de la unidad monomérica (*Berghoff, 2011*).
2. La presencia de puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo y carbonilo y amida de cadenas adyacentes; y
3. El denso empaquetamiento de las cadenas en el enrejado cristalino de la quitina que previene el acceso al álcali a los sitios reactivos (*Berghoff, 2011*).

El proceso de desacetilación consiste en la remoción del grupo acetyl de las cadenas moleculares de la quitina, obteniendo el quitosano con un alto grado de grupo reactivo amino (-NH₂) (*Expósito, 2010*). La obtención del Quitosano se produce por desacetilación de la quitina y se puede realizar mediante procesos químicos, a continuación, se detalla:

7.5.1. Desacetilación de la quitina por el método químico homogéneo.

Consiste en que la quitina es suspendida en medio de un álcali y la suspensión es refrigerada con hielo para disolver la quitina en la solución. Luego se somete a desacetilación a temperaturas cercanas a la del ambiente durante períodos largos de tiempo.

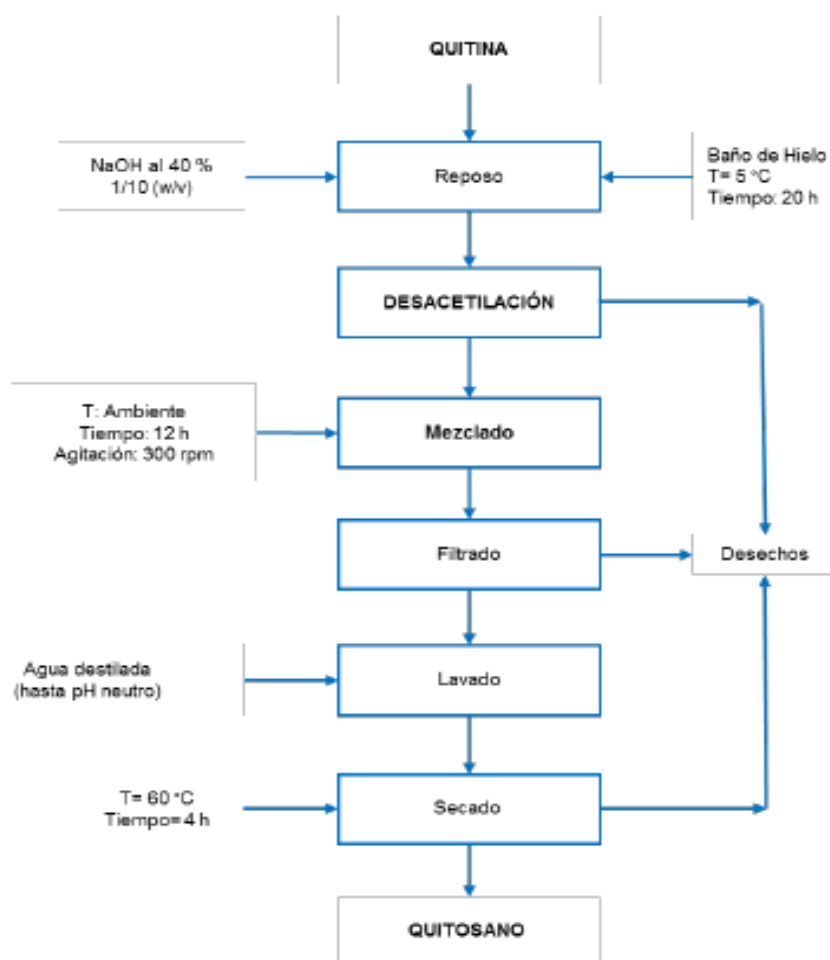


Figura 23. Diagrama de flujo de desacetilación de la quitina para la obtención de quitosano aplicando el método químico homogéneo. Fuente. (García, 2016)

Nota. La imagen muestra el diagrama de flujo, para obtener quitosano mediante la desacetilación de la quitina, por método químico homogéneo.

La reacción en condiciones homogéneas permite una modificación más uniforme del polímero y se realiza sobre la quitina previamente solubilizada bajo presión reducida. La misma se obtiene sometiendo una suspensión alcalina de quitina a tratamientos de congelación-descongelación hasta producir una solución acuosa de quitina en hidróxido de sodio. La

desacetilación homogénea se lleva a cabo con concentraciones de álcali más moderadas (alrededor del 30% p/v), en un rango de temperatura de 25-40°C por tiempos de 12 a 24 h. Estas condiciones permiten que la reacción no se localice en determinados lugares de la cadena y que el ataque a los grupos amino sea más uniforme, resultando en residuos acetilados aleatoriamente distribuidos (*Berghoff, 2011*).

8. Marco legal

- Decreto 1575 de 2007, Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.
- Resolución 2115 de 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- Decreto 1076 de 2015, se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo Sostenible.
- Resolución 631 de 2015, se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales a los sistemas de alcantarillado público.

9. Metodología

9.1. Diseño metodológico

- **Tipo de investigación y enfoque:** el tipo de investigación es experimental, debido a que consiste en establecer causa y efecto del estudio a través de la cual se manipula las variables que ejercen control sobre el fenómeno en el proceso de obtención de quitosano y su aplicación en el tratamiento de efluentes. Llevada a cabo por un enfoque mixto, pues se desarrolló un enfoque cuantitativo en parte del estudio para analizar los resultados obtenidos, para dar solución a la pregunta de investigación y para verificar la hipótesis del presente estudio, así mismo se utilizó un enfoque cualitativo para recolectar información de resultados similares a los buscados de tipo descriptivos sobre el comportamiento del quitosano. En esta investigación se desarrolló una encuesta semiestructurada, con preguntas abiertas, para obtener información sobre la generación de escamas de pescados que se obtiene en Barranquilla.
- **Alcance de la investigación:** la presente investigación contempla la elaboración de un coagulante natural, desarrollado a partir de escamas de pescado, mediante el método químico homogéneo, para poder tratar el agua del río Magdalena.
- **Diseño de la investigación:** se realizó un diseño experimental, siendo la variable no comprobada el quitosano, en condiciones controladas, como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 7.

Diseño experimental.

Factores	Solución	Cantidad
Concentración NaClO	4.5%	Relación quitina/ NaClO (p/v) 1:10
Concentración NaOH	10%	Relación quitina/ NaOH (p/v) 1:10
Concentración HCL	0.5 N	Relación quitina/ HCL (p/v) 1:10
Concentración NaOH	40%	Relación quitina/ NaOH (p/v) 1:10
Dosis de coagulante Quitosano	1%	100 a 450 mg/l.
Tiempo de floculación Quitosano	1%	25 a 35 min.
Respuesta	Unidades	
Quitosano extraído	Gr	
Rendimiento del proceso de extracción	%	
Remoción de turbiedad (dosis optima y tiempo de floculación)	%	

Nota. Esta tabla muestra el diseño experimental a seguir, para la realización de la investigación. *Fuente:* propia.

- **Hipótesis:** si se desarrolla un coagulante natural, por medio de la obtención del quitosano a partir de las escamas de la mojarra lora, entonces será posible tratar el agua cruda y aprovechar los residuos(escamas) desechados de la plaza del mercado del centro de la ciudad de Barranquilla, optimizando este desecho para darle un mejor uso y ayudar a disminuir el grado de contaminación de desechos que se vierten diariamente al río Magdalena.

- **Descripción de la población y muestra:** la población estuvo compuesta de mojarra lora obtenida de la plaza del mercado del centro de barranquilla. La muestra está conformada de 100gr de escamas de mojarra lora, seleccionadas al azar.
- **Operalización de variables:**

Tabla 8*Operalización de variables.*

Variables	Definición	dimensiones	Indicadores
Despigmentación.	Rango de éxito de los resultados alcanzados, con respecto al valor inicial de la materia prima.	Factor biótico (agua).	Materia prima despigmentada, Ec.7
Desproteización.	Rango de éxito de los resultados alcanzados, con respecto al valor inicial de la materia prima.	Factor biótico (agua).	Materia prima desproteizada, Ec.7
Desmineralización.	Rango de éxito de los resultados alcanzados, con respecto al valor inicial de la materia prima.	Factor biótico (agua).	Materia prima desmineralizada, Ec.7
Desacetilación.	Rango de éxito de los resultados alcanzados,	Factor biótico (agua).	Materia prima desacetilizada, Ec.7 y

	con respecto al valor inicial de la materia prima.		grado de desacetilación Ec.6
Coagulación.	Rango de éxito de los resultados alcanzados, con respecto al valor inicial del parámetro evaluado y normatividad aplicable.	Factor biótico (agua).	Reducción de turbiedad, Ec.7
Floculación.	Rango de éxito de los resultados alcanzados, con respecto al valor inicial del parámetro evaluado y normatividad aplicable.	Factor biótico (agua).	Reducción de turbiedad, Ec.7

Nota. La presente tabla, muestra las variables a ser objeto de estudio para esta investigación. *Fuente:* Propia.

9.2. Preparación del quitosano

9.2.1. Acondicionamiento de la materia prima

Las escamas se obtuvieron de negocios dedicados a la comercialización de pescado, ubicados en la zona del centro de la ciudad de Barranquilla, exactamente en el mercado (plaza del pescado). Una vez obtenida se clasifican retirando toda parte proteica no necesaria para el proceso (viseras), posteriormente se procede a realizar un lavado con abundante agua, con una temperatura de 80°C y se exponen al sol para secar durante 3 horas aproximadamente, luego se secan en una estufa a 90°C durante 5 horas; pasado este tiempo se someten las escamas a un proceso de molienda con la ayuda del mortero o molino, luego se tamizan en mallas de 40.

9.2.2. Despigmentación química.

Mezclar la materia prima en una solución de NaClO al 4.5% p/v, sometiéndola a un proceso de agitación continua y constante de 300 rpm, por un tiempo de 1h a una temperatura entre 18 a 25 °C. pasado este tiempo se filtró la muestra con una bomba de vacío y se lavó varias veces con abundante agua destilada, hasta llegar a un pH neutro, posteriormente se secó la muestra en un horno a 60°C por un tiempo de 4 horas.

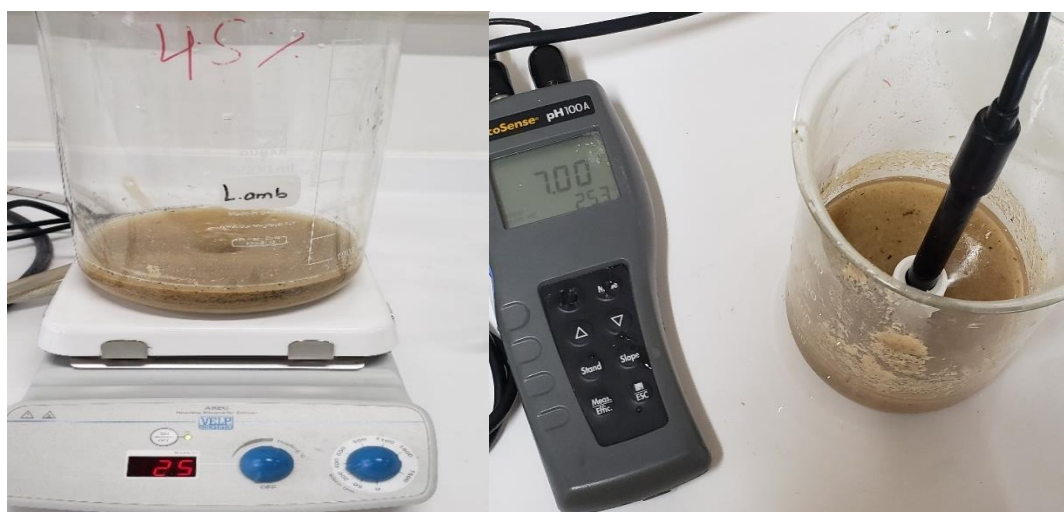


Figura 24. Proceso de despigmentación de las escamas de mojarra lora. Fuente. Propia.

Nota. La presente imagen, muestra el proceso de despigmentación y el lavado hasta llegar a pH neutro

9.2.3. Desproteínezación.

Se preparó una solución de NaOH al 10 % (p/v), en una relación de 1:10 (g de sólido por 10 ml de solución), se agito constantemente a 300 rpm por un tiempo de 3 horas, con una temperatura entre 18 a 25°C, para eliminar las proteínas presentes.

Terminado el tiempo de reacción se filtró la materia desproteínizada con ayuda de una bomba de vacío, y se procedió a lavar el producto obtenido con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro, eliminando el exceso de base utilizada en el proceso. Para acelerar el proceso y poder llegar a un pH neutro se adiciono una solución de HCl a baja concentración. Posteriormente se secó en un horno para poder retirar la humedad de la materia desproteínizada a 60°C por un lapso de 4 horas.

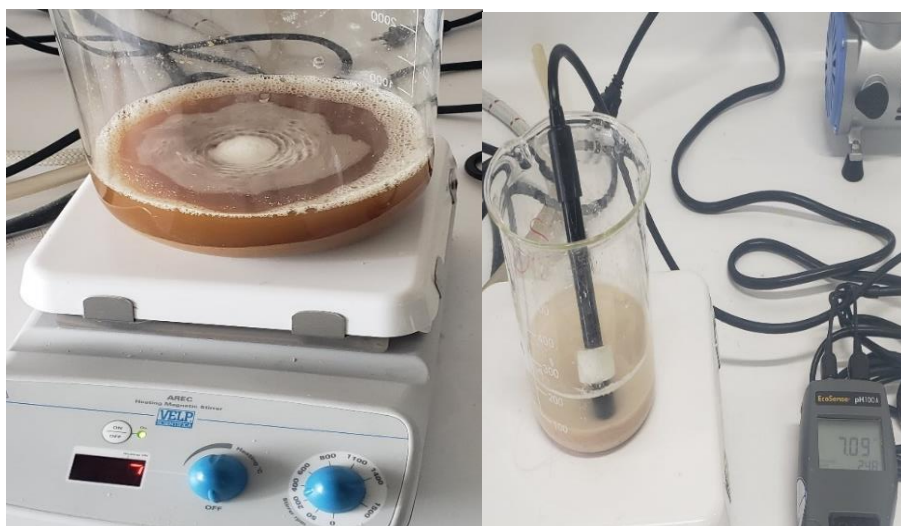


Figura 25. Proceso de desproteínización de las escamas de mojarra lora. Fuente. Propia.

Nota. La presente imagen, muestra el proceso de desproteínización y el lavado hasta llegar a pH neutro.

9.2.4. Desmineralización.

Se preparo una solución de HCl 0.5 N y se mezcló con la materia desproteínizada en una relación de 1:10 (g de sólido por 10 ml de solución), agitando constantemente la mezcla a 300 rpm, durante 3 horas a una temperatura ambiente.

Terminado el proceso se procedió a lavar con abundante agua destilada hasta alcanzar un pH neutro, se filtró con ayuda de una bomba de vacío y se secó en un horno a 60 °C por un tiempo de 4 h. posteriormente se pesó y registro la quitina obtenida.

9.2.5. Desacetilación.

Se realizo mediante el método químico homogéneo; la quitina obtenida se desacetiló mediante calentamiento con una solución de NaOH al 40% en relación 1:10 (p/v) y se dejó en reposo en un baño de hielo a 5°C por 20 h. Luego se pasó a un proceso de mezclado agitando constantemente durante 12 horas, a 300rpm a una temperatura de 25 °C, para poder desacetilar la muestra.

Terminado el proceso, se desechó el álcali (filtro) y se lavó el producto con abundante agua destilada hasta alcanzar pH neutro, para eliminar el exceso de base utilizada en el proceso. Para acelerar el proceso y poder llegar a un pH neutro se adiciono una solución de HCl a baja concentración. Posteriormente se secó en un horno a 60°C por 4 horas, para poder retirar la humedad de la materia des acetilada y así obtener el quitosano.

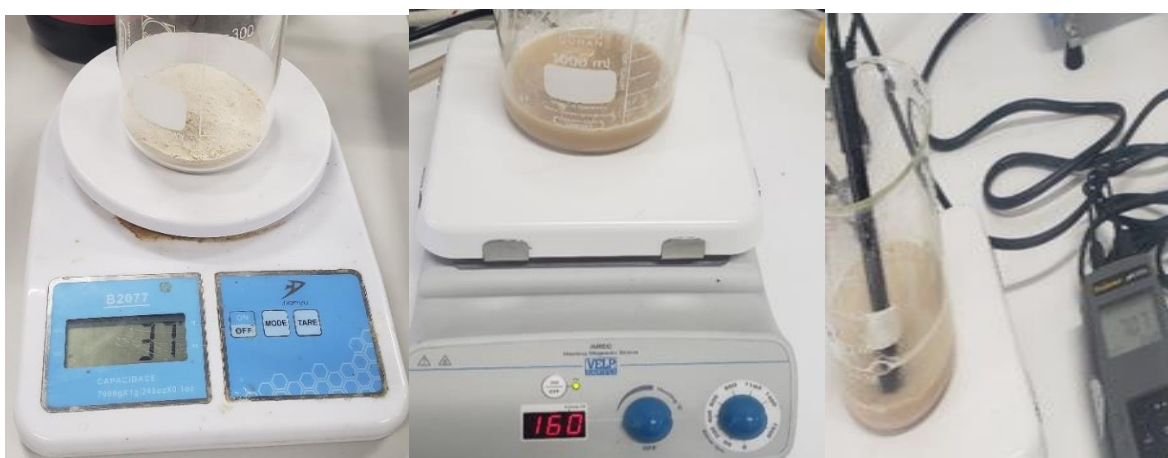


Figura 26. Proceso de desacetilación de las escamas de mojarra lora. Fuente. Propia.

Nota. La presente imagen, muestra el proceso de desacetilación y el lavado hasta llegar a pH neutro. Para obtener quitosano, mediante el método químico homogéneo.

9.2.6. Preparación de la solución quitosano como coagulante.

El Quitosano obtenido se disolvió 1g de quitosano en 100 ml de ácido acético al 0.1 M agitando constante a 100 rpm durante 1 hora; Posteriormente se disolvió en 1L de agua destilada, para obtener quitosano al 1%.

Tabla 9

Equipos necesarios para realizar el proceso de obtención de quitosano.

EQUIPOS NECESARIOS PARA EL PROCEDIMIENTO	
PROCESO DE OBTENCIÓN DEL QUITOSANO	DESCRIPCIÓN
EQUIPOS	Estufa, mechero bunker, tamiz, Balanza analítica, termómetro, mortero, horno. PH metro.
MATERIALES	Pipeta, Pipeteador, balón aforado, agitador, vasos precipitados, papel filtro, embudo, probetas, capsula de porcelana, cajas Petri, tubos de ensayo, gradilla y Erlenmeyer.
REACTIVOS	Hipoclorito de sodio 4.5%, hidróxido de sodio 10% y 40%, ácido Clorhídrico 0.5N, ácido acético 0.1M, agua destilada.

Nota. La Tabla presente los equipos, reactivos y materiales necesarios a utilizar, para realizar el procedimiento de obtención de quitosano. *Fuente.* Propia.

9.3. Determinación del grado de desacetilación del quitosano por valoración

potenciométrica

Para realizar la titulación potenciométrica del quitosano, se realizaron mediciones de pH con un potenciómetro, con el propósito de determinar el DD (grado de desacetilación), el cual es equivalente al porcentaje de grupos amino (% NH₂) presentes en la cadena polimérica del quitosano para lo cual se realizó el siguiente procedimiento:

1. Preparar una solución de HCl 0.20 N.
2. Preparar una solución de NaOH 0.25 M
3. Pesar aproximadamente 0.5 g de quitosano.
4. Mezclar en un matraz Erlenmeyer el quitosano con 50 ml de HCl 0.20 N.
5. Agitar esta dispersión constantemente hasta disolver el quitosano por un lapso de 2 h a temperatura ambiente.
6. Adicionar unas gotas de una solución de fenolftaleína antes de la valoración, para poder observar el cambio en el primer punto de inflexión, pasado el punto final de la fenolftaleína se incorpora posteriormente el anaranjado de metilo para detectar el segundo punto final.
7. Titular con una solución de NaOH 0.25M (previamente estandarizado).
8. Medir con un potenciómetro el cambio de pH que experimenta cada mezcla al añadir 2 ml de NaOH, después de cada adición agitar la solución, y registrar tanto el volumen añadido y el pH.

9. En la proximidad de los puntos finales se agregaron incrementos más pequeños de volumen del valorante más o menos de 0.1 a 0.2 ml, hasta adicionar un volumen de 60 ml de NaOH.
10. Los resultados obtenidos se tabularon en una Tabla, para determinar el punto final de la titulación, esto se determinó calculando el cambio del potencial por unidad de cambio del volumen del reactivo (es decir $\Delta E/\Delta V$).
11. Graficar la curva de titulación de donde se obtendrá dos puntos de inflexión, cuyos valores se determinarán según el criterio de la primera derivada.
12. Calcular la concentración del grupo amino con la Ec. 6, para posteriormente determinar el DD.

$$\% NH_2 = \frac{16.1 (Y-X)}{W} * F \text{ (E.C. 6)}$$

El procedimiento consistió en disolver el quitosano en un exceso conocido de HCl y se tituló con NaOH, obteniendo así una curva de pH frente al volumen de NaOH añadido; que presenta dos puntos de inflexión demostrados por la primera derivada (dpH/dV). La diferencia de volumen entre estos dos puntos corresponde al ácido consumido para la protonación de los grupos amino y permite determinar el grado de desacetilación.

9.4. Proceso de tratamiento de agua

9.4.1. Caracterización de parámetros de la calidad del agua.

Se realizó siguiendo los métodos estándar para el examen de agua y agua residual, descriptos por APHA, AWWA, WCF; para los parámetros de turbiedad, color, pH, dureza, alcalinidad y temperatura.

9.4.2. Coagulación.

9.4.2.1. Dosis optima de coagulante.

El montaje se realizó con pruebas de jarras donde se trabajó con dosis de 100 a 450 mg/l, teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Ching-yao (2013). para realizar la prueba se agregó 1 litro de agua destilada a cada uno de los 6 vasos precipitados de 1000 ml, posteriormente se adicionaron las diferentes dosis de coagulante establecidas, iniciando el mezclado rápido a 140rpm por 3 min. Para la mezcla lenta, el equipo de prueba se ajustó a 45rpm por 30 min, garantizando el crecimiento del floc. Finalmente, las jarras se dejaron en reposo durante 15 min para la sedimentación. Una vez terminado dicho proceso, se procedió a tomar una muestra de cada uno de los vasos de precipitado, para la determinación de los parámetros fisicoquímicos: turbidez, pH, y color. Determinar su % de remoción (ec.7)

$$\% \text{ Rendimiento} = (\text{peso final} / \text{peso inicial}) * 100 \quad \text{E.c (7)}$$

La determinación de la dosis optima de coagulante se determinó, mediante el valor de turbiedad más bajo registrado de las muestras.

9.4.3. Floculación.

9.4.3.1. Tiempo de mezcla lenta.

se realizó la caracterización al agua siguiendo la metodología APHA, AWWA, WCF. Posteriormente se inició el proceso de coagulación. Se llenaron 6 Becker de precipitados cada uno con 300 ml de la muestra de agua, se agregó la dosis optima previamente determinada y se pone en funcionamiento el equipo con una velocidad de 140 r.p.m. durante el tiempo optimo determinado (3 min); Pasado el tiempo de coagulación, se inició la floculación a 45 r.p.m.

ensayando con tiempos de 25, 30 y 35 minutos. Pasado estos tiempos se realiza una sedimentación por 15 minutos.

Finalizado todo el proceso de la prueba de jarra, se determinó el tiempo óptimo de floculación, tomando nuevamente una muestra del agua y midiendo los parámetros de calidad del agua, para ver la variación con respecto a los primeros datos. El tiempo óptimo se determina por la turbiedad más baja en dicho tiempo.

Tabla 10

Equipos necesarios para realizar el proceso de coagulación- floculación

EQUIPOS NECESARIOS PARA EL PROCEDIMIENTO	
PROCESO DE COAGULACION- FLOCULACION	DESCRIPCIÓN
EQUIPOS	color test, pH-metro, conductidi-metro, turbidi-metro, cronometro, equipo de jarras
MATERIALES	Erlenmeyer 250 ml, beaker 50, 100 y 1000 ml, probeta 100 y 250 ml, soporte universal, bureta 50 ml, pipetas, matraz aforado, embudo, goteros, jeringas, pinzas para el soporte universal.
REACTIVOS	EDTA 0.01m, ácido clorhídrico 0,02m, verde de bromocresol, solución buffer, fenolftaleína

Nota. La Tabla presente los equipos, reactivos y materiales necesarios a utilizar, para realizar el procedimiento de coagulación- floculación. *Fuente.* Propia.

10. Análisis y resultados

10.1. Obtención y caracterización de quitosano

10.1.1. Proceso de despigmentación.

Tabla 11

Resultados de prueba de despigmentación.

Peso inicial (g)	Solución NaClO	Relación quitina/ NaClO (p/v)	T °C	Tiempo de agitación (h)	Peso final (g)	Rendimiento (%)
100	4.5%	1:10	25	1	78	78

Nota. La tabla presentada muestra los resultados del procedimiento experimental de obtención de quitosano en la etapa de despigmentación. *Fuente.* Propia.

En la tabla 11, se presentan los resultados del proceso de despigmentación, donde se obtuvo un polvo tipo arenilla color amarillo, que puede apreciarse en la Figura 27. Este polvo presenta una apariencia similar a la de la quitina, descrita en la tabla 3. Para esta etapa se obtuvo una materia prima despigmentada con un cambio de color de gris claro (ver figura 27) a un tono amarillento debido al contacto con el hipoclorito de sodio, obteniendo al final del proceso un rendimiento del 78%. Al comparar el rendimiento obtenido, con el descrito por Palma (2017) que fue del 27%, se observa que el rendimiento de esto investigadores fue menor debido a que el tipo de escamas que se utilizó no se disgregan fácilmente con el hipoclorito de sodio.

Como la principal función de realizar este proceso es eliminar cualquier pigmento presente en la muestra; Palma (2017) afirma que en este procedimiento el tamaño de la partícula influye en el proceso; si se trabaja con una partícula pequeñas como se realizó en este caso

(malla 40), se realizarán 4 - 5 lavados con un tiempo promedio de 15 minutos entre cada lavado, pero si se trabajará con partículas más grandes se aplicará de 6 -8 lavados, debido a que el hipoclorito de sodio disgrega la materia prima convirtiéndose al final del proceso en un polvo muy fino blanco amarillento, sin embargo, se debe tener cuidado con su uso, ya que se ha reportado que puede ocasionar modificaciones en la morfología de la quitina (Fong, L, 2012).



Figura 27. Materia prima despigmentada antes y después del proceso de despigmentación. Fuente. Propia.

Nota. La imagen expuesta muestra el cambio de color al realizar el proceso de despigmentación, para obtener quitosano.

10.1.2. Proceso de desproteinización.

Tabla 12

Resultados de prueba de desproteinización.

Peso inicial (g)	Solución	Relación quitina/NaOH (p/v)	T °C	Tiempo de agitación (h)	Peso final (g)	Rendimiento (%)
------------------	----------	-----------------------------------	------	-------------------------------	----------------------	--------------------

78	NaOH 10%	1:10	25c	4	61	78.20
----	----------	------	-----	---	----	-------

Nota. La tabla presentada muestra los resultados del procedimiento experimental de obtención de quitosano en la etapa de desproteínezación. *Fuente.* Propia.

En la tabla 12, se presentan los resultados obtenidos de la segunda etapa de la metodología que consistió en la desproteínezación. El rendimiento en porcentaje masa de esta etapa fue del 78.2 %. En esta etapa se observó presencia de espuma y olor a pescado cocido (ver figura 25); al realizar los lavados correspondientes para llevar la muestra hasta un pH neutro se observa un cambio en la textura de la muestra, pasando de una textura fina a granulada (ver figura 28).



Figura 28. Materia prima desproteínezada. *fuentes.* Propia.

Nota. La imagen muestra el resultado obtenido del proceso de desproteínezación de las escamas de mojarra lora.

En esta fase, se obtuvo un rendimiento del proceso del 78%, lo cual indica que se logró romper los enlaces de hidrógeno que unen las moléculas de proteína, para así solubilizarlas, sin disgregar la materia prima. Palma (2017) obtuvo un rendimiento del 92% utilizando las mismas

condiciones de operación presentadas; la diferencia del rendimiento puede deberse a la composición de las escamas utilizadas ya que el utilizo escamas de trucha arco iris y en este trabajo se utilizaron escamas de mojarra lora.

Para comprobar la eficiencia del proceso de una manera más cuantitativa se realizó una determinación del porcentaje de proteína, mediante el método KJELDAHL. Los resultados se presentan en la tabla 13; al realizar la comparación con otras materias primas se observa que el proceso fue adecuado, debido que al obtener un porcentaje de proteínas final bajos se eliminó prácticamente toda la fracción proteica presente en las escamas. En comparación con las escamas de la trucha arco iris que obtuvo un rendimiento mayor (92%) que el expuesto en este trabajo (78%). Su alto rendimiento puede deberse a que las escamas de trucha arco iris no se desproteinizo totalmente, por lo cual no se desintegro en una proporción mayor su materia prima.

Tabla 13

Comparación de % de porcentaje de proteína de diferentes orígenes de quitosano.

DETERMIANCIÓN DE PROTEINA			
ORIGEN	PROTEINA INICIAL	PROTEINA FINAL	BIBLIOGRAFIA
Escamas de mojarra lora.	49.12%	<2.45%	propia
Escamas de trucha arco iris.	62.89%	6.94%	(Tello palma, 2017)

Qitosano comercial acros	--	39.91%	(Cabarcas, 2011)
---------------------------------	----	--------	------------------

Nota. La Tabla muestra diferentes orígenes de qitosano y sus % de proteína, comparados con el % porcentaje de proteína de la mojarra lora. *Fuente.* Propia.

10.1.3. Proceso de desmineralización.

Luego del proceso de desmineralización se obtuvo un polvo blanco fino, que puede apreciarse en la Figura 29a. Este polvo presenta una apariencia similar a la de la quitina obtenido por Palma (2017) a partir de *escamas de trucha arco iris* y Márquez (2019) a partir de Cascaras de camarón (ver figura 29 b). Además, en la tabla 14, se presentan los resultados del proceso de desmineralización. El rendimiento de esta etapa del proceso de obtención fue del 88.52%, que corresponde a un rendimiento alto. Palma (2017) obtuvo un rendimiento del 77% utilizando el mismo procedimiento.

Tabla 14

Resultados de prueba de desmineralización.

Peso inicial (g)	Solución	Relación (p/v)	T °C	Tiempo de agitación (h)	Peso final (g)	Rendimiento (%)
61	HCl 0.5N	1:10	25	3h	54	88.52

Nota. La tabla presentada muestra los resultados del procedimiento experimental de obtención de qitosano en la etapa de desmineralización. *Fuente.* Propia.



Figura 29. Comparación de quitina obtenida con otras materias primas de quitina A) escamas de mojarra lora, B) escamas de trucha arcoíris y cascara de camarón. *Fuente.* Propia, (Tello palma, 2017), (Márquez, 2019).

Nota. Las imágenes presentadas muestran resultados a manera de comparación de obtención de quitosano en la etapa de desmineralización.

La quitina es un biopolímero que puede desnaturalizarse por efecto de la temperatura. Por lo que se debe tener en cuenta evitar los tratamientos a temperaturas muy elevadas, (García, 2017). Por lo cual en esta etapa se trabajó con una temperatura ambiente igual que en los pasos anteriores. Otra etapa importante es el lavado, porque si quedará retenido el ácido en la estructura sólida, podría producir la ruptura de la cadena polimérica de la quitina (Márquez,

2019). Para evitar este inconveniente se debe agregar una solución alcalina en pequeñas cantidades hasta que el sobrenadante alcance un pH neutro, sobre todo si la desacetilación para obtener quitosano no se realiza inmediatamente (*Palma, 2017*).

En la tabla 15, se observan los resultados de la determinación de ceniza; Prueba analítica seleccionada en este trabajo para evaluar la eficiencia del proceso de desmineralización. Con este proceso quedo registrado que aún hay un alto porcentaje de ceniza en la muestra de quitina, debido a la cantidad de minerales presentes en las escamas de mojarra lora, lo cual genera que el proceso de desmineralización no sea tan eficiente.

Tabla 15

Comparación de % de porcentaje de cenizas de diferentes orígenes de quitosano

DETERMIANCIÓN DE CENIZA			
ORIGEN	CENIZA INICIAL	CENIZA FINAL	BIBLIOGRAFIA
Escamas de mojarra lora.	75.70%	40.52%	propia
Escamas de trucha arco iris.	26.71%	75.15%	(palma, 2017)

Nota. La Tabla muestra diferentes orígenes de quitosano y su % de ceniza, comparados con el obtenido de la mojarra lora. *Fuente.* Propia.

10.1.4. Proceso de desacetilación.

La desacetilación es la última parte del proceso para obtener quitosano, en la figura 26, se puede observar que la quitina presentaba una estructura granulada de color blanco, pero al terminar el proceso se obtuvo un polvo blanco muy fino (ver figura 30) correspondiente al

quitosano. En esta etapa se produce la derivatización total de la quitina, siendo la principal reacción la hidrólisis de las funciones químicas acetamida para generar el polímero desacetilado quitosano (las unidades de acetilo son sustituidas por grupos aminos) (Márquez, 2019).



Figura 30. Materia prima desacetilizada. *Fuente:* propia.

Nota. La figura muestra el resultado obtenido, después de proceso de desacetilación, donde se obtuvo quitosano.

La tabla 16, presenta los resultados del procedimiento; se obtuvo un rendimiento del 30%, mientras que Palma (2017), obtuvo un 38.81 % y Márquez (2019) un 41.14% de rendimiento. El bajo rendimiento obtenido en comparación con estos autores, posiblemente se debe a que en esta etapa se requiere un tiempo mayor para obtener quitosano soluble en medio ácido. También es importante resaltar que este rendimiento es producto del aumento de la temperatura de reacción, para incrementar el porcentaje de desacetilación, pero el tamaño del polímero disminuye, debido a las reacciones de degradación que sufren los polisacáridos con la temperatura. Dicha disminución de la pérdida de peso molecular del polímero puede evitarse con

la ausencia de oxígeno o con la presencia de un antioxidante para evitar así su despolimerización (Vásquez *et al*, 2011).

Tabla 16

Resultados de prueba de desacetilación

Peso inicial (g)	Solución NaOH	Relación quitina/NaOH (p/v)	T °c	Tiempo de agitación (h)	Peso final (g)	Rendimiento (%)
30	40%	1:10	80	4	9	30

Nota. La tabla presentada muestra los resultados del procedimiento experimental de obtención de quitosano en la etapa de desacetilación. *Fuente.* Propia.

Para conocer la eficiencia del proceso de obtención de quitosano se debe conocer el grado de desacetilación (DD, por sus siglas en ingles), lo cual se puede obtenerse mediante una titulación potenciométrica.

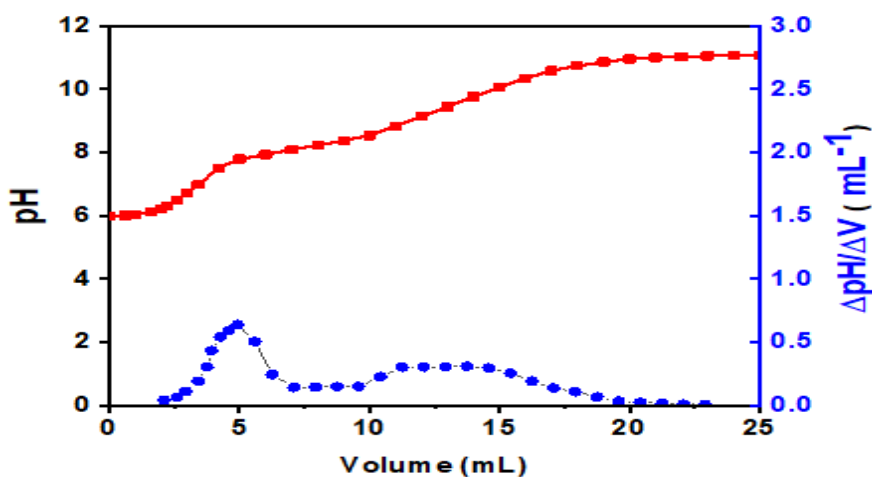


Figura 31. Grafica de resultado de prueba potenciométrica ($\Delta pH/\Delta V$). *Fuente.* Propia.

Nota. La presente figura, muestra la $\Delta\text{pH}/\Delta\text{V}$ del quitosano obtenido, consiguiendo saber el grado de DD de las escamas de mojarra lora.

La representación de la derivada del pH con respecto al volumen adicionado ($\Delta\text{pH}/\Delta\text{V}$) presenta dos valores máximos para los puntos de inflexión de la curva del pH versus el volumen, (figura 32). Al aplicar el criterio de la primera derivada, se puede observar claramente los puntos de inflexión, a 3.5 ml y 13.05 mL, con los cuales se determinó el DD del quitosano obtenido, aplicando la ecuación 6 propuesta por (Díaz, 2002).

$$\% \text{NH}_2 = \frac{16.1 (Y-X)}{W} * F \quad \text{Ec. 6.}$$

Donde:

y = punto de inflexión mayor, expresado en volumen

x = punto de inflexión menor, expresado en volumen

f = molaridad de la solución de NaOH

W = peso de la muestra expresado en gramos

16.1 = factor relacionado con el peso equivalente del quitosano

Desarrollando la E.C.6:

Y=13.05 ml

X=3.5 ml

F= 0.25

%NH₂= ((16.1 *(13.05-3.5)) /0.5) *0.25

%NH₂: 76.877 % E.c (8)

Dicho grado de desacetilación está en relación directa con la cantidad de grupos aminos libres y es una propiedad importante en la producción del quitosano debido a que afecta a las propiedades fisicoquímicas y la biodegradabilidad entre otras. En la tabla 17 se realiza una comparación del grado DD de dos tipos de quitosano que son de grado comercial y que se utilizan para diferentes actividades

Tabla 17

Comparación de % DD de diferentes orígenes de quitosano

DETERMINACION DEL GRADO DE DESACETILIZACION.		
ORIGEN	%DD	BIBLIOGRAFIA
Escamas de mojarra lora.	76.87	propia
Escamas de trucha arco iris.	87.01	(palma, 2017)
Conchas de camarón	87.92	(Márquez ribera,2019)
Quitosano comercial aldrich sigma	<75.0	Aldrich sigma
Quitosano comercial acros	88.61	(palma, 2017)

Nota. La tabla muestra diferentes orígenes de quitosano y sus % DD, comparados con el obtenido de la mojarra lora.

Fuente. Propia.

El quitosano obtenido a partir de la escama de mojarra en este trabajo presentó un grado de acetilización inferior al presentado para el quitosano comercial (88%) y al obtenido de concha de camarón y escamas de trucha arco iris. Sin embargo, cumple con el requerimiento del grado de acetilización superior al 75% para ser considerado quitosano; el cual se puede aplicar en diferentes tipos de industria y para tratamiento de agua.

10.2. Aplicación del quitosano

10.2.1. Caracterización de agua de río.

Para desarrollar la aplicación de quitosano como agente coagulante, inicialmente se caracterizó la muestra de agua de río a utilizar, para poder así comprobar la eficiencia del proceso mediante los porcentajes de remoción de los parámetros evaluados. En la tabla 18, se presenta la caracterización inicial de la muestra de agua a ser utilizada para evaluar la efectividad del quitosano obtenido como agente coagulante. turbiedad, pH, alcalinidad, color y temperatura.

Tabla 18

Caracterización de muestra de agua de río magdalena

Parámetros	Unidad de medida	Muestra			Promedio	Desviación estándar
		1	2	3		
Turbiedad	UNT	335	333	328	332	2.94
Color	UPC	470	500	500	490	17.32
pH	Unidad de pH	8.45	8.23	8.06	8.24	0.16
Alcalinidad	mg/CaCO ₃	80	80	80	80	0.00
Temperatura	°C	24.8	24.5	24.8	26.03	0.68

Nota. La tabla expuesta muestra los resultados de la caracterización de la muestra de agua de estudio para realizar el proceso de coagulación – floculación. *Fuente.* Propia.

10.2.2. Dosis óptima de coagulante.

En la figura 32, se observa la variación de la turbiedad y el porcentaje de remoción en función de la dosis de quitosano aplicada., al terminar las pruebas de jarras por medio del porcentaje de remoción de la turbiedad se observa que el coagulante a base de quitosano

funciona. Se puede observar también que a medida que aumenta la dosis de coagulante, aumenta el porcentaje de remoción (disminuye la turbiedad). Cuando la dosis de coagulante es aumentada de 100 mg/l a 450mg/l se observa una disminución en la turbiedad promedio, pasando de 235 y 113 UNT, correspondiente a una remoción de ~ 30 % hasta 72%.

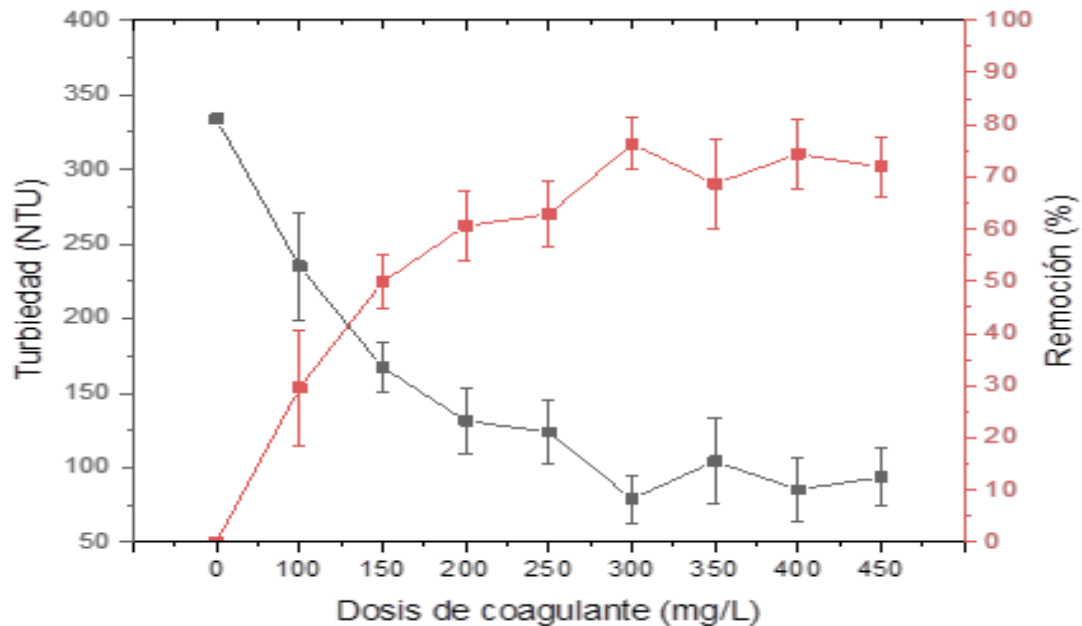


Figura 32. Resultados de determinación de dosis óptima de coagulante. Fuente. Propia.

Nota. La figura muestra la dosis óptima del proceso de coagulación que es de 300mg/l, además de permitir observar cómo se comportó el coagulante a diferentes dosis.

Sin embargo, para dosis de coagulante por encima de 300mg/l, no se observan cambios significativos en la turbiedad; esto puede atribuirse a que a dichas dosis (350 a 450 mg/l) el coagulante ya no está haciendo efecto a causa de la alta cantidad que produce la inversión de la carga de la partícula, y las partículas que se alcanzaron a unir se separan, conduciendo a la formación de una gran cantidad de microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades

de sedimentación son muy bajas. De tal modo que la dosis de 300 mg/l fue considerada como dosis óptima para el proceso de coagulación (ver figura 33).

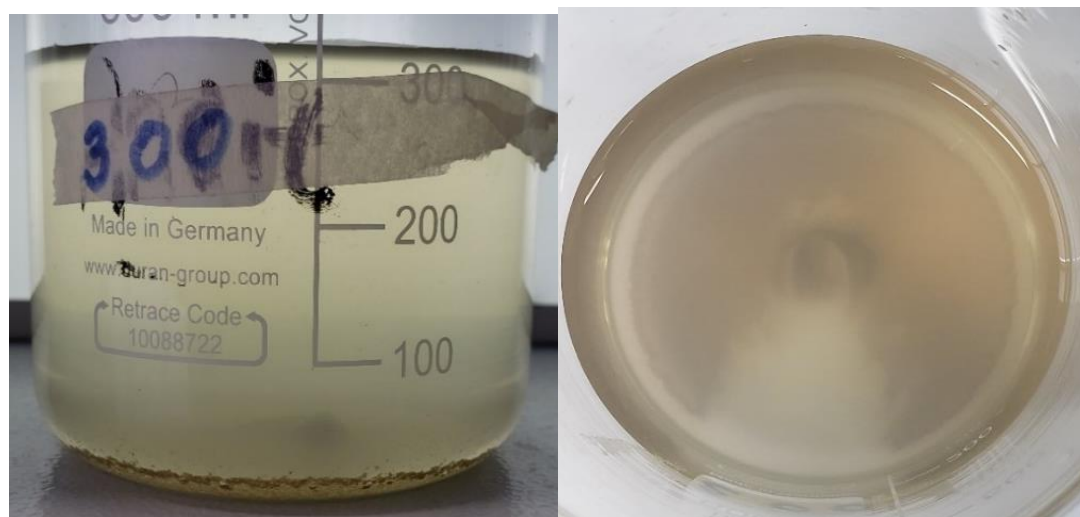


Figura 33. Resultado de prueba de jarra dosis optima de coagulante (300mg/l). fuente. Propia.

Nota. La figura muestra el resultado de la dosis optima después del proceso de coagulación – floculación.

Tabla 19

Comparación de dosis de coagulante (quitosano)

Año	Autor	Quitosano	Tipo de agua	Dosis de Coagulante (mg/L)	Porcentaje de remoción	Turbiedad inicial (NTU)
2012	(Zemmouri et al., 2012)	Chitosan, purchased from Sigma®	Agua cruda usada en una planta de tratamiento	1mg/L	~ 17%	7.8

2019	(Marey, 2019)	Quitosano	aguas				
		mínimo 85%	residuales				
		preparado a	del	quitosano +			
		partir de	Canal de	bentonita 1 y 5	97.7 %		100.7 NTU
		las conchas de	Ismailia	mg / L a PH 7,4			
		cangrejo de	(sucursal				
		ACROS	Mostour)				
		ORGANICS					
			agua con				
			turbidez				
2021	(Siswoyo et al., 2021)	Quitosano de	artificial,	dosis de	100%		14 artificial
		concha de	agua de río	coagulantes (100,	72%		81 rio
		vieira	de la zanja de	150, 200, 250 y	87%,		1047
		(Amusium	Mataram y	300 mg / L)			
		pleuronectes)	aguas		respectivamente		residual
			residuales de				
			batik				

Nota. La tabla muestra comparación con diferentes dosis de coagulantes. *Fuente.* Propia.

La tabla 19, muestra una comparación con diferentes tipos de quitosano, en la cual se puede determinar que la eficacia del quitosano depende en gran medida de la turbidez inicial y de la dosis de quitosano. Marey (2019) y Siswoyo (2021), realizaron quitosano a partir de conchas de cangrejo y de viera respectivamente, obteniendo un buen porcentaje de remoción para la turbiedad. Siswoyo (2021) trabajó con las mismas dosis expuestas en este trabajo, teniendo agua del río de la zanja como estudio y obtuvo un porcentaje de remoción de 72%, por lo cual, es congruente que las dosis que se seleccionaron para estudio fueron las adecuadas. Del mismo

modo se comparo con un quitosano de marca comercial (Sigma), siendo de resaltar que los otros coagulantes no comerciales incluidos el realizado en esta investigación, también obtuvieron una alta disminución en la turbiedad del agua a tarta. Se tiene en cuenta que este quitosano comercial (Sigma), tiene un alto grado desacetilación, lo cual explica su alta remoción de turbiedad, en comparación con los otros autores.

10.2.3. Tiempo de floculación.

Luego de establecer la dosis de coagulante, el tiempo de floculación fue evaluado. La figura 35 muestra los resultados del porcentaje de remoción de Turbiedad, obtenidos al variar los tiempos de floculación de 25, 30 y 35 minutos. Teniendo en cuenta la figura 35, se determinó que el mejor tiempo para trabajar la floculación es de 30 minutos, debido que a este tiempo se observa una reducción de la turbiedad del 45%; aparentemente pasado este tiempo se desintegran los flóculos formados y los valores de turbiedad arrojados en el tiempo de 35 minutos aumentan; para el caso de la floculación en 25 minutos ocurre lo contrario el tiempo es muy corto y la floculación no se efectúa completamente.

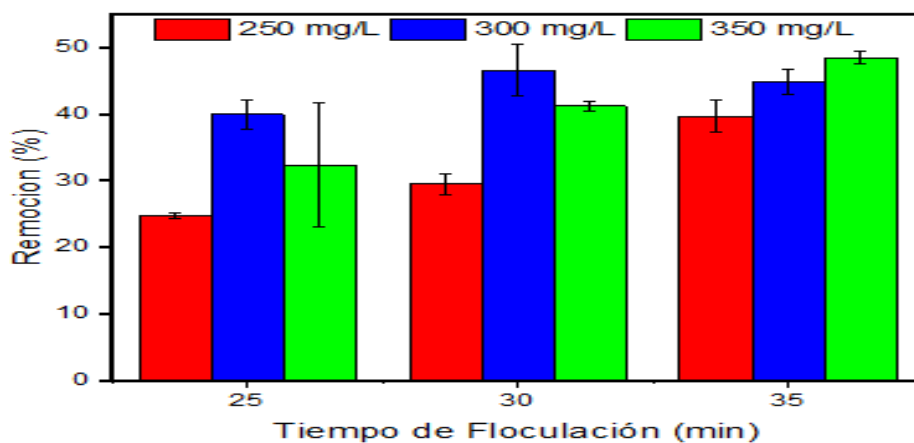


Figura 34. Resultado efecto del % remoción de tiempo de floculación. Fuente. Propia.

Nota. La imagen presenta la influencia del tiempo de floculación en la turbiedad y esta expresada también en términos de % de remoción.

En la tabla 20, se observa el tiempo de coagulación reportado para quitosano comercial, obtenido de otras fuentes. los tiempos de floculación que oscilan desde los 20 a 30 minutos, ya que, pasado estos tiempos, los flóculos se descomponen y es muy difícil que vuelvan a unirse las partículas nuevamente. Es importante resaltar que no solo la dosis optima de coagulante si no también el tiempo de floculación son influenciados por el grado de DD; Nieto (2011) reporto que obtuvo buenos porcentajes de remoción utilizando este tiempo, pero tuvo un grado de DD mayor al obtenido en este trabajo (85%). En el caso de caldera (2015) y Márquez (2019) trabajaron con conchas de camarón igual que Nieto (2011), lo cual indica que el origen de la materia prima también influye en los porcentajes de remoción de turbiedad y demás los parámetros que se deseen evaluar.

Tabla 20

comparación de tiempos de floculación con otros orígenes de quitosano

COMPARACION TIEMPO DE FLOCULACION.		
ORIGEN DE QUITOSANO	TIEMPO DE FLOUCLACION	AUTOR
Escamas de mojarra lora.	30 min	propia
Sulfato de quitosano	30 min	Donato (2006)
Conchas de camarón	5 min	nieto (2011)
Quitosano comercial aldrich sigma	30 min	Diaz (2015)
Quitosano comercial y conchas de camarón	20 min	caldera (2015)

Conchas de camarón	20 min	Márquez (2019)
---------------------------	--------	----------------

Nota. La tabla muestra diferentes orígenes de quitosano y los tiempos de floculación empleados en el proceso de tratamiento de agua, comparados con el obtenido de la mojarra lora. *Fuente.* Propia.

10.3. Análisis estadístico (ANOVA)

Para evaluar el efecto de la dosis de coagulante y el tiempo de floculación sobre la turbiedad del agua se realizó un análisis estadístico de varianza (ANOVA). La tabla 21, muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones.

Tabla 21

Análisis de varianza para turbiedad (ANOVA)

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor -P
A: Tiempo de floculación.	10472.1	1	10472.1	58.72	0.0000
B: Dosis de coagulante.	6426.69	1	6426.69	36.04	0.0000
AA	53.4815	1	53.4815	0.30	0.5865
AB	16.6667	1	16.6667	0.09	0.7611
BB	5911.12	1	5911.12	33.15	0.0000
Error total	8559.85	48	178.33		
Total (corra)	31439.9	53			

Nota. La tabla muestra los resultados del análisis estadístico realizado, para observar la significancia de las variables A y B. *Fuente:* propia.

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de turbiedad en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su

cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 3 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%. lo que indica que las variables tiempo de floculación dosis de coagulante si afectan significativamente ($p\text{-valor} < 0.05$) la remoción de la turbiedad del agua. A parte de este análisis de varianza, se puede establecer que los cambios en el rendimiento no se deben a factores externos, sino más bien a factores de las variables de dosis optima de coagulante y tiempo de floculación.

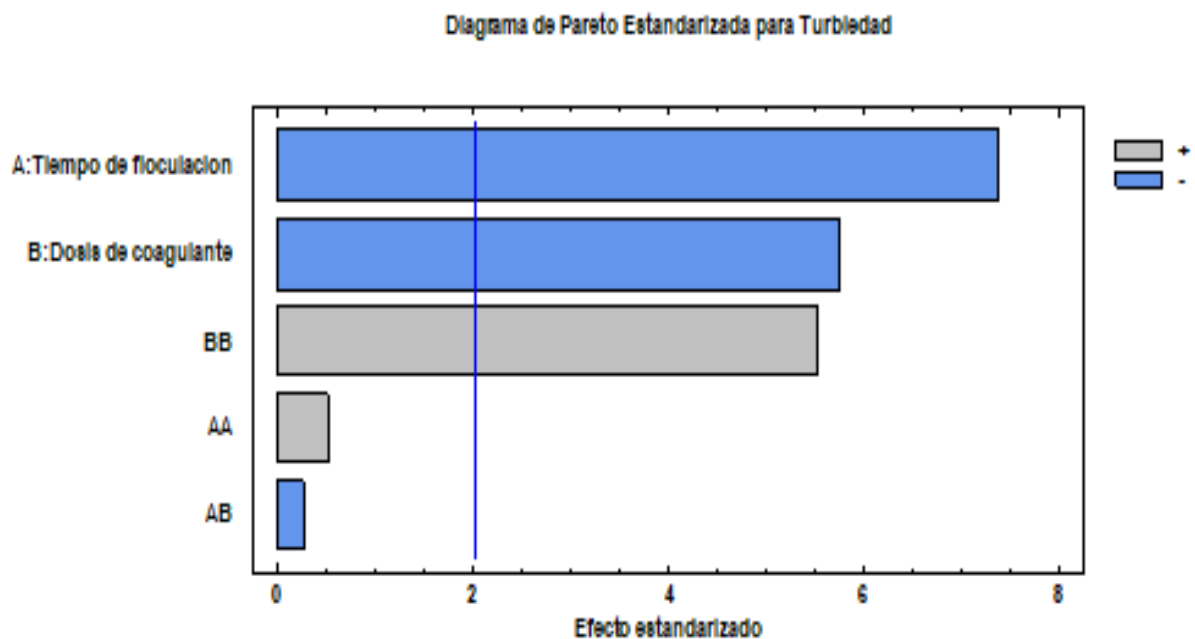


Figura 35. Diagrama de Pareto estandarizado para turbiedad. Fuente. Propia.

Nota. La figura muestra el diagrama de Pareto para la turbiedad, teniendo en cuenta la significancia de las variables A y B. Es una representación gráfica de la Tabla 18.

lo anteriormente dicho se expresa mejor en el diagrama de Pareto (figura 35), donde se muestra los factores de entrada y a sus combinaciones entre sí, colocados en orden de

importancia, siendo el tiempo de floculación de mayor inferencia sobre el rendimiento de la remoción de turbiedad, seguido de la dosis óptima de coagulante y por último la combinación entre estos factores. los valores por encima de la línea de efecto estandarizado son significantes en el valor de turbiedad obtenido.

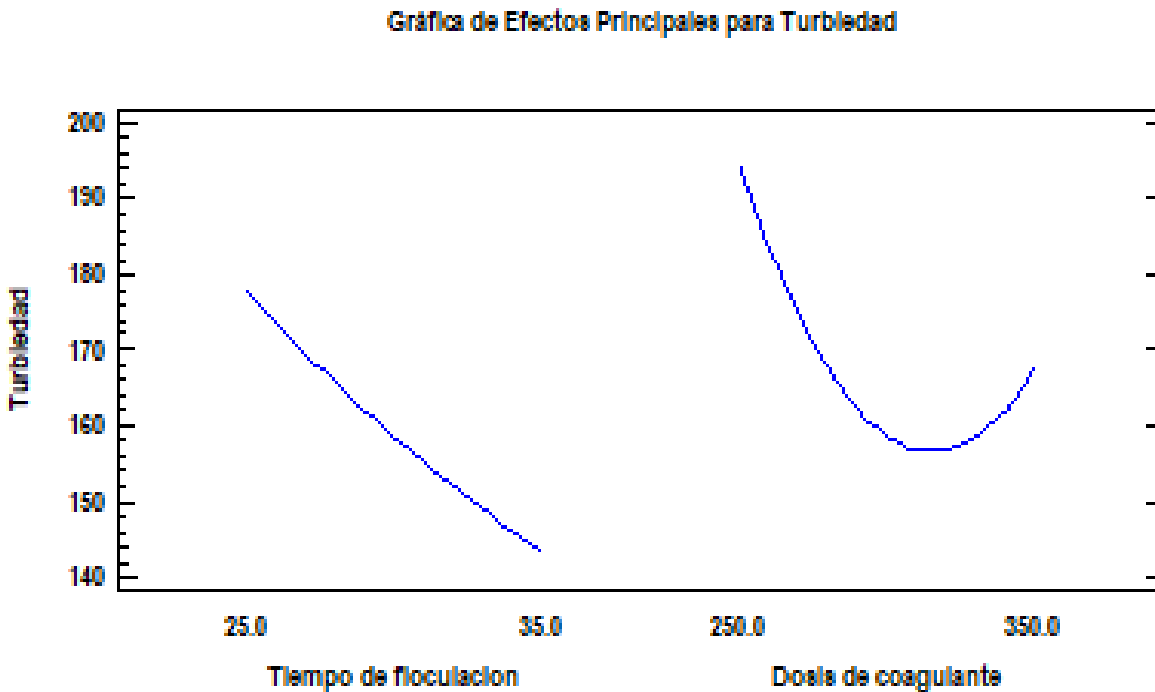


Figura 36. Efectos principales para turbiedad (a) tiempo de floculación, (b) dosis de coagulante. Fuente. Propia.

Nota. La imagen expone el comportamiento de la turbiedad con la influencia de la dosis del coagulante y el tiempo de floculación. Muestra el comportamiento de los diferentes valores utilizados al realizar la prueba de jarras, para encontrar los parámetros óptimos.

Teniendo presente la figura 36, podemos ver cómo es la relación de los factores evaluados; donde se observa que a mayor tiempo de floculación menor es la turbiedad (figura

36a), con una relación inversamente proporcional, entre estas variables. Mientras que para el caso de dosis de coagulante se observa una relación cuadrática o de segundo orden (figura 36b). Es decir, se observa que, al incrementar dicha dosis, la concentración de la turbiedad disminuye razón por la cual la gráfica es cuadrática o exponencial, debido a que pasada la dosis optima de 300 mg/l en este punto el coagulante ya no hace efecto, debido a que el coagulante no tiene con quien reaccionar.

10.4. Comparación con normativa

Tabla 22

Comparación con resolución 2115 del 2007

Parámetros	Unidad de medida	Muestra final	Normatividad (res.2115)	Cumplimiento
Turbiedad	UNT	76.30	2	No cumple
Color	UPC	370	15	No cumple
pH	Unidad de pH	7.13	6,5 - 9,0	Cumple
Alcalinidad	mg/CaCO ₃	80	200	cumple

Nota. La tabla muestra la comparación realizada de la caracterización final del agua después del proceso de coagulación- floculación, con los límites máximos permisibles de la resolución 2115. *Fuente.* Propia.

Al realizar la comparación con la resolución 2115 del 2007 (Tabla 22), se observa que la turbiedad y el color no cumplen con el límite máximo permisible. El incumplimiento de estos dos parámetros de la normatividad puede deberse a factores como el grado de desacetilación del quitosano, por lo que si se consigue con un grado superior (>76%) esto puede hacer que la turbiedad baje aún más, llegando a cumplir con la normatividad. No se consideró un ayudante en

el proceso, debido a que se busca observar que tan eficaz es el coagulante, por lo cual un ayudante en el proceso interferiría con la finalidad del estudio.

Adicionalmente se debe tener en cuenta que tipos de minerales se encuentran en las escamas de pescados, para poder saber si las escamas que se están utilizando facilitan la retención de impurezas; lo cual puede producir que el proceso de desmineralización no sea eficiente, por lo que debería probarse otros disolventes a parte del HCl para divisar cual tiene un mejor efecto en la disminución de minerales. Sin embargo, aunque no se cumple con los límites de la resolución 2115, se obtuvo un porcentaje de remoción de la turbiedad del agua del 76,30%

se han realizado estudios sobre diferentes escamas de pescados, en las cuales se encontró la presencia de ciertos metales pesados como el Cd, Cr, Cu, Fe, Hg y pb, los cuales ocasionan un alto porcentaje de ceniza.; La probabilidad que estos metales se encuentran también en las escamas de este proyecto es alta, por lo que se sugiere realizar un análisis proximal para saber qué tipos de metales y en que concentración se encuentran en las escamas a trabajar, para posteriormente hacer un barrido en la muestra después del tratamiento de coagulación – floculación para evitar así tener un coagulante toxico, por la presencia de estos minerales.

Es importante resaltar que el proceso de tratamiento no está completo, debido a que solo se está generando la parte de coagulación-floculación y sedimentación, dejándose de lado la parte de filtración, la cual ayuda a retirar impurezas en la muestra, facilitando la disminución de la concentración del color principalmente y turbiedad.

11. Conclusión

Se obtuvo quitosano a partir de las escamas de la mojarra lora por método químico homogéneo. En el proceso de **despigmentación**, se obtuvo un rendimiento del 78 %; en el proceso de **desproteinización** un rendimiento de 78.20%. Para la **desmineralización** un rendimiento de 88.52% y para el proceso de **desacetilación** de la quitina el proceso tuvo un rendimiento del 30 %.

Al realizar el proceso de tratamiento de agua, la coagulación se realizó por absorción debido a la alta concentración de partículas coloidales, efectuándose de forma casi inmediata. Posteriormente para comprobar la eficiencia de las escamas como coagulante, se realizaron test de jarras para conocer la dosis óptima de coagulante y el tiempo de floculación; en los cuales se encontró que la dosis óptima es de 300mg/l y un tiempo de floculación de 30 min; Adicionalmente se realizó una comparación literaria entre el coagulante elaborado con coagulantes usados de forma comercial; obteniendo resultados favorables para el grado de desacetilación, proteínas (<2.45%) y remoción de turbiedad.

Se realizó la caracterización del agua de río, utilizada para evaluar la efectividad del quitosano como coagulante. Al comparar estos valores con los establecidos en la resolución 2115 del 2017, la turbiedad y el color final, sobrepasan los límites máximos permisibles. Sin embargo se obtuvo una reducción del 76% para la turbiedad y 24.48% para el color. Para mejorar los valores obtenidos finales y lograr una mayor reducción de la turbiedad, se debe tener en cuenta la influencia de los metales pesados que hay en las escamas de mojarra lora, que disminuyen la eficiencia del proceso de obtención del quitosano, por lo que se tiene que lograr obtener un grado

mayor desacetilación y así lograr remover más partículas coloidales y eliminar el color presente en la muestra de agua a tratar.

Actualmente se utiliza mucho en diferentes actividades económicas el quitosano extraído de exoesqueleto de camarón debido a que estos han presentados un grado alto de desacetilación; pero en esta investigación se trabajó con escamas de mojarra lora, y se han obtenidos resultados muy favorables y un grado de desacetilación alto. Además, se ha comparado en las diferentes etapas del proceso de obtención, con quitosano utilizado comercialmente y con el adquirido de conchas de camarón alcanzado mejores resultados en términos de reducción de proteínas y despigmentación, así mismo se ha logrado disminuir notablemente la turbiedad para muestra de agua de río tratada para ser potable.

Teniendo en cuenta todos los resultados obtenidos desde la producción del quitosano hasta su uso en el tratamiento de agua del río Magdalena; se cumplen los objetivos planteados en el presente proyecto, obteniendo quitosano con un grado alto de desacetilación (76%.87), removiendo la turbiedad con un porcentaje de 76%.

12. Recomendaciones

- Probar otros orígenes de producción de quitosano (otro tipo de escamas) y evaluar el comportamiento del proceso.
- Ensayar con otros disolventes a él HCl para la etapa de desmineralización, y valorar cual tiene mejor reducción de cenizas.
- Controlar los tiempos de operación y la agitación de los procesos, pero sobre todo la temperatura; debido a su influencia directamente a la degradación del polímero.
- Realizar test de jarra para determinar el tiempo de coagulación, el pH óptimo y solución del coagulante.
- Incluir la etapa de filtración en el proceso de tratamiento del agua.
- Para mejorar los porcentajes obtenidos se deben realizar un barrido a las escamas de pescado antes de preparar el coagulante para así poder determinar y eliminar los minerales que tengan presentes.
- Realizar una remoción de metales pesados, para así obtener un coagulante no toxico.
- Se puede utilizar en otros procesos, no solo para tratamiento de agua, sino a nivel microbiológico, debido a que el quitosano es de origen orgánico y tiene características como antimaterial y en la agricultura como fertilizante y nutriente del suelo, debido al grado de proteínas que presenta.

13. Referencias

- A. Zambrano and D. Liliana. (2008). Modelo de correlación entre las variables medibles en línea que afectan el proceso de determinación de la dosis óptima.
- Agulló, E., Mato R., Peniche, C., Tapia, C., Heras, A., Pastor de Abram A, et al. (2004). Quitina y quitosano: obtención, caracterización y aplicaciones. Ed. Ana Pastor de Abram. Lima, Perú: Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Álava, J. M. (2015). Aplicación de quitosano como biocoagulante en aguas residuales contaminadas con hidrocarburos. *Enfoque UTE*, 6(3), 52-64.
- Andia, Y. (2000). Tratamiento de Agua. 16-17.
- APHA, AWWA, WCF. Standard Methods for the Examination of Water and Waste. 18th Ed. American PublicHealth Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation, Washington, DC., USA, 1998, 1207 pp
- Arboleda. (1994). Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y pesca (AUNAP) y Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura FAO. (2014). Plan Nacional para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura en Colombia PlaNDAS. Recuperado el 15 de 08 de 2020, de Pagina de AUNAP: <http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Plan-Nacional-para-el-Desarrollo-de-la-AcuiculturaSostenible-Colombia.pdf>.
- Balanta, D.; Grande, C. D.; & Zuluaga, F. (2010). Extracción, identificación y caracterización de quitosano del micelio de *Aspergillus Níger* y sus aplicaciones como material bioadsorbente en el tratamiento de aguas. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 11(5), 297-316.

- Barth, H.; Habs, M.; Klute, R.; Müller, S.; Tauscher, B. (1982). Trinkwasseraufbereitung mit samen von *Moringa oleifera* lam. Chemiker-Zeitung (Drinking Water Treatment with *Moringa oleifera* Seeds). Chemists Newspaper, 106, 75–78.
- Berghoff, C. F. (2011). Desarrollo y caracterización de matrices compuestas quitosano/polímero sintético para regeneración de tejido óseo. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de la Plata - Facultad de Ciencias Exactas. Argentina.
- Cabarcas, M., Marimón, W., & Miranda, M. (2011). *Diseño de un proceso económico y competitivo para la extracción de quitina y producción de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón*. (Tesis de grado). Universidad de Cartagena, Colombia.
- Camp, T. R. (1943). Velocity gradients and internal work in fluid motion.
- Campo Vera, Y., Delgado, M. A., Roa, Y., Mora, G., & Carreño Ortiz, J. (2018). Evaluación preliminar del efecto del quitosano y cascara de naranja en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 565-572.
- Campos, José Roberto; Di bernardo Luís. Uso de polímeros Naturales en el Tratamiento de Agua para abastecimiento, CINARA, Centro Inter. Regional de abastecimiento y Remoción de Agua, Universidad de Sao Paulo, Escuela de ingeniería de Sao Carlos – Brasil.2000
- Centro de cooperación del Mediterráneo de UICN. (2007). Guía para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura Mediterránea. Interacciones entre la Acuicultura y el Medio Ambiente. Recuperado el 22 de 08 de 2020, de uicn.org:
https://www.iucn.org/sites/dev/files/import/downloads/interactions_es_lr.pdf.
- Chatelet, C., Damour, O. y Domard, A. (2001). Influencia del grado de acetilación sobre algunas propiedades biológicas de las películas de quitosano. *Biomateriales*, 22 (3), 261-268.

- Choque-Quispe, David, Choque-Quispe, Yudith, Solano-Reynoso, Aydeé M., & Ramos-Pacheco, Betsy S. (2018). Capacity flocculant of natural coagulants in water treatment. *Tecnología Química*, 38(2), 298-309. Recuperado en 04 de junio de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S222461852018000200008&lng=es&tlng=en.
- Cruz, G., Guzmán, V., Rimaycuna, J., Alfaro, R., Cruz, J., Aguirre, D., & Ubillus, E. (2016). Tratamiento complementario de agua potable utilizando un filtro de carbón activado impregnado con quitosano producidos a partir de biomasa residual. *Manglar*, 12(1), 65-74.
- 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.
- Díaz, C., Jacinto, C., Medina, R., Navarro, A., Cuizano, N., & Llanos, B. (2013). Estudio de la biosorción de cromo (VI) con quitosano cuaternario reticulado para su aplicación en biorremediación de aguas contaminadas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(4), 304-318.
- Donato, N.; Navarro, R.; Ávila, M.; Mendizábal. Obtención de sulfato de quitosano y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de suspensiones coloidales aniónicas de caolinita. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 2006, 7.
- Dumez, L. d. (1985). "Tratamiento de Agua" "Tratamiento de Agua".
- Ebeling, J.M.; Welsh, C. F; Rishel, K.L.; & Sibrell, P.L. (2006). Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aqua-cultural effluents. *Aquacult. Eng* 33 (4), 235–249.

European Commission. Science for Environment Policy Sustainable Aquaculture. Recuperado el 15 de 08 de 2020, de Comision Europea:

http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/sustainable_aquaculture_FB11_en.pdf.

Expósito R. (2010). Quitosano, un biopolímero con aplicaciones en sistemas de Liberación controlada en fármacos. (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid, España.

FAO, Organización de la Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. (2014). El estado mundial de la pesca y la acuicultura, oportunidades y desafíos. Recuperado el 16 de 08 de 2020, de FAO.org: <http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf>

Flaten, T.P. 2001. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. *Brain Res. Bull.* 55:187-196.

Fong, L., (2012). Evaluación del grado de conversión de quitina a quitosano procedente del exoesqueleto del abdomen del camarón (*Litopenaeus Vannamei*) en función del contenido de nitrógeno total medido durante la hidrólisis alcalina a nivel laboratorio. (Tesis de grado). Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala

Fuentes Molina, N., Molina Rodríguez, E. J., & Ariza, C. P. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción+ Limpia*, 11(2), 41-54.

Garcés, M., (2013). Inmovilización enzimática de lipasa mediante el agente quitosano obtenido del exoesqueleto de cangrejo cáncer setosus. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima - Perú.*

- García, Angela & Ramos, Rodrigo & Castro Salazar, Hans. (2016). Aprovechamiento de las escamas de la industria acuícola en el departamento del Huila, Colombia. *Producción + Limpia*. 11. 102. 10.22507/pml.v11n2a9.
- García, C. (2017). *Obtención de quitosano a partir de exoesqueleto de langostino blanco (litopenaeus vannamei), para el tratamiento de efluentes industriales* (Doctoral dissertation, Tesis de Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior, Universidad Señor de Sipán, Lambayeque, Perú).
- Ghebremichael, K. A.; Gunaratna, K. R.; Henriksson H.; Brumer, H.; Dalhammar, G. (2005). A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. *Water Research*, 39, 2338-2344.
- González, m.; hernández, c.; kaehler, j. Determinación de aluminio en el agua potable de Valencia y localidades cercanas, Tesis de grado, Departamento de Química, Universidad de Carabobo, 1991.
- Gopalakannan, A. y Arul, V. (2006). Efectos inmunomoduladores de la ingesta dietética de quitina, quitosano y levamisol sobre el sistema inmunológico de *Cyprinus carpio* y el control de la infección por *Aeromonas hydrophila* en estanques. *Acuicultura*, 255 (1-4), 179-187.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión.
- Hood LF, Zall RR. (1980). Recovery, utilization, and treatment of seafood processing wastes. In: Conell JJ (ed) *Advances in fish science and technology*. Fishing News Books, Ltd., Surrey, England
- Howe, k. J. (2017). *Principios del tratamiento de agua*. México.

- Hu, C. Y., Lo, S. L., Chang, C. L., Chen, F. L., Wu, Y. D., & Ma, J. L. (2013). Treatment of highly turbid water using chitosan and aluminum salts. *Separation and Purification Technology*, 104, 322-326.
- Jairo, A. M. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción+ limpia*, 91.
- 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).
- Kiely, G. 1999. Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Vol. II. España. McGraw-Hill. 1331p).
- Lárez C. (2006). Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. Grupo de polímeros. Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad de los Andes, Venezuela. Recuperado de: <http://www.saber.ula.ve/avancesenquimica>.
- Lárez Velásquez, Cristóbal. (2003). Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 4. 91.
- Leonardo, V. G. (2013). Remoción de turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas (Eritrina americana, Quercus ilex, Acacia farnesiana, Viscum album y Senna candolleana). *Naturaleza y desarrollo*, (11).
- Lin, W., Khor, E., Koon, T., Yong, L., & Ching S. (2001). Concurrent production of chitin from shrimp shells and fungi. Department of Chemistry, Faculty of Science, National University of Singapore. *Carbohydrate Research*, 332, 305- 316.
- Liu, D. W. (2013). Removal of algal blooms from freshwater by the coagulation-magnetic separation method. *Environmental Science and Pollution Research International*,

- Lopes, A. S. & Silva, F. J. (2004). Tratamiento de efluente de tanque de piscicultura con Moringa oleífera. XI SILUBESA - Simposio Luso-Brasileiro de Engenharia sanitaria e Ambiental, Natal/RN.
- Lorena Fuentes et al. (2008). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de aguapara consumo humano. *Multiciencias*.
- Ma, C.; Wenrong, H.; Pei, H., Xu, H.; & Pei, R. (2016). La mejora de la eliminación integrada de *Micro-cystis aeruginosa* y la adsorción de microcistinas usando coagulantes combinados de cloruro de aluminio quitosano: Efecto de las órdenes de dosificación de productos químicos y los mecanismos de coagulación. *Coloides y Superficies* 490, 258 – 267.
- Majeti, N.V., & Kumar, R. (2000). A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional Polymers*, 46(1), 1-27.
- Mandujano Tazza, N. P. (2020). Biopolímeros microbianos: aplicaciones en biomedicina y farmacia.
- Márquez Rivera, S. J., & Zúñiga Salazar, B. A. (2019). Desacetilación termoalcalina de la quitina de cáscara de camarón para depuración de aguas residuales de una industria procesadora de salsas (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química).
- Martínez, N. C. C., Julio, A. R. H., Vásquez, E. D. P. S., Jiménez, J. M. A., & Caraballo, K. A. (2017). Coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Scientia et Technica*, 22(1), 109-113.
- Miller, r.g.; kopfler, f.c.; kelty, k.c.; stober, j.a.; ulmer, n.s. 1984. The occurrence of aluminium in drinking water. *J. Am. Water Workers Assoc.* 76:84-91.
- Molina, N. F. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del Al₂(SO₄)₃ para clarificación de aguas., 11(2). *Producción+ Limpia*, 11.


- Molina, N. F., Rodríguez, E. J. M., & Ariza, C. P. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción+ Limpia*, 11(2).
- Muslim, T., Rahman, M., Begum, H. & Rahman, M. (2013). Chitosan and Carboxymethyl Chitosan from Fish Scales of *Labeo rohita*. *Dhaka Univ. J. Sci*, 61 (1), 145-148.
- Ndabigengesere, A., & Narasiah, K. (1998). Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds. *Water Research*, 781 - 791. Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135497002959>
- Nieto, R., & Orellana, P., (2011) Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca-Colombia.
- Özkan, O. O. (2010). Characterisation of medical-waste sterilisation-plant wastewater and a preliminary study of coagulation-flocculation treatment options. En *W. S. Technology*.
- Pardo, J. M., & Vargas, L. (2014). Eficiencia del quitosano como coagulante en aguas residuales de una industria procesadora de harina. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 48(3), 206-223.
- Quintana, R. (2000). Cómo tratar el agua. Documento técnico. Coca Cola de Colombia, Bogotá D.C.
- Rinaudo, M. (2006). Quitina y quitosano: propiedades y aplicaciones. *Progreso en la ciencia de los polímeros*, 31 (7), 603-632.
- Rodríguez Díaz et al. (2015). Uso de un polímero natural (quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo. *INGENIARE*, 25-32.

- Rodríguez, J. P. (2007). "Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora.". *Umbral científico* 11, 8-16.
- Šćiban, m.; klašnja, m; stojimirovic, J. 2005. Investigation of coagulation activity of natural coagulants from seeds of different leguminose species. *Acta Periodica Technol.* 36:81-87.
- Tello Palma, E. (2017). Evaluación del quitosano obtenido a partir de escamas de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) por métodos químicos y biológico.
- Uawonggul, N., Kongsri, S., & Chanthai, S. (2011). Study on Dye-Binding Interactions of Chitosan Obtained from the Fish Scale of Tilapia (*Tilapia nilotica*). *International Journal of Pure & Applied Chemistry*, 6 (2), 139-147.
- Valencia, J. A. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: Mc graw-hill.
- Vásquez, L., Vidal, B., (2011). Caracterización y alternativa de uso de una película biodegradable de quitosano a partir de la extracción de quitina de langostino (*Pleuroncodes planipes*) para la industria de alimentos. (Tesis de grado). Facultad Universidad del Salvador, El Salvador.
- Yee, K.; & Yeong, T. (2015). Optimizado el uso de alumbre no modificado, junto con *Cassia obtusifolia* goma de semilla como una ayuda de coagulan-te en el tratamiento del efluente de la planta de aceite de palma en condiciones de pH natural de las aguas residuales. *Industrial crops a pro-duct* 76, 1169 – 1178
- Yongabi, K.A. 2004. Studies on the potential use of medicinal plants and macrofungi (lower plants) in water and wastewater purification. FMENV/ZERI Res. Centre. Abubakar Tafawa Balewa U. Bauchi. Nigeria. Disponible desde Internet en: <http://www.botech.kth.se/iobb/news/e-sem-05.html>.

Anexos

Tabla 23

Encuesta de residuos de pescados.

ENCUESTA DE RESIDUOS DE PESCADO (ESCAMAS).							
Encuestados	preguntas	¿Con qué frecuencia escaman pescado?	¿Cuánto pescado reciben/trae en un día?	¿Trabaja en todo el año?	¿Cuánto es el peso de residuos después de un día de producción?	¿Cuál es la disposición que se le dan a los residuos después del proceso productivo?	¿Aumenta el ingreso de pecados en una época? ¿Cuál? ¿Cuánto?
MUNDO MARINO		Diario	40 k	si	3kg	Son desechados (botados)	Si, en semana santa y diciembre. Aumenta en un 30%.

CONDUCTOR 1			No se		Si, para
			generan,		diciembre
CONDUCTOR 2			todo el		y semana
			pescado es		santa, se
	No aplica	10 ton c/u	vendido a	No aplica.	duplica el
CONDUCTOR 3			los puestos		número de
			dentro de la		camiones
			plaza y a		en total
			mayoristas.		serian 20,
					con 10ton
					c/u
PROPIETARIO 1		100 k			Para
					semana
PROPIETARIO 2		80k			santa y
	Diario		No se	Son	diciembre
			contabiliza	desechados	el aumento
				(botados)	depende
PROPIETARIO 3		130k			de cada
					comprador
					, pero
					aumenta
					entre 30 al
					50%.
ADMINISTRADOR PLAZA DEL PESCADO					

¿Cuántos puestos de comercialización de pescado hay dentro de la plaza del pescado?	Hay 250 puestos de ventas en chazas, 40 puestos mayoristas (camiones), 120 puestos donde se arreglan los pescados (puestos de picadores). Adicionalmente la plaza cuenta con 6 restaurantes, 40 oficinas de contabilidad (asociados y mayoristas), la cooperativa, 1 cafetería, 3 cuartos fríos, 1 máquina de hielo, 1 baño mixto y zona de parqueadero.
¿Cuántos camiones entran en un día y cuanto traen en pescado cada uno?	Entran 10 carros diarios, cada uno con 10 toneladas de pescado en promedio.
¿Cuánto pescado recibe cada puesto?	Es variable depende del comprador, se vende al por mayor, de las 100 toneladas que traen en total los camiones el 70% se distribuye en los puestos de la plaza, el 30% restante es para grandes negocios (pescaderías y cadenas de supermercado)
¿Aumenta el ingreso de pescado en una época? ¿Cuál? ¿Cuánto?	Aumenta para la época de diciembre y semana santa, entrando así 20 camiones, cada uno con 10 ton, en promedio.
¿Trabajan todo el año?	Sí, excepto los lunes, a excepción del lunes de semana santa. La plaza del pescado labora de martes a domingo de 3:00 am a 1:pm

Nota. en la Tabla, se presenta una encuesta realizada en la plaza del pescado de barranquilla, con el fin de saber que se cuenta con materia prima suficiente para realizar quitosano a un grado mucho mayor. *Fuente.* Propia.

con esta información podemos afirmar que tendríamos la materia prima suficiente para trabajar no solo el proyecto si no a largo plazo (1 año) y de manera continua; con una prueba elaborada en el RESTAURANTE MUNDO MARINO se determinó que con 100kg de pescado, se generan 7.5 kg de residuos (escamas), entonces con los 7000 kg de pescado entrante 525kg son escamas (ec.9), lo que representa el 7.5% de la producción total (ec.10 y 11).

$$100Kg \rightarrow 7.5Kg$$

$$7000Kg \rightarrow x$$

$$x = \frac{7.5kg * 7.000kg}{100kg} = 525kg \text{ de escamas } ec. 9$$

$$\% = 7.000 - 525kg = 6.475 \text{ kg de pescado sin escamas } ec. 10 \rightarrow$$

$$\% = \frac{7.000 - 6.475}{7.000} * 100 = 7.5\% \text{ de escamas } ec. 11$$

Con este cálculo se procedió a general una Tabla de producción de las escamas, que se presenta a continuación:

Tabla 24

Producción de escamas de pescado

PRODUCCION DE ESCMAS	kg	Ton (≈)	%
DIARIO	525	0.5	
SEMANAL	3.675	3.7	
MENSUAL	15.750	16	7.5
ANUAL	189.000	189	

Nota. en la Tabla se presenta la producción de escamas que se generan aproximadamente en la plaza del pescado.

Fuente. propia.

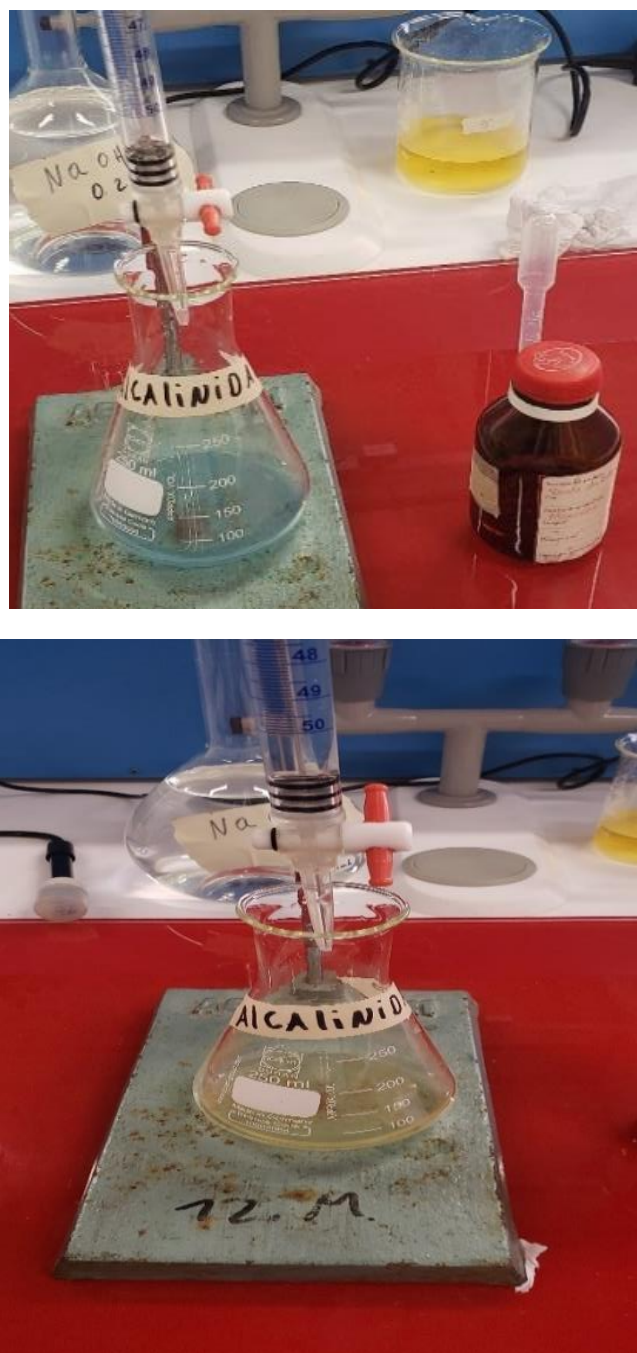
ANEXO 2. CARACTERIZACION INICIAL MUESTRA DE AGUA.

Figura 37. Caracterización inicial de agua del rio magdalena (Alcalinidad). Fuente. Propia.

Nota. en la figura se presenta evidencia de la realización de la caracterización inicial del agua.

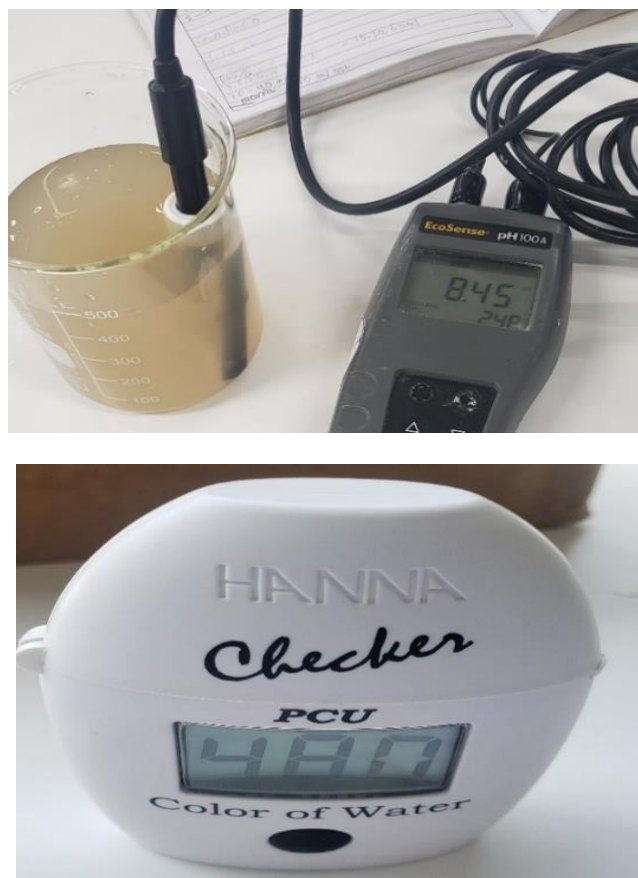


Figura 38. Caracterización inicial de agua del rio magdalena. (pH y color) Fuente. Propia.

Nota. en la figura se presenta evidencia de la realización de la caracterización inicial del agua.

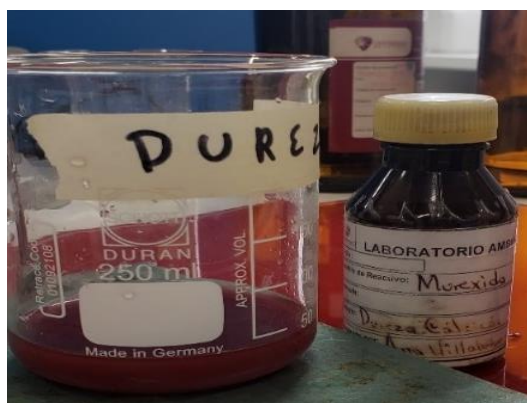


Figura 39. Caracterización inicial de agua del rio magdalena (Dureza). Fuente. Propia.

Nota. en la figura se presenta evidencia de la realización de la caracterización inicial del agua.

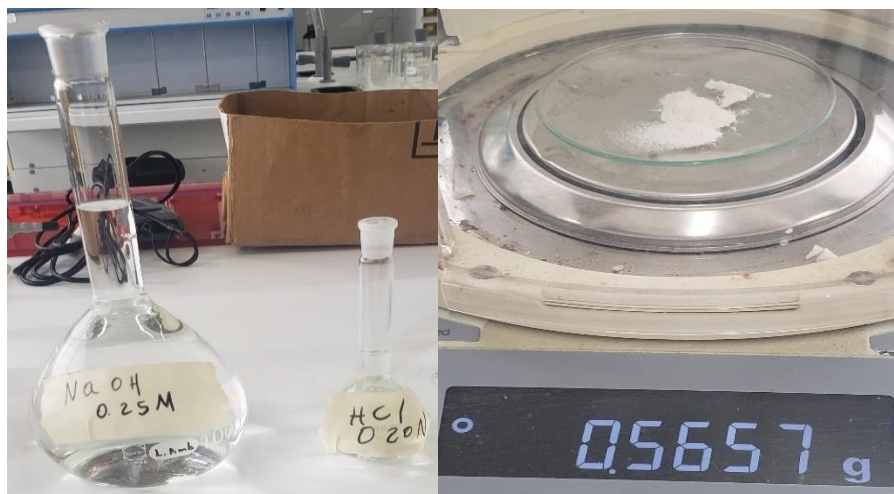
ANEXO 3 RESULTADOS DE PRUEBA POTENCIOMETRICA.

Figura 40. Preparación de sustancia para prueba potenciométrica. Fuente. Propia.

Nota: en la figura se presenta evidencia de preparación de las sustancias a utilizar para realizar la prueba potenciométrica.



Figura 41. Prueba potenciométrica. Fuente. Propia.

Nota: en la figura se presenta evidencia de la realización de la prueba potenciométrica.

Tabla 25*Resultados de prueba potenciométrica*

V (mL)	pH	dV	dPH	Vprom	dpH/dV
0,0	5,98774	0,6	0	6,0	0
0,6	6,01355	0,4	0,6	6,0	1,5
1,0	6,04903	0,6	1	6,0	1,666666667
1,6	6,13065	0,4	1,6	6,1	4
2,0	6,23097	0,2	2	6,2	10
2,2	6,30355	0,4	2,2	6,3	5,5
2,6	6,50677	0,4	2,6	6,5	6,5
3,0	6,73774	0,4	3	6,7	7,5
3,4	6,9829	0,8	3,4	7,0	4,25
4,2	7,5171	0,8	4,2	7,5	5,25
5,0	7,79419	1,0	5	7,8	5
6,0	7,93935	1,0	6	7,9	6
7,0	8,08452	1,0	7	8,1	7
8,0	8,2329	1,0	8	8,2	8
9,0	8,38516	1,0	9	8,4	9
10,0	8,53742	1,0	10	8,5	10
11,0	8,84258	1,0	11	8,8	11
12,0	9,1471	1,0	12	9,1	12
13,0	9,45194	1,0	13	9,5	13
14,0	9,76226	1,0	14	9,8	14

15,0	10,07323	1,0	15	10,1	15
16,0	10,35806	1,0	16	10,4	16
17,0	10,58677	1,0	17	10,6	17
18,0	10,74323	1,0	18	10,7	18
19,0	10,86516	1,0	19	10,9	19
20,0	10,96387	1,0	20	11,0	20
21,0	11,00323	1,0	21	11,0	21
22,0	11,03452	1,0	22	11,0	22
23,0	11,0571	1,0	23	11,1	23
24,0	11,07258	1,0	24	11,1	24
25,0	11,08032				

Nota. La tabla presenta los resultados obtenidos de la prueba potenciométrica. *Fuente.* Propia.

ANEXO 4. RESULTADOS PRUEBA DE JARRAS DOSIS DE COAGULANTE.

$$\frac{mg}{l} CaCO3 = \frac{ml \text{ de ácido clorhídrico gastados} \times 0.02 \times 50.000}{25 \text{ ml}} \text{ E.C(12)}$$

Ecuación 12. Alcalinidad.

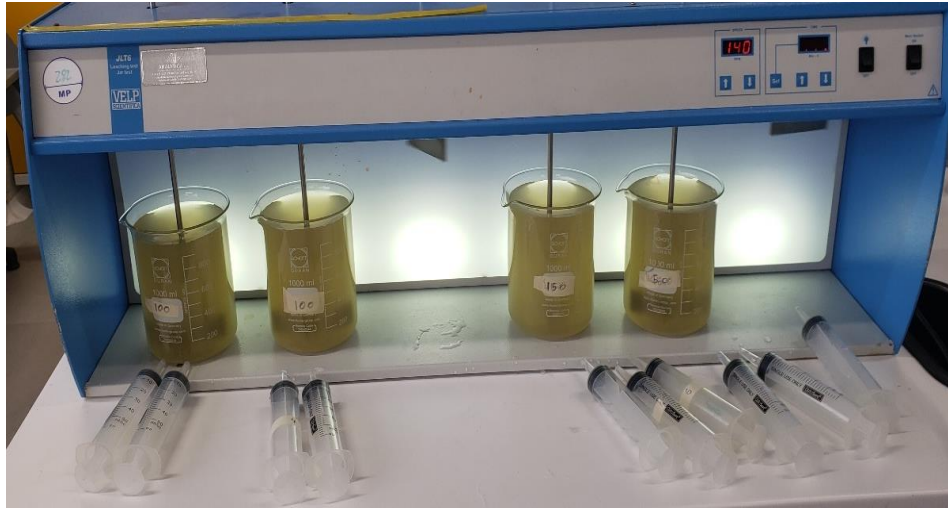


Figura 43. Resultados de prueba de jarra. Fuente. Propia.

Nota. Resultados de prueba de jarras. Para dosis optima de coagulante.

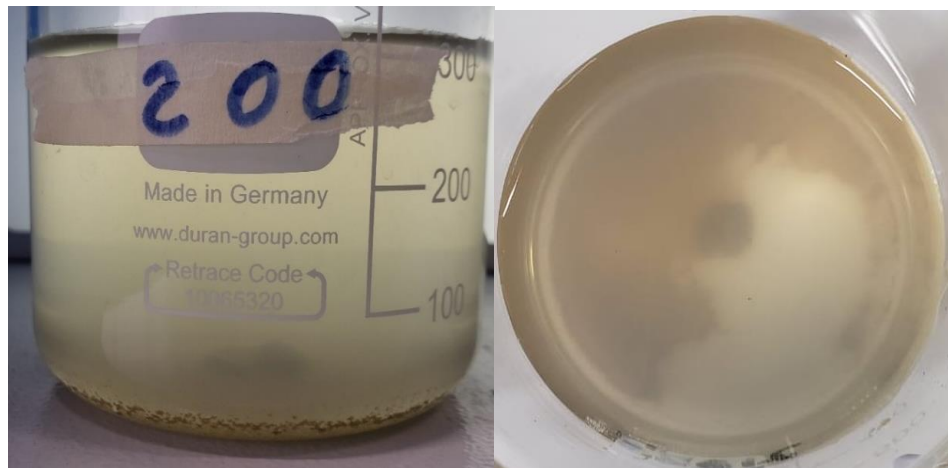


Figura 44. Resultados dosis optima de coagulante 200mg/l. fuente. Propia.

Nota. Esta figura, es evidencia de los resultados de la dosis optima de coagulante de 200mg/l.

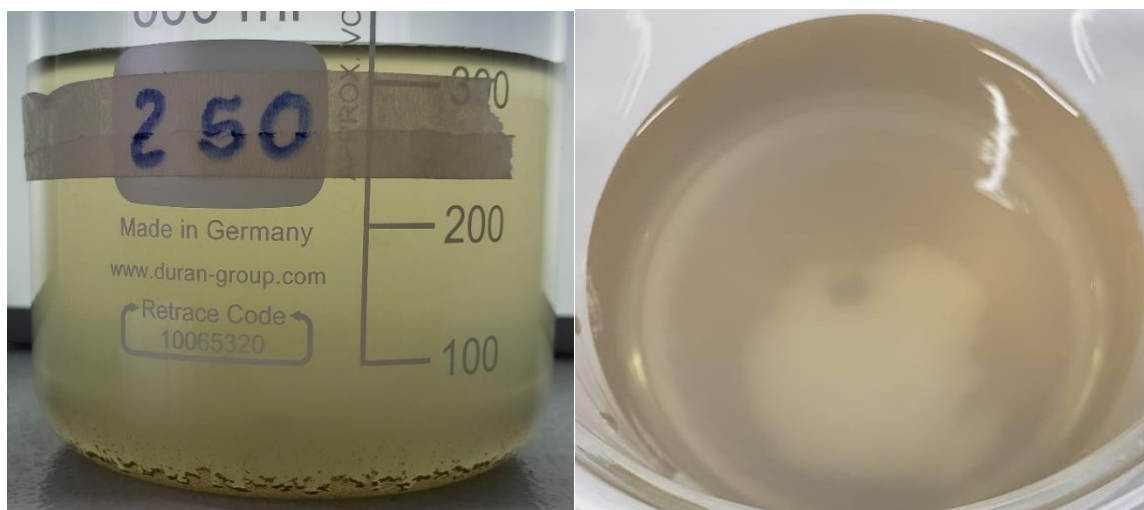


Figura 45. Resultados dosis optima de coagulante 250mg/l. fuente. Propia.

Nota. Esta figura, es evidencia de los resultados de la dosis optima de coagulante de 250mg/l.

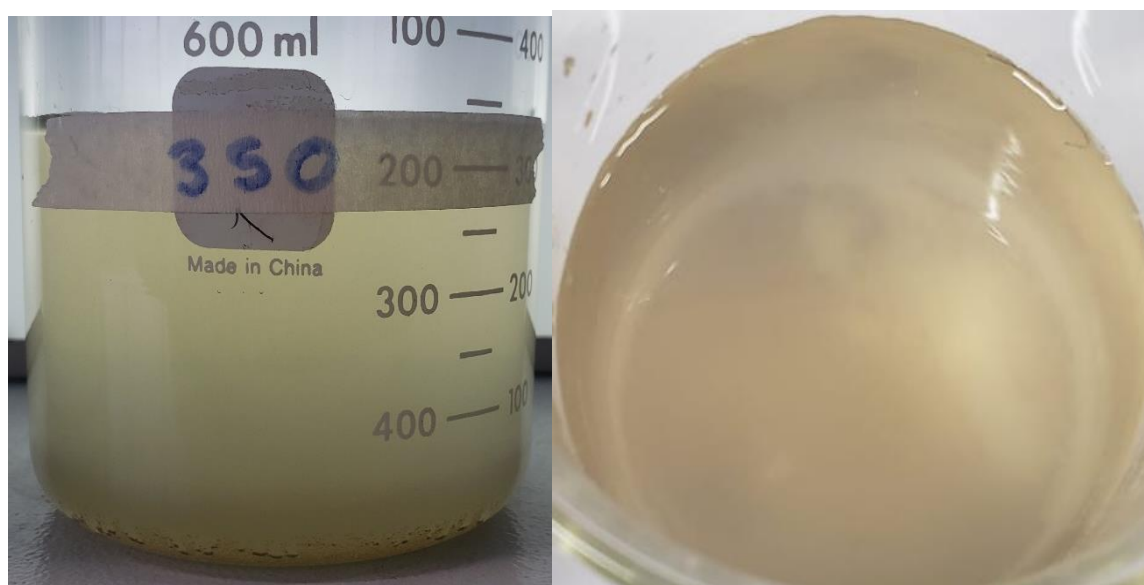


Figura 46. Resultados dosis optima de coagulante 350mg/l. fuente. Propia.

Nota. Esta figura, es evidencia de los resultados de la dosis optima de coagulante de 350mg/l.

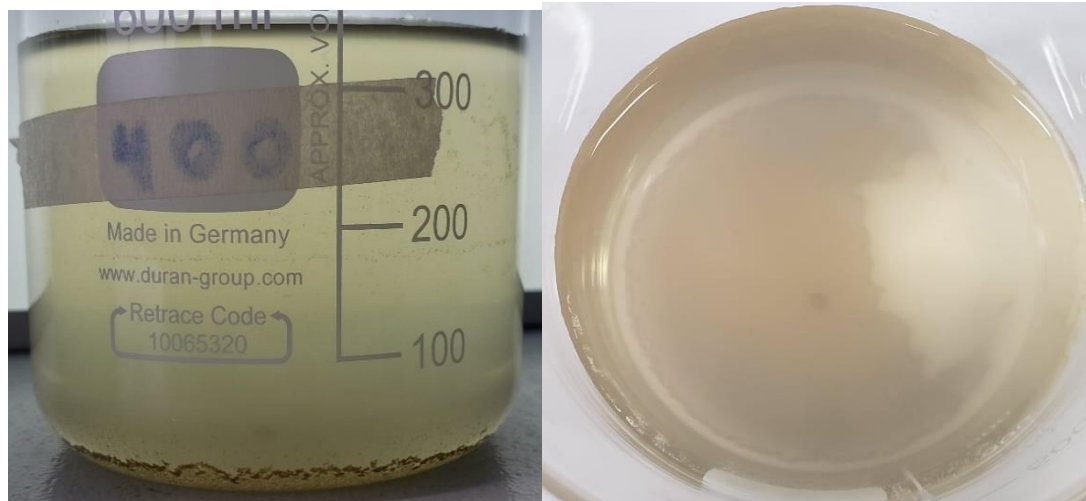


Figura 47. Resultados dosis optima de coagulante 400mg/l. *f fuente. Propia.*

Nota. Esta figura, es evidencia de los resultados de la dosis optima de coagulante de 400mg/l.

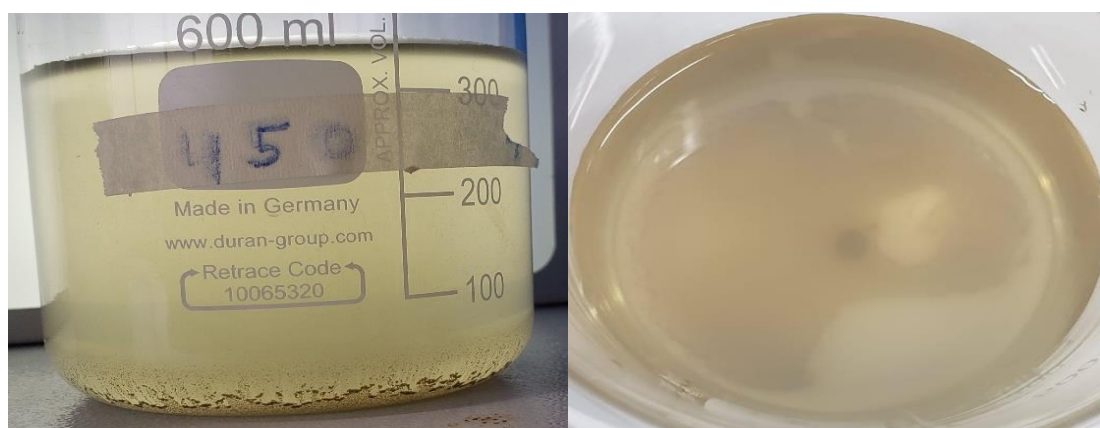


Figura 48. Resultados dosis optima de coagulante 450mg/l. *f fuente. Propia.*

Nota. Esta figura, es evidencia de los resultados de la dosis optima de coagulante de 350mg/l.

A continuación, se presentan los cálculos necesarios para realizar el procedimiento:

Se inicio realizando el cálculo para la preparación del coagulante para las siguientes dosis.

Tabla 26*Información de dosis de coagulante*

Dosis de coagulante(mg/l)	Concentración (%)	Volumen de H ₂ O
0	0	0
100		
150	0.1	1000 ml
200		
200		
250		
300		
350	0.4	300 ml
400		
450		

Nota. La presente tabla muestra los datos utilizados para realizar la prueba de dosis optima de coagulante. *Fuente.*

Propia.

$$1\% = \frac{1g}{100 ml} = \frac{1000 mg}{0.1 L} = 10.000 \frac{mg}{l} \quad E. c \quad (13)$$

Ecuación 13. preparación de coagulante al 1% (solubilización).

Inicialmente se prepara el coagulante a esta concentración para poder solubilizarlo (1 gramo de quitosano / 100 ml de ácido acético glacial). Luego de solubilizar el quitosano se adiciona 1L de agua destilada.

$$0.1\% = \frac{1g}{1000 ml} = 1000 \frac{mg}{l} \quad E. c \quad (14)$$

Ecuación 14. preparación de coagulante al 1%.

Este mismo procedimiento se realiza para la solubilización al 4% y preparación del quitosano al 0.4%

$$4\% = \frac{4g}{100 ml} = \frac{4000 mg}{0.1 L} = 40.000 \frac{mg}{l} \quad E. c \quad (15)$$

$$0.4\% = \frac{4g}{1000 ml} = 4000 \frac{mg}{l} \quad E. c \quad (16)$$

Preparación de dosis:

$$C_1V_1=C_2V_2 \quad E.C \quad (17)$$

$$v_2 = \frac{100 \frac{mg}{L} \times 1L}{1000 mg/L} = 0.1 l \approx 100 ml$$

$$v_2 = \frac{150 \frac{mg}{L} \times 1L}{1000 mg/L} = 0.15 l \approx 150 ml$$

$$v_2 = \frac{200 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 1\text{L}}{1000 \text{ mg/L}} = 0.2 \text{ l} \approx 200 \text{ ml}$$

$$v_2 = \frac{200 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.3\text{L}}{4000 \text{ mg/L}} = 0.015 \text{ l} \approx 15 \text{ ml}$$

$$v_2 = \frac{250 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.3\text{L}}{4000 \text{ mg/L}} = 0.018 \text{ l} \approx 18\text{ml}$$

$$v_2 = \frac{300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.3\text{L}}{4000 \text{ mg/L}} = 0.022 \text{ l} \approx 22 \text{ ml}$$

$$v_2 = \frac{350 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.3\text{L}}{4000 \text{ mg/L}} = 0.026 \text{ l} \approx 26 \text{ ml}$$

$$v_2 = \frac{400 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.3\text{L}}{4000 \text{ mg/L}} = 0.03 \text{ l} \approx 30 \text{ ml}$$

$$v_2 = \frac{450 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0.3\text{L}}{4000 \text{ mg/L}} = 0.033 \text{ l} \approx 33 \text{ ml}$$

Tabla 27

Resultados caracterización de turbiedad final, dosis optima de coagulante

TURBIEDAD NTU

Dosis de coagulante (mg/L)	#1	#2	Promedio	Error
0	333	335	334	1
100	271	199	235	36
150	184	151	167,5	16,50
200	138	112	125	13,00
200	109	154	131,5	22,50
250	145	103	124	21,00
300	95,3	62,9	79,1	16,20
350	133	75,9	133	28,55
400	107	63,9	107	21,55
450	113	74,5	113	19,25

Nota. La presente tabla muestra los resultados de la turbiedad final de la prueba de dosis optima de coagulante.

Fuente. Propia.

Tabla 28

Resultados caracterización de turbiedad final, dosis optima de coagulante. Expresado en % de remoción

Dosis de coagulante	% remoción			
	#1	#2	Promedio	Er
0	0	0	0	0
100	18,62	40,60	29,61	10,99

150	44,74	54,93	49,84	5,09
200	58,56	66,57	62,56	4,00
200	67,27	54,03	60,65	6,62
250	56,46	69,25	62,86	6,40
300	71,38	81,22	76,30	4,92
350	60,06	77,34	68,70	8,64
400	67,87	80,93	74,40	6,53
450	66,07	77,76	71,91	5,85

Nota. La presente tabla muestra los resultados expresados en % de remoción de la turbiedad final de la prueba de dosis optima de coagulante. *Fuente.* Propia.

ANEXO 4. RESULTADOS PRUEBA DE JARRAS TIEMPO DE FLOCULACION.

Tabla 29

Resultados prueba de jarra para tiempo de floculación

TIEMPO DE FLOCULACION		25 MINUTOS				
REPLICAS / DOSIS	250	250	300	300	350	350
1	218	212	168	177	223	167
2	215	214	163	177	217	166
3	214	213	164	178	217	166
PROMEDIO	215.6666667	213	165	177.3333333	219	166.3333333

TIEMPO DE FLOCULACION		30 MINUTOS				
REPLICAS / DOSIS	250	250	300	300	350	350
1	193	203	138	162	167	167
2	198	206	142	164	165	170
3	198	208	143	164	164	172
PROMEDIO	196.3333333	206	141	163.3333333	165.3333333	169.6666667

TIEMPO DE FLOCULACION		35 MINUTOS				
REPLICAS / DOSIS	250	250	300	300	350	350
1	177	164	161	150	152	144
2	177	166	162	153	149	144
3	182	165	164	153	148	144
PROMEDIO	178.66	165	162.33	152	149.66	144

Nota. La presente Tabla muestra los resultados de la prueba de jarra para obtener el tiempo de floculación. *Fuente.*

Propia.

1	3	25	250	216	24	213	25	1.3	214	25	0.46783
2	3	25	300	165	42	177	38	6.2	171	40	2.1637
3	3	25	350	219	23	166	42	26.3	193	32	9.23976
4	3	30	250	196.33	31	206	28	4.7	201	29	1.63742
5	3	30	300	141	51	163.33	43	11.2	152	47	3.91812
6	3	30	350	165.33	42	169.66	40	2.2	168	41	0.76023
7	3	35	250	178.66	37	165	42	6.8	172	40	2.39766
8	3	35	300	162.33	43	152	47	5.2	157	45	1.81286
9	3	35	350	149.66	47	144	49	2.8	147	48	0.99415

Nota. La presente Tabla muestra los resultados expresados en % de remoción de la turbiedad final de la prueba de tiempo de floculación. *Fuente.* Propia.

ANEXO 5. CARACTERIZACION DEL QUITOSANO (% CENIZA Y PROTEINA).

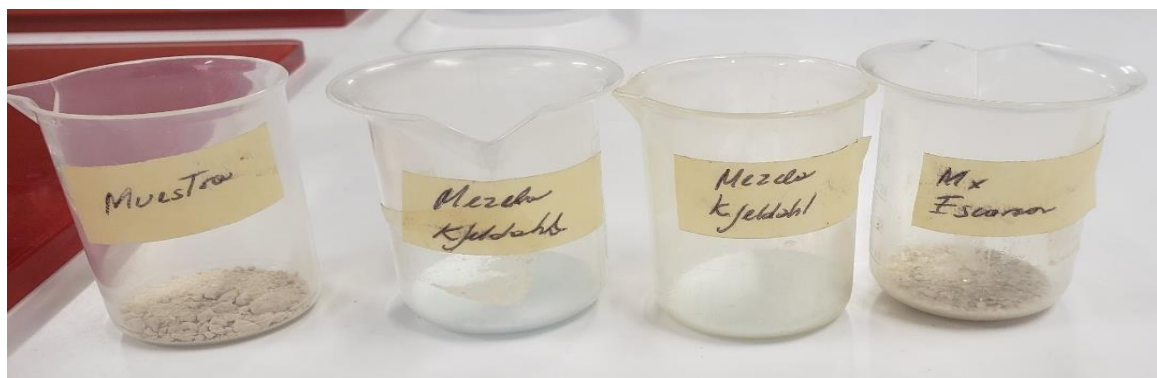


Figura 49. Evidencia de muestra para realizar Método Kjeldahl Fuente: propia.

Nota. La presente figura, muestra evidencia de la realización del Método Kjeldahl, para conocer el % de proteína de la muestra de quitosano obtenido.





Figura 50. Procedimiento para realizar Método Kjeldahl. Fuente: propia.

Nota. La presente figura, muestra evidencia de la realización del Método Kjeldahl, para conocer el % de proteína de la muestra de quitosano obtenido.



Figura 51. Prueba del Método Kjeldahl antes de la titulación. Fuente. Propia.

Nota. La presente figura, muestra evidencia de la realización del Método Kjeldahl, para conocer el % de proteína de la muestra de quitosano obtenido; antes del proceso de titulación.

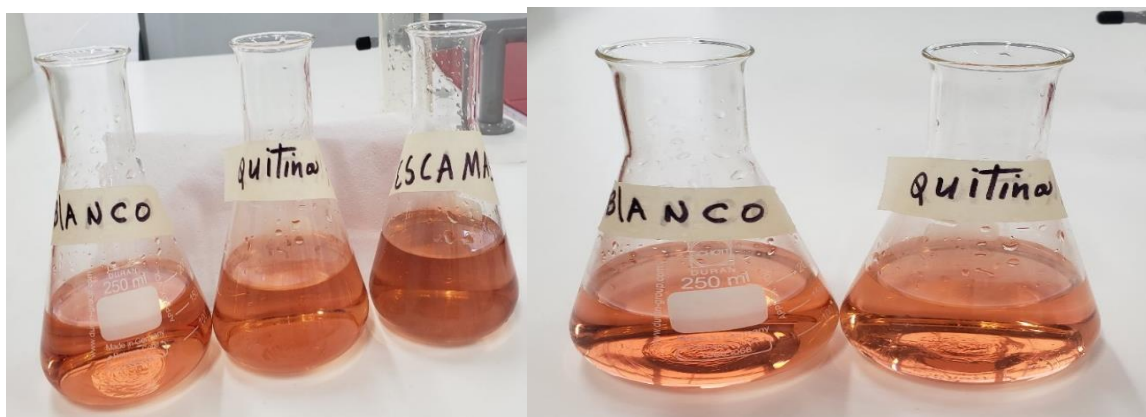


Figura 52. Prueba del Método Kjeldahl después de la titulación. Fuente. Propia.

Nota. La presente figura, muestra evidencia de la realización del Método Kjeldahl, para conocer el % de proteína de la muestra de quitosano obtenido; después del proceso de titulación.

$$\%N \text{ total} = \frac{2(v_3 - v_2) \times c_2 \times M}{m} \quad E.c (19)$$

Ecuación 19. Determinación % proteína.



Figura 53. Resultados del proceso de determinación de cenizas (a) antes del proceso, (b) después del proceso.

Fuente. Propia.

Nota. Esta figura es evidencia de los resultados del proceso de determinación de cenizas (a) antes del proceso, (b) después del proceso.



Figura 54. Resultado después del proceso de determinación de cenizas (pesaje). Fuente. Propia.

Nota. Esta figura es evidencia de los resultados del proceso de determinación de cenizas después del proceso.

$$W = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100\% \quad E. c (20)$$

Ecuación 20. Determinación de porcentaje de ceniza.

Tabla 32

Fichas técnicas de equipos utilizados

parámetros	Técnica analítica	Equipo
Turbiedad	Turbidímetro	Multiparámetros YSI 556MPS
color	Colorimetría	Colorímetro

pH	Potenciómetro	Multiparámetros YSI 556MPS
Temperatura	----	Termómetro de mercurio.
Alcalinidad	2320B volumétrico	---

Nota. La presente tabla contiene la información de referencia de los equipos utilizados, a lo largo de la investigación. *Fuente.* Propia.