



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

“Efecto del tiempo de agitación y dosis entre coagulantes de exoesqueleto de camarón y chatarra de hierro en la remoción de turbiedad del Río Santa”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO(A) AMBIENTAL**

AUTOR:

Acosta Rodríguez, Antenor Vicente
Príncipe Campos, Yomira Alexandra
Saldaña Alva, Sonia Edith
Zurita Ocaña, Aldo Percy

ASESOR:

Msc. Isidoro Valderrama Ramos

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

TRUJILLO – PERÚ

2018

PÁGINA DE JURADO

APROBADO POR:

Mg. VILLACORTA GONZALES MISAEL YDILBRANDO
Presidente

Msc. MEJIA PARDO DANNY SOREL
Secretario

Msc. VALDERRAMA RAMOS ISIDORO
Vocal

TRUJILLO, 2018.

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis a nuestros padres por su abnegación absoluta, su apoyo incondicional y los consejos para seguir adelante, que a pesar de la distancia siempre estuvieron a nuestro lado.

A nuestros hermanos y amigos que nos acompañaron en el camino, que sin esperar nada a cambio nos brindaron su cariño, conocimiento, tristezas, alegrías y esa mano amiga que en algún momento nos hizo falta.

Y principalmente a Dios por derramar su bendición, porque a pesar de los muchos tropiezos que tuvimos siempre nos levanta y nos da fuerza de voluntad para continuar.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, que siempre acompañó y guió a lo largo de nuestro desarrollo profesional, quien nos permitió salir airoso de momentos de debilidad y cumplir con este sueño.

Así mismo, agradecemos a nuestros padres, por la confianza, el apoyo y los buenos consejos que nunca nos faltaron, por habernos brindado el mejor ejemplo de vida, por todo eso y más gracias.

Agradecemos también a la Universidad César Vallejo por habernos dado la oportunidad de fortalecer día a día nuestros conocimientos, formar nuestro carácter e impulsarnos a seguir con nuestra formación profesional.

Agradecer a nuestro asesor por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta tesis; el Ing. Isidoro Valderrama Ramos.

A nuestros amigos, y familiares por el apoyo, comprensión, el ánimo y consejos brindados.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Los alumnos Acosta Rodríguez Antenor Vicente con DNI N°74156685, Príncipe Campos Yomira Alexandra con DNI N°70679236, Saldaña Alva Sonia con DNI N°72714149 y Zurita Ocaña Aldo Percy con DNI N°73700585 efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, escuela profesional de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se muestran en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, 18 de diciembre del 2018.

Antenor Vicente Acosta Rodríguez
DNI:74156685

Yomira Alexandra Príncipe Campos
DNI:70679236

Sonia Edith Saldaña Alva
DNI: 72714149

Aldo Percy Zurita Ocaña
DNI: 73700585

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado presentamos ante ustedes la tesis titulada “Efecto del tiempo de agitación y dosis entre coagulantes de exoesqueleto de camarón y chatarra de hierro en la remoción de turbiedad del Río Santa con la finalidad de evaluar la eficiencia de los coagulantes elaborados a partir de exoesqueleto de camarón (chitosano) y de chatarra de hierro (FeCl_3) en la remoción de la turbiedad del Río Santa, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Esperando cumplir con los requisitos de la aprobación.

Los autores.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	4
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	5
PRESENTACIÓN.....	6
I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	14
1.2. TRABAJOS PREVIOS	15
1.3. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA	18
1.3.1. Coagulación.....	18
1.3.2. Tipos de coagulación.....	19
1.3.3. Factores que influyen en la coagulación.....	19
1.3.4. Tipos de coagulantes	19
1.3.5. Quitosano	21
1.3.6. Cloruro Férrico (FeCl ₃)	24
1.3.7. Turbidez	25
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	25
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	25
1.6. HIPÓTESIS	26
1.7. OBJETIVOS	26
1.7.1. Objetivo General	26
1.7.2. Objetivos Específicos.....	26
II. MÉTODO.....	27
2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	27
2.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN	28
2.2.1. Variables.....	28
2.2.2. Operacionalización.....	29
2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	30
2.3.1. Población.....	30
2.3.2. Muestra.....	30
2.3.3. Unidad de análisis	30
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	30
2.4.1 Técnicas de recolección de datos	30
2.4.2 Instrumento de recolección de datos	30
2.4.3 Validación de datos	31

2.5.	MÉTODO DE EVALUACIÓN DE COAGULANTES.....	31
2.4.4	Elaboración de los coagulantes	31
2.4.5	Preparación de los coagulantes.....	31
2.4.6	Evaluación de coagulantes	32
2.4.7	Condiciones importantes a tener en cuenta	32
III.	RESULTADOS.....	34
3.1	Condiciones iniciales del agua del Río Santa.....	34
3.2	Determinación del mejor tratamiento de remoción	34
3.3	Análisis estadístico.....	36
IV.	DISCUSIÓN.....	38
V.	CONCLUSIONES	40
VI.	RECOMENDACIONES	41
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Matriz de evaluación de datos factorial	27
Tabla N° 2. Operacionalización de variables	29
Tabla N° 3. Punto de muestreo de agua en el Río Santa	30
Tabla N° 4. Características iniciales del agua del Río Santa	34
Tabla N° 5. Remoción de la turbiedad del coagulante a partir de exoesqueleto de camarón (Quitosano).....	34
Tabla N° 6. Remoción de turbiedad del coagulante a partir de chatarra de hierro (Cloruro Férrico (FeCl ₃))	35
Tabla N° 7. Primera Réplica: remoción de turbidez con quitosano.....	50
Tabla N° 8. Segunda Réplica: remoción de turbidez con quitosano.	50
Tabla N° 9. Tercera Réplica: remoción de turbidez con quitosano.	50
Tabla N° 10. Primera Réplica: remoción de turbidez con cloruro férrico.	51
Tabla N° 11. Segunda Réplica: remoción de turbidez con cloruro férrico (FeCl ₃)	51
Tabla N° 12. Tercera Réplica: remoción de turbidez con cloruro férrico (FeCl ₃).....	51
Tabla N° 13. Porcentaje de Variación de PH para el coagulante de Quitosano.	52
Tabla N° 14. Porcentaje de Variación de pH para el coagulante de Cloruro Férrico	53
Tabla N° 15. Pruebas de normalidad para el tiempo.	54
Tabla N° 16. Pruebas de normalidad para la dosis	54
Tabla N° 17. Prueba de igualdad de Levene de varianzas.....	55
Tabla N° 18. Análisis de Varianza - ANOVA	55
Tabla N° 19. Pruebas de normalidad para el tiempo	57
Tabla N° 20. Prueba de igualdad de Levene de varianzas.....	57
Tabla N° 21. Análisis de Varianza - ANOVA	58
Tabla N° 22. Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Tiempo.....	58
Tabla N° 23. Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Dosis	59
Tabla N° 24. Medias por Mínimos Cuadrados para turbiedad con intervalos de confianza del 95,0%	60
Tabla N° 25. Análisis de Varianza - ANOVA	60
Tabla N° 26. Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Tiempo.....	61
Tabla N° 27. Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Dosis	61
Tabla N° 28. Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Coagulante.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Proceso de elaboración de quitosano.....	23
Figura N° 2. Comparación del efecto de coagulación del quitosano y FeCl_3	35
Figura N° 3. Medias de Remoción de turbiedad usando Quitosano.	56
Figura N° 4. Medias de Remoción de turbiedad usando FeCl_3	59
Figura N° 5. Medias marginales de remoción de turbiedad de la comparación de FeCl_3 y Quitosano a dosis de 15ml.....	62
Figura N° 6. Medias marginales de remoción de turbiedad de la comparación de FeCl_3 y Quitosano a dosis de 30ml.....	63
Figura N° 7. Medias marginales de remoción de turbiedad de la comparación de FeCl_3 y Quitosano a dosis de 45ml.....	63

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Ficha de recolección de datos.....	45
Anexo N° 2. Preparación del coagulante a partir de exoesqueleto de camarón para la obtención del quitosano.	46
Anexo N° 3. Preparación del coagulante con chatarra metálica de hierro para obtener la solución concentrada de cloruro férrico.....	48
Anexo N° 4. Procedimiento de prueba de los tratamientos de coagulantes	49
Anexo N° 5. Tablas de resultados	50
Anexo N° 6. Análisis estadístico.....	54
Anexo N° 7. Fotos de la investigación	64

RESUMEN

La presente investigación plantea nuevas alternativas de coagulantes para el tratamiento de aguas de uso potable, aprovechando residuos del exoesqueleto de camarón y la chatarra de hierro para producir quitosano y cloruro férrico (FeCl_3) respectivamente; empleados para remover la turbiedad de Río Santa, para ello se utilizó un diseño experimental bifactorial cuyas variables de investigación fueron tiempo de agitación (10 min, 20 min y 30 min) y dosis de coagulante (15 ml, 30 ml, 45 ml) con un total de 9 tratamientos con tres repeticiones por cada coagulante; dichos tratamiento se realizaron en el equipo de pruebas de jarras. La muestra analizada del agua presentó un valor inicial de 101.7 NTU. Luego de haber aplicados los tratamientos se obtuvo que el coagulante quitosano removió la turbiedad hasta un 81.05%, en un tiempo de agitación de 30 min y una dosis de 15 ml mientras el coagulante de cloruro Férrico (FeCl_3) consiguió remover un 97.88% de turbiedad, en un tiempo de 30 minutos y una dosis de 45 ml. Concluyendo que ambos coagulantes son efectivos para la remoción de la turbiedad en aguas de uso potable , pero al comparar la efectividad de estos se demostró que el cloruro férrico (FeCl_3) es mejor el coagulante.

Palabras clave: Remoción, Turbiedad, Quitosano, Chatarra de Hierro

ABSTRACT

The present research shows new alternatives of coagulants for the treatment of waters of potable use, taking advantage of residues of the exoskeleton of shrimp and the scrap of iron to produce chitosan and ferric chloride (FeCl_3) respectively; employees to remove the turbidity of Río Santa, for this a bifactorial experimental design was used whose research variables were time of agitation (10 min, 20 min and 30 min) and dose of coagulant (15 ml, 30 ml, 45 ml) with a total of 9 treatments with three repetitions per coagulant; said treatment was performed on the jar test equipment. The sample analyzed from the water presented an initial value of 101.7 NTU. After having applied the treatments, it was obtained that the chitosan coagulant removed the turbidity up to 81.05%, in a stirring time of 30 min and a dose of 15 ml while the ferric chloride coagulant (FeCl_3) was able to remove a 97.88% turbidity. , in a time of 30 minutes and a dose of 45 ml. Concluding that both coagulants are effective for the removal of turbidity in drinking water, but when comparing the effectiveness of these it was demonstrated that ferric chloride (FeCl_3) is better the coagulant.

Descriptors: Removal, Turbidity, Chitosan, Iron Scrap

I. INTRODUCCIÓN

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

El agua presente en la naturaleza contiene distintos tipos de sólidos; ya sea de origen mineral como arcilla, limo o arena; o de origen orgánico producto de la descomposición de algunas plantas y animales; estos sólidos en suspensión son los responsables de darle el color y la turbidez al agua causantes de problemas durante la potabilización de la misma. Estas partículas en suspensión pueden presentar tamaños o densidades tales que pueden ser eliminadas por simple sedimentación, pero existen partículas de tamaños tan pequeños y de cargas eléctricas superficiales que hace que estas se repelen continuamente, impidiendo su aglomeración y su posterior sedimentación y eliminación.

Para que el agua pueda ser usada para el consumo humano requiere un tratamiento de potabilización. La coagulación es uno de los procesos más importantes en el tratamiento, ya que este es el responsable de remover la turbidez y color del agua, para cual en su mayoría se usan coagulantes de origen sintético o compuestos inorgánicos; principalmente coagulantes metálicos de aluminio o hierro.

Los coagulantes metálicos a base de aluminio que se utilizan para la remoción de turbidez de agua presentan grandes desventajas debido a que causan efectos tales que modifican la calidad del agua tratada que pueden generar enfermedades neurológicas, como el mal del Alzheimer, síndrome de demencia y la disminución de la capacidad motora y mental. En el caso de los coagulantes constituidos por polielectrolitos sintéticos de tipo orgánico, obtenidos de derivados de carbón y petróleo, tienen baja degradabilidad en el agua y el suelo, sus monómeros residuales tienen alto nivel de toxicidad y costos elevados.

En el Perú se generan toneladas de residuos sólidos metálicos (chatarra), provenientes de distintas actividades económicas; industrias, agrícolas y sobre todo de construcción civil, los cuales no son reutilizados, no tienen una adecuada disposición final y causan problemas ambientales como la contaminación del suelo, pero estos materiales podrían ser reutilizados como materia prima para la elaboración de nuevos productos como coagulantes o floculantes aprovechando el hierro que contiene este para crear por ejemplo cloruro férrico que demuestra eficiencia en la remoción de turbidez y además no representa un riesgo a la salud de las personas. El cloruro férrico se encuentra en el mercado como un coagulante sintético importado de alto costo.

Así como encontramos toneladas de residuos metálicos inutilizados, también existen grandes cantidades de residuos sólidos orgánicos que no están siendo aprovechados como sucede el caso de los desechos de camarón (exoesqueleto de camarón) ; este crustáceo

tiene una delgada piel que lo protege y que comúnmente es llamada cascara, que no se consume como alimento, esta cascara está compuesto de quitina del cual se puede obtener quitosano que al ser tratada químicamente puede ser empleada como coagulante natural. En los últimos años investigaciones sobre coagulantes alternativos demuestran la eficacia del quitosano proveniente de los residuos del exoesqueleto de camarón para la remoción o disminución de la turbiedad entre otras características presentes en el agua contaminada, este polímero es de amplia distribución en la naturaleza, de alto peso molecular y se obtiene principalmente de la desacetilización de la quitina (N-acetilglucosamina) presente en los exoesqueletos de los artrópodos y zooplancton marino. El coagulante quitosano por ser de origen natural presenta una alta degradabilidad en el agua y el suelo, no genera índices de toxicidad y en concentraciones y dosis bajas brindan resultados muy eficientes. En nuestra provincia la fuente de abastecimiento de agua potable proviene del Río Santa cuyas características de turbidez son altas

Por estos motivos es que, en las últimas décadas se considera el uso de coagulantes alternativos orgánicos e inorgánicos que garanticen un alto nivel de calidad de las aguas tratadas, eficiencia en el proceso y que representen una alta degradabilidad en el medio ambiente. Estos nuevos coagulantes deberán estar constituidos de nuevas materias primas que aseguren un alto rango de sostenibilidad y aprovechamiento de los recursos existentes en nuestro medio, bajo esta idea es que nuestra investigación estudiará el uso alternativo coagulantes a partir de residuos del exoesqueleto del camarón y la chatarra de hierro y la eficiencia que estos tienen en el tratamiento de aguas potables para la remoción de la turbidez.

1.2. TRABAJOS PREVIOS

Nieto y Orellana (2011), en su tesis “Aplicación de quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante”, tuvo como objetivo; reducir la carga de Cr (VI) utilizando quitosano como promotor de floculación, usaron cascara de camarón (*Penaeus Vannamei*); se realizó la prueba de jarra, se manipularon tres pH 5; 7 y 9, y tres tiempo de floculación 5 min; 15 min y 30 min y dosis de la solución de quitosano 15 ml, 30 ml y 60 ml; del mismo modo el agua fue preparada en el laboratorio mediante dilución de dicromato de potasio. La remoción de Cr (VI) fue entre 40% y 90% y los mejores tiempos de rendimiento se dieron entre los 5 y 15 minutos.

Del mismo modo Tafur y Quevedo (2014) en su tesis de grado desarrollo “Alternativas para el tratamiento de aguas residuales cromadas con quitosano extraído de exoesqueleto de camarón”, estableció como objetivo extraer el quitosano de la cascara de camarón (*Litopenaeus vannamei*) y evaluar la capacidad del tratamiento de coagulación y floculación en muestras de aguas residuales con licor de Cr provenientes del proceso de curtido, para lo cual se utilizó un tratamiento de desacetilación, desproteización, purificación y desacetilación obteniendo un rendimiento de 19.33% de quitosano, para probar la efectividad el coagulante floculante obtenido se empleó el test de jarras y se procedió a medir la turbidez y determinaron la dosis óptima de acuerdo con ellos se evaluó pH, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sólidos totales, DBO, DQO y contenido de cromo (Cr^{+3}), obtuvieron remociones superiores al 45% encada parámetro de estudio.

Por otro lado, Hossain e Iqbal (2014) en su investigación “Producción y caracterización de quitosano a partir de residuos de camarón”; produjeron quitosano a partir de residuos de camarón por un método químico que incluye desmineralización, desproteización y desacetilación. La calidad del quitosano depende de las condiciones del proceso de extracción química. Los resultados mostraron que el 3% de HCl y el 4% de NaOH eran concentraciones adecuadas para la desmineralización y desproteización, respectivamente a temperatura ambiente (28 ± 2 ° C). Se obtuvo quitosano con un alto grado de desacetilación (81.24%) y alta solubilidad (97.65%) mediante desacetilación con NaOH al 60% durante 24 horas a 60 ° C. El quitosano purificado se caracterizó por su viscosidad intrínseca (13.2 dl / g), peso molecular (1.05×10^6 Dalton), FBC (427.98%), WBC (537.29%) y rendimiento (15.4%).

Según Bina et. al (2009) en su investigación “Efectividad del quitosano como coagulante natural ayuda en el tratamiento de aguas turbias”; cuyo objetivo investigar los efectos del alumbre como coagulante junto con el quitosano como ayuda coagulante en la eliminación de turbiedad, dureza y *Escherichia coli* del agua, emplearon una prueba de jarra convencional. El pH óptimo que se observó fue 7 y 7,5 para todo el proceso de tratamiento, las dosis óptimas de alumbre y quitosano cuando se usaron en conjunto fueron de 10 mg / L y 1 mg / L, 5 mg / L y 0.5 mg / L y 5mg / L y 0.5mg / L en turbidez baja, media y alta, respectivamente. La eficiencia de eliminación de turbidez fue entre% 74.3 a% 98.2 por alumbre junto con quitosano, el Al^{+3} residual en el agua tratada fue menor a 0.2 mg / L, cumpliendo con las pautas internacionales. Los resultados mostraron

que la disminución de la turbidez proporcionó también una reducción primaria de Escherichiacoli de 2-4 unidades logarítmicas en las primeras 1 a 2 horas de tratamiento. Eliminación de la dureza la eficiencia disminuyó cuando la dureza total aumentó de 102 a 476 mg / l como CaCO₃, abaja turbidez inicial, el quitosano mostró un rendimiento ligeramente mejor en la dureza, especialmente en los rangos de 100 a 210 mg / L como CaCO₃.

Díaz (2014), en su tesis de maestría “Coagulantes – floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas”, cuyo objetivo fue analizar la eficacia de coagulantes y floculantes elaborados a partir del reciclaje de la chatarra metálica y de plantas, para clarificar aguas de consumo humano, aplico el test de jarras para realizar los procesos de coagulación – floculación, concluyendo que el agente coagulante con mayor efectividad es el caulote junto con el coagulante sintético de chatarra metálica aluminio logrando clarificar el agua a un 100% y manteniendo los parámetros normales de turbidez y OD.

Por otro lado, Zerbato et al. (2009) en su investigación del “Cloruro férrico para la coagulación optimizada y remoción de enteroparásitos en agua”, cuyos objetivos fueron; evaluar las modificaciones de pH en la etapa de coagulación con cloruro férrico, con el fin de optimizar la remoción de materia orgánica y comprobar si las modificaciones del pH afectan la eliminación de enteroparásitos para ello se realizaron ensayos de coagulación, para el recuento de los endoparásitos se aplicó el método de inmunofluorescencia con anticuerpos monoclonales, de los cuales determinaron que a pH más ácido la remoción de materia orgánica es mayor y se comprobó que la modificación de pH no interfiere en la eliminación de quistes de enteroparásitos en el proceso de coagulación.

Según Moreno (2016), en su tesis de grado sobre “Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*”, tuvo por objetivo; determinar la disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas que consume la población de Chuquibamba - Cajabamba utilizando el coagulante para lo cual se empleó el test de jarra para el proceso de coagulación produciéndose la disminución de la turbidez del agua que consume la población de 61,09% al usar *Opuntia ficus indica*, en un 48,47% al usar *Caesalpinia*

spinosa y en un 42,48% en el caso del uso de *Aloe vera*, siendo *Opuntia ficus indica* la más efectiva.

Así mismo Vela (2016), en su tesis "Disminución de la turbidez utilizando coagulante natural *Moringa oleífera* en aguas obtenidas del río Alto Chicama, puente Ingón, Trujillo 2016", cuyo objetivo fue reducir la turbiedad del agua utilizando el coagulante natural cuya turbiedad inicial fue 297 NTU; los tratamientos consistieron en aplicar dosis de 15ml, 18 ml, 20 ml, y 25 ml a cuatro velocidades de agitación 200 rpm (2´) con 60 rpm (15´), 300 rpm (2´) con 80 rpm (15´), 200 rpm (15´) con 80 rpm (2´), 300 rpm (15´) con 60 rpm (2´), realizó 16 ensayos con 3 repeticiones en el test de jarras concluyendo que el coagulante presenta eficiencia sin necesidad de adquirir cantidades considerables de este recurso y obtenemos que la mayor disminución fue de 93,10% y la menor fue de 69,16% con un valor de 20,50 NTU y 91,60 NTU respectivamente.

1.3. TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA

1.3.1. Coagulación

Andía Yolanda (2000) sostiene que la coagulación es un proceso mediante el cual las partículas coloides presentes en el agua se desestabilizan químicamente debido a que se produce la neutralización de las cargas que los mantiene separados, por medio de la adición de los coagulantes y la aplicación de energía de mezclado; lo que sucede en este proceso, es que el coagulante se adhiere a las paredes de las partículas coloides, causando la neutralización de las cargas eléctricas que por la fuerza de Van Der Waals dando lugar a la formación de flóculos (Nieto y Orellana, 2011), en el momento que el coagulante entra en contacto con el agua, el proceso de coagulación se da inicio y en fracción de segundos se observa la formación de flóculos, que posteriormente sedimentaran, cabe recalcar que la eficiencia del proceso dependerá ampliamente de las propiedades de hidratación y los estados de carga superficial de coloide. (Ramírez y Jaramillo, 2015)

Este es el tratamiento de agua más eficiente y universal para la eliminación de sustancias de diversa naturaleza y peso, también remueve las sustancias que le dan el color, bacterias, y virus; sin embargo, cabe indicar que el proceso de coagulación realizado inadecuadamente puede conducir a la disminución rápida de la calidad del agua y representar gastos de operación no justificados. (Restrepo, 2009)

1.3.2. Tipos de coagulación

1.3.2.1. Coagulación por Absorción

Sucede cuando existe una alta concentración de partículas coloides; es decir, los coloides absorben el coagulante adicionado al agua y forman flóculos en forma casi instantánea. (Díaz, 2014)

1.3.2.2. Coagulación por Barrido

Se presenta cuando el agua es clara; es decir tiene una baja turbiedad y la cantidad de partículas en coloides es pequeña, donde las partículas son atrapadas al producirse una sobresaturación de precipitado. (Días, 2014)

1.3.3. Factores que influyen en la coagulación

1.3.3.1. Influencia del pH

El pH es el parámetro más importante durante la coagulación, ya que para cada tipo de agua existe un rango de pH óptimo; para que la coagulación se de en fracción de segundos dependerá de la naturaleza de los iones y la alcalinidad que el agua presente, si la coagulación se realiza fuera del pH óptimo se tendrá que aumentar la cantidad del coagulante. (Tafur y Quevedo, 2014)

1.3.3.2. Temperatura

Barrenechea (2010) sostiene que la coagulación es más eficiente si se realiza a una temperatura alta, si existe una variación de 1°C; la coagulación será más lenta.

1.3.4. Tipos de coagulantes

1.3.4.1. Coagulantes a base de sales metálicas

Los coagulantes más ampliamente usados están hechos a base de sales de hierro y aluminio; principalmente sulfato de aluminio, cloruro de hierro (II) y sulfato de hierro (II) (Vargas y Romero, 2006). Los que se han utilizado en el proceso de potabilización del agua desde los años 60's, siendo el sulfato de aluminio ((Al₂SO₄)₃.18H₂O, mejor conocido como alumbre) y el cloruro de aluminio (AlCl₃), los más utilizados en los países en vías de desarrollo, por ser económicos, de fácil acceso y de alta efectividad. (Sandoval et. al, 2013)

La inadecuada manipulación de los compuestos como sulfato de aluminio y cloruro férrico, puede derivar en la contaminación del agua, por algunas sustancias tóxicas y reaccionar de manera adversa con otros compuestos químicos que se añadirán posteriormente en el proceso de tratamiento.

1.3.4.2. Coagulantes polimerizados a base de sales metálicas

Al igual que las coagulantes líneas arriba mencionados, estos están hechos mayoritariamente a base de aluminio y hierro; entre estos compuestos tenemos al Cloruro de poli-aluminio que es utilizado frecuentemente en regiones de Asia y Europa. (Nieto y Orellana, 2011)

1.3.4.3. Coagulantes a base de polímeros sintéticos

Son cadenas de monómeros individuales, ligados entre sí en una configuración lineal o ramificada con grupos funcionales, unidos a lo largo de la cadena por enlaces covalentes que pueden poseer; carga negativa (polímeros aniónicos), carga positiva (polímeros catiónicos) o una carga neutral, o con muy baja tendencia a desarrollar carga en una solución acuosa (polímeros no iónicos). (Martínez, 2015)

Estos coagulantes son compuestos orgánicos producto de la transformación química del carbón y del petróleo, generalmente constituidos por poliacrilamida (no iónicos) o poliacrilamida hidrolizada (aniónicos). (Kirchmer Cliff, 1975)

1.3.4.4. Coagulantes de origen natural

Son sustancias solubles en el agua, procedentes de materiales de origen vegetal o animal que actúan de modo similar a los coagulantes y desinfectantes sintéticos (Ramírez y Jaramillo, 2015), estas macromoléculas son coagulantes poliméricos naturales obtenidos de diversas plantas, árboles o restos de animales, por ejemplo, la celulosa y sus derivados, el almidón y las proteínas. (Sandoval y Hernández, 2012)

En Perú, el agua se ha clarificado tradicionalmente con la savia mucilaginosa de “pencas” obtenidas de ciertas especies de cactáceas. El uso de materiales naturales de origen vegetal para clarificar las aguas superficiales turbias no es una idea reciente. Las escrituras en sánscrito procedentes de la India y fechadas varios siglos antes de Cristo, hacen la referencia de las semillas del

árbol nirmali (*Strychnos potatorum*) utilizadas hace 4000 años para clarificar aguas pluviales turbias. (Solís et. al 2012)

En los últimos años se buscan opciones limpias (con efecto nocivo mínimo y económicas con las cuales se sustituyan los coagulantes primarios; como semillas de tamarindo (*Tamrindus indica*), moringa (*Moringa olifera*) nirmali (*Strychnos potarum*), planta de guar (*Cyamopsis psoraloides*), planta de sorela roja (*Hibicus sabdarffa*), el polímero obtenido de las pencas de la tuna (*opuntia cochinellifera*), lentejas (*Lens esculenta*) y qutisano, polímero natural. (Gurdían y Coto, 2011)

1.3.5. Quitosano

Es un polisacárido del alto peso molecular que se logra mediante la desacetilación de la quitina (N-acetilglucosamina), insoluble en el agua, pero soluble en soluciones acidas, comportándose en este medio como un polielectrolitos catiónicos (Baquero et. al, 2014). El quitosano presenta grupos de aminos en su estructura, la cual le da la capacidad para coagular sustancias coloides, así también su aplicación permite aumentar la acción de coagulantes inorgánicos convencionales.

Este polisacárido está presente en estado natural en las paredes celulares de algunos hongos y moluscos; sin embargo, su principal fuente de producción es la hidrólisis de quitina, en medio alcalino, generalmente en NaOH o KOH, o en altas temperaturas (Nieto y Orellana, 2011). Se define al quitosano como un polímero catiónico lineal, de características biodegradables, no es toxico, de alto peso molecular de fácil aplicación y amigable con el medio ambiente.

1.3.5.1 Beneficios del uso de quitosano

Según Gurdían y Coto (2011) el quitosano es un polímero natural, empleado para el tratamiento de agua que ha probado ser muy eficiente como coagulante, floculante o ayudante de floculación; los beneficios que su uso proporciona se detallan a continuación:

- Menor incremento en la carga iónica del tratamiento.
- Reducción de las cantidades de aluminio y hierro utilizadas en el tratamiento.
- Mejoran la remoción de color y precursores de trihalometanos.
- Producen flóculos más grandes que hacen más fácil la sedimentación.

- Los polímeros floculantes pueden reducir las dosis de coagulante utilizado y otros químicos que ayudan a controlar el pH.
- Los polímeros floculantes reducen la cantidad de sólidos que llegan a los filtros o puede alterar de manera favorable las propiedades de estos y así, disminuir la frecuencia de lavado de los filtros.
- Una dosis pequeña de polímeros floculantes puede remplazar grandes dosis de coagulante de aluminio o hierro, por lo tanto, la cantidad de lodos se reduce. También mejora sus características para un mejor manejo y menor tiempo de remoción.
- Ahorro de inversión del 25-30 %.

1.3.5.2 Elaboración del quitosano

La elaboración del quitosano a partir de la quitina del exoesqueleto de camarón consta de tres procesos principales la desproteización, desmineralización y desacetilación previo a esto los desechos de camarones triturados se mantuvieron en bolsas de polietileno a temperatura ambiente ($27^{\circ} \pm 2^{\circ}$) durante 24 horas para la autólisis parcial para facilitar la extracción química de quitosano y mejorar la calidad del quitosano. (Hossain e Iqbal, 2014)

- **Desproteización**

La desproteización consiste en someter el exoesqueleto de camarón a un tratamiento alcalino con una solución de NaOH al 3.5 % en una relación solido: liquido 1:10, bajo agitación constante durante 2 horas, a una temperatura de 95°C con el fin de eliminar las proteínas presentes, para eliminar el exceso de base empleada se lava con abundante agua destilada hasta conseguir un pH neutro. (Tafur y Quevedo, 2014)

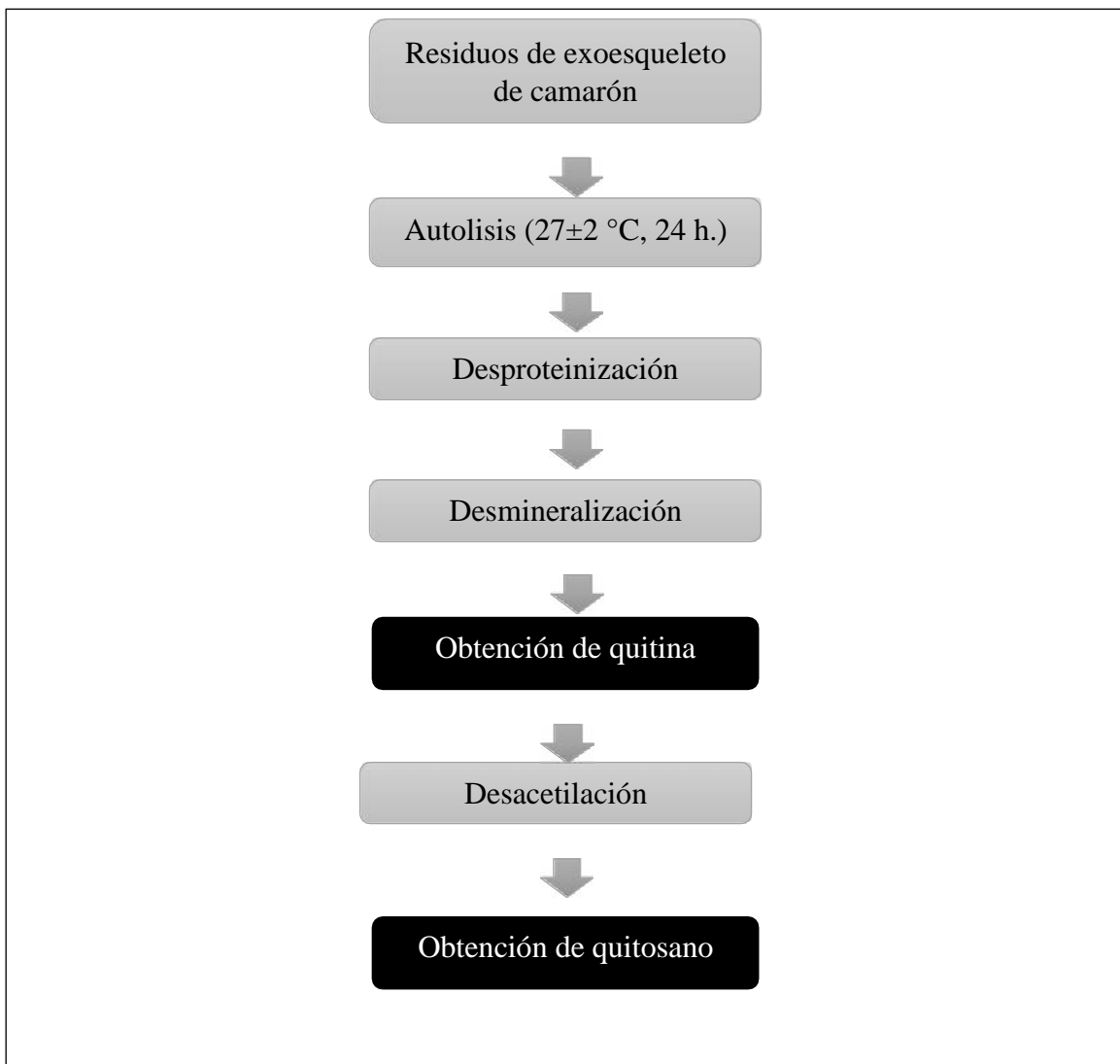
- **Desmineralización**

Para este proceso es necesario utilizar HCL 2 N en una relación solido: liquido de 1:5 a temperatura ambiente, para agregarlo se realiza de forma lenta y con agitación, para poder controlar la espuma generada por la liberación de CO₂, terminada esta acción se deja en agitación constante durante 2 horas, posterior a ello se realiza el lavado y filtrado con agua destilada hasta conseguir un pH neutro. (Tafur y Quevedo, 2014)

- **Desacetilación**

En este proceso la quitina sufre una modificación química porque las unidades acetilo son sustituidas por los grupos amino. (Tafur y Quevedo, 2014) para ello es tratada con NaOH al 60% en una relación solido: liquido 1:10, bajo agitación contante durante 1 hora, a una temperatura de 100%, usando una estufa en una cámara de gases.

Finalmente se lava hasta conseguir un pH neutro, se seca y se guarda el quitosano obtenido.



Fuente: Propia

Figura N° 1. Proceso de elaboración de quitosano.

1.3.6. Cloruro Férrico (FeCl₃)

Es una solución de color marrón oscuro (ámbar) con una ligera viscosidad, este líquido se produce de la reacción del mineral de hierro con ácido clorhídrico y cloro, que en estado sólido es de una alta higroscopicidad en el ambiente.

En el mercado lo podemos encontrar como una solución al 40% - 42% de rango de concentración.

El cloruro férrico es un compuesto que posee una gran versatilidad, con una amplia área de aplicaciones en la industria. Su elevado poder para la floculación lo destaca como un coagulante muy eficiente en el tratamiento de aguas potables y de efluentes sanitarios e industriales, y su propiedad para coagular en un amplio rango de pH lo convierte en un producto de amplia utilidad en comparación con otras sustancias químicas utilizadas para el mismo propósito. Este producto es empleado para la eliminación de fósforo y de sulfuro en efluentes tanto industriales como saneamiento.

Se utiliza también como agente en el acondicionamiento de lodos, como catalizador en gran variedad de reacciones orgánicas, para la oxidación del asfalto, en la elaboración de pigmentos, fotograbado, en la fabricación de otras sales de hierro, entre otras aplicaciones industriales. (Efice,2018)

1.3.6.1 Propiedades

- Apariencia: La solución es viscosa y de color ámbar oscuro. El sólido es de color amarillo naranja.
- Gravedad específica: La solución presenta una gravedad específica de 1.43 g/ml, en tanto que la del sólido es 1.69 g/ml.
- Solubilidad: El cloruro férrico es soluble en etanol, acetona, glicerina y benceno, así como en agua en todas las proporciones.
- Reactividad: El producto es altamente oxidante, ataca a los metales incluyendo al cobre.

Es usado como coagulante, debido a que tiene ventajas al compararlo con otros, entre las que se destacan su efectividad en amplios rangos de pH y temperatura. Además, genera iones trivalentes de mayor peso molecular, esenciales para para el proceso de coagulación. (Zerbatto et. al, 2009)

1.3.7. Turbidez

El agua contiene de forma natural varios tipos de partículas orgánicas que adoptan una carga negativa y la presencia de cargas superficial influye ampliamente en su estabilidad relativa (Ramírez y Jaramillo, 2015)

Las partículas causantes de la turbidez y el color presentan características coloidales (10^{-6} - 10^{-9} m de diámetro) con carga negativa a pH a 7. (Gurdían y Coto, 2011)

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el efecto del tiempo de agitación y dosis entre coagulantes de exoesqueleto camarón y chatarra de hierro en la remoción de turbiedad del Río Santa?

1.5. JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico es la fuente principal de la vida en el planeta y está siendo impactada de forma adversa por las actividades del ser humano que contamina los ríos, lagos y otros cuerpos de agua, es por ello que hoy en día presenciamos tristemente el deterioro progresivo de las aguas superficiales, y la pérdida de los ecosistemas acuáticos.

El crecimiento desordenado de la población en nuestro país en las últimas décadas ha causado un problema de gestión en el aprovechamiento, abastecimiento y calidad del agua para consumo humano, este es un problema grave debido a que este recurso resulta ser de gran influencia en la salud de las personas, que al estar en malas condiciones provoca enfermedades gastrointestinales.

En los procesos de tratamiento de aguas ya sea potable o residual, se utiliza coagulantes para eliminar principalmente la turbidez, eliminar los sólidos totales en suspensión, quitarle el color o eliminar la presencia de metales como el cromo (VI) hexavalente.

En el proceso de potabilización la etapa de coagulación- floculación es la más importante ya que por este proceso se elimina la mayor cantidad de contaminantes.

Usualmente se emplean sustancias coagulantes y floculantes de origen inorgánico tales como sales de aluminio y sales de hierro, o de origen sintético es decir polímeros sintéticos como la poliacrilamida; que si bien es cierto tienen una alta eficiencia en cuanto a la aglomeración de coloides , causan efectos secundarios en el agua tratada, debido a que modifican las características fisicoquímicas del agua , así mismo generan una elevada toxicidad y presentan una baja degradabilidad tanto para el agua como el suelo.

Hoy en día diversas investigaciones evidencian que se puede aprovechar los polímeros orgánicos de fuentes animales o vegetales como coagulantes y floculantes naturales; que

no solo presentan una eficiencia similar o mejor en comparación a los de origen sintético o inorgánico, sino que, además no causan daño ni contaminación al medio ambiente o la salud de los seres humanos, siendo una alternativa eficiente, de bajo costo y amigable con el ambiente es por ello que este proyecto de investigación busca usar recursos naturales como materia prima a fin de elaborar coagulantes de bajo costo y de alta efectividad, como el de chatarra metálica y el de exoesqueleto de camarón que utilizan desechos como materia prima garantizando un uso sostenible de los recursos.

1.6. HIPÓTESIS

H1: El tiempo de agitación y dosis entre coagulantes de exoesqueleto camarón y chatarra de hierro afectan en la remoción de turbiedad del Río Santa.

H0: El tiempo de agitación y dosis entre coagulantes de exoesqueleto camarón y de chatarra de hierro no afectan en el proceso de remoción de turbiedad del Río Santa.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. Objetivo General

Determinar el efecto del tiempo de agitación y dosis entre coagulantes de exoesqueleto de camarón y chatarra de hierro para la remoción de turbiedad del Río Santa.

1.7.2. Objetivos Específicos

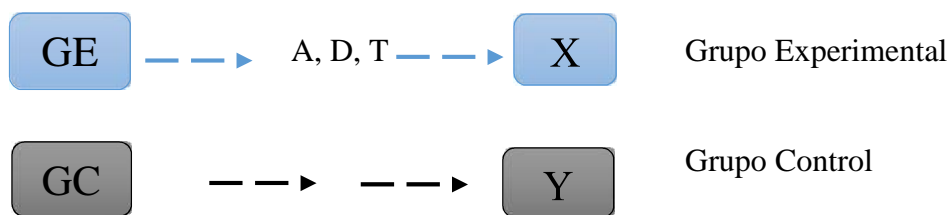
- a) Determinar la mejor relación entre tiempo de agitación y dosis de coagulante de exoesqueleto de camarón en la remoción de turbiedad del Río Santa.
- b) Determinar la mejor relación entre tiempo de agitación y dosis de coagulante de chatarra de hierro en la remoción de turbiedad del Río Santa.
- c) Comparar la mejor relación entre el tiempo de agitación y dosis de los coagulantes de exoesqueleto de camarón y chatarra de hierro en la remoción de turbiedad del Río Santa.

II. MÉTODO

2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación presentó un diseño experimental bifactorial, en el cual se identificó una variable dependiente; la turbiedad, la que a su vez está sujeta a la manipulación de dos variables independientes; la dosis de los coagulantes natural exoesqueleto de camarón y sintético de chatarra de hierro y el tiempo de agitación a la que serán sometidas las muestras en el equipo de prueba. Se representó las variables independientes de la siguiente manera:

Esquema:



Factor D = D₁, D₂, D₃, D₄, D₅, D₆

Factor T = T₁, T₂, T₃

Donde:

D: Representa la dosis de coagulante a utilizar

T: Representa el tiempo de agitación del agua

Combinando los factores (A, D, T) se obtiene 6 x 3 = 18 experimentos.

Tabla N° 1. Matriz de evaluación de datos factorial.

		Tiempo de agitación		
		T ₁	T ₂	T ₃
DOSIS DE COAGULANTE	D ₁	D ₁ (T ₁)	D ₁ (T ₂)	D ₁ (T ₃)
	D ₂	D ₂ (T ₁)	D ₂ (T ₂)	D ₂ (T ₃)
	D ₃	D ₃ (T ₁)	D ₃ (T ₂)	D ₃ (T ₃)
	D ₄	D ₄ (T ₁)	D ₄ (T ₂)	D ₄ (T ₃)
	D ₅	D ₅ (T ₁)	D ₅ (T ₂)	D ₅ (T ₃)
	D ₆	D ₆ (T ₁)	D ₆ (T ₂)	D ₆ (T ₃)

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

D₁: Dosis de 15 ml de coagulante de exoesqueleto de camarón (quitosano).

D₂: Dosis de 30 ml de coagulante de exoesqueleto de camarón (quitosano).

D₃: Dosis de 45 ml de coagulante de exoesqueleto de camarón (quitosano).

D₁: Dosis de 15 ml de coagulante de chatarra de hierro (FeCl₃).

D₂: Dosis de 30 ml de coagulante de chatarra de hierro (FeCl₃).

D₃: Dosis de 45 ml de coagulante de chatarra de hierro (FeCl₃).

T₁: Tiempo de agitación de 10 min

T₂: Tiempo de agitación de 20 min

T₃: Tiempo de agitación de 30 min

2.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

2.2.1. Variables

a. Variable independiente:

- Dosis de coagulante.
- Tiempo de agitación.

b. Variable dependiente:

- Disminución de la turbiedad.

2.2.2. Operacionalización

Tabla N°2. Operacionalización de variables.

TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
VARIABLE INDEPENDIENTE	Dosis de coagulante	Cantidad de coagulante que se aplica a la muestra como tratamiento.	Se evaluó tres dosificaciones diferentes coagulantes obtenidas a partir del exoesqueleto de camarón y chatarra de hierro 15, 30 y 45 ml	(ml) de coagulante	Cuantitativa de Razón
VARIABLE INDEPENDIENTE	Tiempo	Tiempo durante el cual la muestra ha sido sometida a una homogenización constante. Apoyados del equipo de tés de jarras.	Se evaluó en diferentes periodos de 10, 20 y 30 minutos a fin de poder determinar el mejor tiempo de agitación.	Minutos	Cuantitativa de Razón
VARIABLE DEPENDIENTE	Disminución de turbiedad en agua superficial	Proceso de aumento de transparencia del agua debido a la remoción de las partículas en suspensión (coloides).	Se evaluó el resultado en unidades de turbiedad NTU antes y después del tratamiento para determinar el porcentaje de disminución.	NTU (Unidad nefelométrica de turbidez)	Cuantitativa de Intervalo

Fuente: Elaboración propia.

2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

2.3.1. Población

Estará constituido por el agua extraída del Río Santa.

Tabla N° 3. Punto de muestreo de agua en el Río Santa.

	Este	Norte	Referencia
UTM	761358	9007862	Puente Santa, cerca del Distrito de Santa.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2. Muestra

Se utilizaron 54 litros de agua recolectada del Río Santa que fue tomada bajo los criterios del protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (ANA-2016), las cuales se les aplicará cada tratamiento los coagulantes; a diferentes tiempos en el test de jarras y distintas dosis, con tres réplicas cada tratamiento.

2.3.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis fue de 800 ml del agua recolectada del Río Santa a las que se les aplicará los tratamientos de coagulación.

2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

2.4.1 Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos que se empleó fue la observación; es decir se realizó un registro visual de lo que ocurrió durante la etapa experimental, del mismo modo se elaboró un registro de los resultados obtenidos durante las pruebas o tratamientos.

2.4.2 Instrumento de recolección de datos.

Se manejó una libreta de campo en la cual se registraron los cambios que se produjeron durante la etapa experimental; del mismo modo los resultados obtenidos de los tratamientos realizados fueron registrados en una ficha de recolección de resultados (Anexo 01), en el que se tomaron los datos de dosis de cada coagulante, el tiempo de agitación y el dato más importante el porcentaje de remoción de turbiedad que posteriormente serán analizadas.

2.4.3 Validación de datos

Los datos obtenidos se analizaron a través de una prueba de normalidad a través de la prueba Shapiro-Wilk, una prueba de homogeneidad (Levene). Para determinar la eficiencia de los coagulantes se aplicará la prueba estadística ANOVA y por último Tukey HSD.

2.5. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE COAGULANTES

2.4.4 Elaboración de los coagulantes

Los coagulantes tanto natural como alternativo sintético fueron obtenidos de acuerdo con los procedimientos realizados por Tafur y Quevedo en el 2014 para el coagulante a base de exoesqueleto de camarón (Anexo 02) y de Díaz Claros en el 2014 para el coagulante a base de chatarra de hierro (Anexo 03).

2.4.5 Preparación de los coagulantes

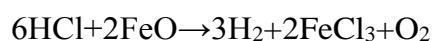
- Quitosano

Una vez obtenido el quitosano se pesó 0.25 g de este en la balanza analítica, luego se colocó en un balón de fondo redondo y se agregó 50 ml de ácido acético al 0.1 M, expuesto a una agitación constante por 24 horas, posterior a ello se aforó 500 ml de agua destilada, resultando una solución de concentración de 500ppm.

De esta solución se tomaron alícuotas de 15 ml, 30 ml y 45ml correspondientes a las dosis que serán aplicadas como tratamiento.

- Cloruro férrico (FeCl₃)

Se procedió a pesar 5.0012gr de chatarra metálica en una solución de ácido clorhídrico concentrado (10ml) para lograr obtener la reacción:



Luego se dejó actuar el ácido con la chatarra metálica por 72 horas, después se filtró los residuos que no reaccionaron con el ácido siendo un total de 1.0010 gr. En esta solución tenía una concentración de 814,840 ppm de cloruro férrico. Posteriormente se sacó una alícuota de 1ml y se aforó a 10 ml obteniendo una concentración de 81,484 ppm de cloruro férrico. Posteriormente de esta nueva solución se sacó una alícuota de 3.0680 ml para aforarla a 500 ml; obteniendo finalmente una solución de cloruro férrico de 500 ppm.

2.4.6 Evaluación de coagulantes

Antes de empezar con la evaluación de los coagulantes se midió la turbiedad del agua tomada del Río Santa (Tabla N°4) utilizando un turbidímetro Tub – 430 de marca Ezodo, posterior a ello se desarrolló el siguiente procedimiento:

Para evaluar la eficiencia de los coagulantes; quitosano elaborado a partir de materia prima reciclada de exoesqueleto de camarón y de cloruro férrico elaborado a partir de chatarra metálica; se utilizó el equipo de prueba de jarras; en el cual se colocaron seis vasos de precipitación conteniendo agua de la muestra tomada del Río Santa, luego se programó el equipo a una velocidad de agitación de 150 rpm durante 1 minuto, inmediatamente después se agregó juntamente a los vasos de precipitación el FeCl_3 (cloruro férrico) y el Quitosano en diferentes dosis de 15 ml, 30 ml y 45 ml, luego de terminado el 1 minuto se disminuyó la velocidad de agitación a 25 rpm por 10 min (primer tratamiento), 20 min (segundo tratamiento) y 30 min (tercer tratamiento), terminado este tiempo se dejó sedimentar por 10 minutos, en seguida se tomó una muestra de 10 ml de muestra de agua que fue llevada al turbidímetro y se midió la turbiedad final del agua

2.4.7 Condiciones importantes a tener en cuenta

- **Equipo de pruebas de jarras:**

Para esta investigación se programó el equipo a una velocidad de mezcla rápida de 150 rpm durante 1 minuto en cada tratamiento.

Se estableció la velocidad de mezcla lenta de 25 rpm con distintos tiempos de agitación 10 min (primer tratamiento), 20 min (segundo tratamiento) y 30 min (tercer tratamiento).

- **pH:**

El pH es un factor importante ya que ayuda a determinar la cantidad de coagulante por esa razón se midió el pH antes y al finalizar los tratamientos para poder analizar posibles fenómenos de cambio en la investigación.

- **Temperatura**

El desarrollo del proceso experimental se realizó a temperatura ambiente de 27°C en el laboratorio.

- **Volumen de muestra**

Para este proceso de investigación se estableció un volumen de muestra de 800 ml en todos los vasos de precipitación colocados en el equipo de prueba de jarras.

III. RESULTADOS

3.1 Condiciones iniciales del agua del Río Santa

A continuación, se presentan los datos obtenidos de la evaluación a la muestra de agua tomada del Río Santa.

Tabla N°4. Características iniciales del agua del Río Santa.

Parámetro	Unidad	Valor	DS N°004.2017-MINAM
			Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección
Turbiedad	NTU	101.7	5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7.22	6.5 – 8.5

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°4, se detalla los resultados obtenidos de la caracterización del agua del Río Santa para el parámetro de turbiedad cuyos resultados fueron 101.7 NTU, que al compararlos con los Estándares de Calidad Ambiental para aguas en la Subcategoría A: Aguas destinadas a la producción de agua potable, dentro de la categoría 1: Poblacional y recreacional, no cumple con dicho estándar; a diferencia del pH que si está dentro del rango permitido.

Para determinar la turbidez del agua del Río Santa, se empleó el método nefelométrico; por consiguiente, a la muestra se aplicaron todos los tratamientos para cada coagulante, según el diseño bifactorial (Tabla N°1). Tres replicas se realizaron por cada tratamiento, que dieron un total de 54 resultados.

3.2 Determinación del mejor tratamiento de remoción

Tabla N° 5. Remoción de la turbiedad del coagulante a partir de exoesqueleto de camarón (Quitosano).

Dosis	10 min		20 min		30 min	
	Turbiedad (NTU)	Remoción (%)	Turbiedad (NTU)	Remoción (%)	Turbiedad (NTU)	Remoción (%)
15 ml	23.63	76.76	20.93	79.42	19.27	81.05
30 ml	23.33	77.06	19.52	80.81	20.94	79.41
45 ml	22.37	78.00	20.13	80.21	21.29	79.07

Fuente: Elaboración propia.

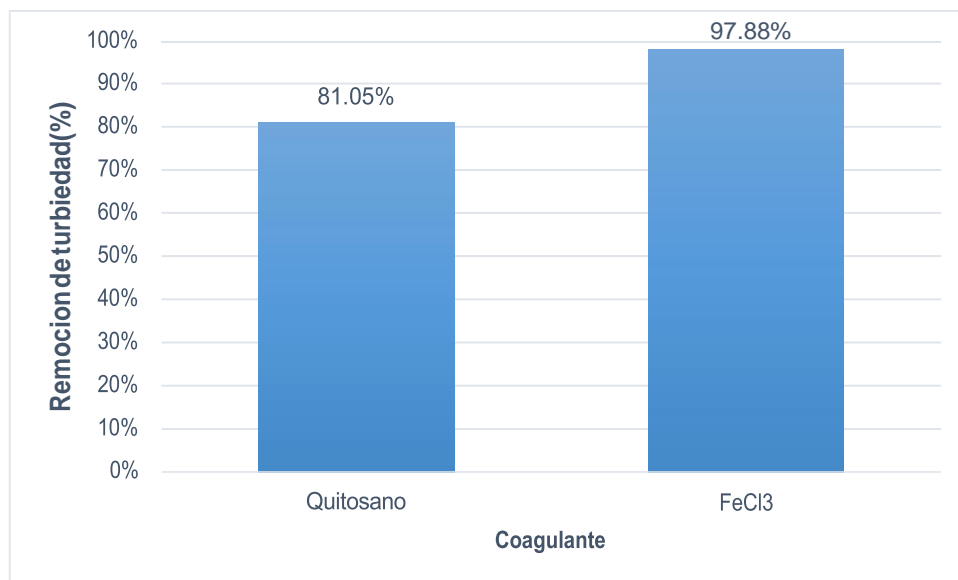
En la Tabla N°5, se puede observar que la remoción de la turbiedad del coagulante quitosano con mayor eficiencia fue el mejor tratamiento que estuvo sometido a un tiempo de agitación de 30 min y una dosis de 45 ml obteniendo una remoción total de 81.05%.

Tabla N° 6. Remoción de turbiedad del coagulante a partir de chatarra de hierro (Cloruro Férrico (FeCl₃)).

Dosis	10 min		20 min		30 min	
	Turbiedad (NTU)	Remoción (%)	Turbiedad (NTU)	Remoción (%)	Turbiedad (NTU)	Remoción (%)
15 ml	34.96	65.62%	24.13	76.27%	22.11	78.26%
30 ml	31.93	68.60%	9.33	90.83%	8.01	92.13%
45 ml	26,00	74.43%	6.43	93.68%	2.15	97.88%

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6, se detalla que el mejor tratamiento es aquel que presenta la relación de tiempo de agitación de 30 min y una dosis de 15 ml obteniendo una remoción de turbiedad de 97.89%.



Fuente: Propia

Figura N° 2. Comparación del efecto de coagulación del quitosano y FeCl₃.

En la Figura N°2, se detalla la comparación de los mejores resultados obtenidos de los tratamientos de los coagulantes de quitosano y cloruro férrico (FeCl₃), en el que se observa que el mejor coagulante es el cloruro férrico (FeCl₃).

3.3 Análisis estadístico

Para analizar estadísticamente los datos obtenidos se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics v.25 a través del análisis de varianza ANOVA; previo a ello se realizaron las siguientes pruebas estadísticas:

Prueba de normalidad: Se usó el método de Shapiro- Wilk para cada factor, en la cual se comprobó que existe una distribución normal en cada uno de los resultados obtenidos (ver Anexo N° 06 Tabla N°15. y Tabla N° 16) a un 95% de confiabilidad con respecto al tiempo de agitación y dosis de coagulante de Quitosano, así mismo, para los resultados obtenidos del coagulante de FeCl_3 existe una distribución normal a un 95% de confiabilidad. (ver Anexo N° 06. Tabla N°19 y Tabla N°20.)

Prueba de homogeneidad de varianzas: Se empleó el contraste de Levene sobre la igualdad de varianzas en el que se obtuvo que P valor (sig.) es mayor a 0.05 lo que nos indica que los resultados de la relación entre el tiempo de agitación y dosis del coagulante de quitosano son de varianzas iguales. (ver Anexo N° 06. Tabla N°17). De tal manera, al emplear la misma prueba para los resultados obtenido del tratamiento con el coagulante de FeCl_3 el valor P es mayor a 0.05 aceptando la H_0 es decir cumple con el supuesto de homogeneidad. (ver Anexo N° 06. Tabla N°21)

Prueba de Análisis de Varianza-ANOVA : Al comprobar que los resultados de los tratamientos con el coagulante cloruro férrico y quitosano presentan una distribución normal y cumplen con el supuesto de homogeneidad, se procedió a realizar el análisis de varianza ANOVA al 95% de confiabilidad en donde se determinó estadísticamente que no existe diferencia significativa de los resultados obtenidos de la relación entre el tiempo de agitación y dosis del coagulante de quitosano en la remoción de la turbiedad del Río Santa, por lo tanto, se acepta la H_0 , indicando que los tratamientos son iguales.(ver Anexo N° 06. Tabla N°18). Sin embargo, del coagulante de FeCl_3 se determinó que existe diferencia significativa en la relación entre el tiempo de agitación y dosis en la remoción de la turbiedad del Río Santa, es decir se rechaza la H_0 es decir que al menos un tratamiento es diferente. (ver Anexo N°06. Tabla N°22).

Para confirmar la diferencia significativa entre los tratamientos se aplicó la prueba Post Hoc de HSD de Tukey de comparaciones múltiples, para determinar el mejor tiempo de agitación y la mejor dosis del coagulante FeCl_3 en la remoción de la turbiedad a una confiabilidad del 95%. (ver Anexo N°06.Tabla N°22 y Tabla N°23)

Mediante los análisis estadísticos realizados se concluyó que a dosis de 45 ml en 30 minutos es el mejor tratamiento en la remoción de turbiedad usando como coagulante al ClFe_3 logrando remover 97.89% de turbiedad en el agua del rio Santa. (Ver Anexo N°5. Figura N°4)

Así mismo, en los análisis estadísticos realizados se concluyó que a pesar que no existe una variación estadísticamente significativa en la remoción de turbiedad con Quitosano del rio Santa según dosis y tiempo, sin embargo, se obtuvo que en dosis de 15 ml en 30 minutos es el mejor tratamiento en la remoción de turbiedad usando como coagulante al Quitosano logrando remover 81.05% de turbiedad en el agua del rio Santa. (Ver Anexo N°5. Figura N°5)

Análisis estadístico multifactorial: Prueba de Análisis de Varianza-ANOVA; se comprueba que al menos uno de los tratamientos realizados es diferente con un nivel de significancia de 95%. (Ver Anexo N°06, Tabla N°26); Seguido se realizó la prueba HSD-Tukey para tiempo en donde se determinó con un nivel de confianza que del 95%, que existe diferencias estadísticamente significativas entre el tiempo 10 minutos y el resto de tiempos para ambos tipos de coagulantes (quitosano, cloruro férrico)(Ver Anexo N°06, Tabla N°27), seguido se realizó la HSD-Tukey para dosis se determinó con un nivel de confianza que del 95%, que existe diferencias estadísticamente significativas entre la dosis 15 ml respecto de la otras dosis para ambos tipos de coagulantes (quitosano, cloruro férrico) (Ver Anexo N°6, Tabla N°28, Figuras N°6 y 7). Seguido se realizó una prueba HSD-Tukey para tipo de coagulante demostrándose que existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza de 95%; entre los dos tipos de coagulantes cloruro férrico y quitosano. (Ver Anexo N°06, Tabla N°29).

IV. DISCUSIÓN

En la Tabla N°4. Se describe las características del agua del Río Santa con respecto a la turbiedad y pH, para el primer parámetro se determinó que no cumple con lo establecido el ECA para agua (Tabla N°3), en la categoría 1: Poblacional y recreacional específicamente en la Subcategoría A: Aguas destinadas a la producción de agua potable por desinfección descrito en el DS N°004.201-MINA, cuyo valor es de 5 NTU y el valor inicial de la muestra tomada es de 101.1 NTU sobrepasando altamente el valor establecido. Por otro lado, el pH del agua evaluada es de 7.22 que se encuentra dentro del rango de lo establecido por el ECA.

Para remover la turbiedad presente en el agua del Río Santa y demostrar la eficiencia de los coagulantes elaborados a partir de residuos de exoesqueleto de camarón y chatarra de hierro (Quitosano y Cloruro férrico (FeCl_3)); se tomaron 54 litros de agua que fueron sometidos a tratamientos de coagulación, teniendo en cuenta tres tiempos de agitación (10 min, 20 min y 30 min) y tres dosis (15 ml, 30 ml y 45 ml) con una velocidad de agitación de 125 rpm en el equipo prueba de jarras y un tiempo de reposo de 10 minutos (Tabla N° 1).

Al evaluar la eficiencia del coagulante natural quitosano a una concentración de 500 ppm en cada tratamiento, se obtuvo como resultados porcentajes de remoción superiores al 76%, siendo el tratamiento con mayor eficiencia aquel que estuvo expuesto a un tiempo de agitación de 30 min con una dosis de 15 ml con el que se consiguió remover 81.05% (Tabla N° 5), al observar el comportamiento del coagulante se puede decir que la mejor dosis es la que contiene menor cantidad de solución de coagulante; es decir que a una dosis baja se consigue desestabilizar mejor los coloides, formar los flocs y la se produce mejor la sedimentación, confirma lo dicho por Caldera et al (2009) porque al desarrollar su investigación evaluando distintas dosis (24, 30, 36, 42 y 48 mg/L) comprobó que a partir de la dosis 36 mg/L se produce la disminución en el porcentaje de remoción, esto se da para Tafur y Quevedo (2014) por la naturaleza del polímero y el mecanismo de coagulación que sigue, el cual enlaza y absorbe algunos grupos en la superficie de la partícula coloidal del agua haciendo que esta absorba los iones con carga opuesta del quitosano, neutralizando las cargas y desestabilizando los coloides del agua del Río Santa; por ello en las dosis de 30 ml y 45 ml en combinación con los tiempos de agitación (10 min, 20 min y 30 min) no existe un comportamiento ascendente, como se observa en la

Tabla N° 5 a partir de los 20 min se produce el aumento de la turbidez del agua, esto se debe según Nieto y Orellana (2011) a que los flóculos formados tienden a romperse y disociarse por el exceso de interacción con las paletas del floculado.

Así mismo al evaluar la eficiencia del cloruro férrico (FeCl_3) en la remoción de la turbiedad del Río Santa se obtuvieron resultados mayores a 65% en las tres combinaciones de tiempo de agitación y dosis del coagulante, siendo el tratamiento con mayor remoción aquel que se combinó una dosis de 45 ml con un tiempo de agitación de 30 min, cuyo resultando fue el valor de 2.15 NTU, consiguiendo una remoción de 97.89% (Tabla N° 6), este valor está por debajo de lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental (5 NTU), con esto se puede afirmar que, a mayor dosis de coagulante de cloruro férrico mayor será la remoción de la turbiedad del agua. Días Claros (2014) en su investigación consiguió una disminución total de 88.95% teniendo como turbiedad inicial de 20 NTU y una turbiedad final de 2.21 NTU empleando el mismo proceso de elaboración del coagulante y una concentración de 1000 ppm de FeCl_3 y dosis de 2 ml, con un proceso de mezcla fue manual y el tiempo de reposo fue de 1 día, en comparación con este resultado obtenido nuestro tratamiento es superior en eficiencia, confirmando el poder de remoción de la turbiedad en aguas para potabilizar, resaltando el uso como materia prima de la chatarra reciclada de hierro para la elaboración del coagulante, además; según Zerbato et. al (2009) el cloruro férrico tiene gran efectividad en amplios rangos de pH, que es una de las ventajas frente a otros coagulantes de origen sintético, esta condición ha sido confirmada, debido a que la modificación de este parámetro en la muestra de agua después a ver sido sometido al tratamiento de coagulación mostro un rango de 6.96 – 7.30 unidades de pH y teniendo un pH inicial de 7.22; es decir se mantuvo neutro durante y después del tratamiento.

Finalmente, al comparar ambos coagulantes se pude afirmar que el coagulante que presentó mejor eficiencia para este estudio en la remoción de la turbiedad fue el coagulante cloruro férrico (FeCl_3) elaborado a partir de la chatarra de hierro que consiguió una disminución de la turbiedad hasta 2.15 NTU y el coagulante quitosano obtenido de la desacetilación del exoesqueleto de camarón consiguió una disminución de turbiedad hasta 19.27 NTU coincidiendo con la investigación de Tafur y Quevedo (2014) en el que concluye que el cloruro férrico por ser una sal metálica la remoción de turbiedad es directamente proporcional a la cantidad de la dosis, por esa razón forma flocs de mayor tamaño y la precipitación de estos es en menor tiempo.

V. CONCLUSIONES

- Se concluye que la mejor relación entre en el tiempo de agitación y dosis del coagulante para el quitosano elaborado a partir de exoesqueleto de camarón para remover la turbiedad del Río Santa es la combinación de 30 min de agitación y 15 ml de coagulante a una concentración de 500 ppm, el resultado obtenido con este tratamiento fue de 19 NTU de turbidez presente en el agua del Río Santa, equivalente al 81.05% de remoción de la turbiedad
- Para el coagulante cloruro férrico (FeCl_3) elaborado a partir de los residuos de chatarra de hierro; se determinó que la mejor relación de tiempo de agitación es de 30 min y una dosis de 45 ml a una concentración de 500 ppm, para remover la turbiedad presente en el Río Santa, cuyo resultado fue de 2.15 NTU presente en agua siendo equivalente al 97.89% de remoción de turbiedad, demostrando que a mayor dosis de coagulante mayor es la remoción de la turbiedad presente en el Río Santa.
- Al comparar el efecto de los coagulantes en la remoción de la turbiedad se determinó que el coagulante que muestra mejor comportamiento y efectividad en la remoción de la turbidez fue el cloruro férrico (FeCl_3).

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda emplear los coagulantes para remover la turbiedad de un agua que presente mayor turbidez para comprobar su efectividad en aguas más turbias.
- Se recomienda en investigaciones futuras trabajar a concentraciones diferentes para determinar cuál será la mejor concentración de dosis de los coagulantes.
- Se recomienda con el coagulante quitosano elaborada a partir de exoesqueleto de camarón, emplear una sustancia que ayude a neutralizar el pH.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDÍA CARDENAS, Yolanda. Tratamiento de aguas: coagulación y floculación. Edición 1. Lima. SEDAPAL. 2013. 1-36 p.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (Perú). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Lima – Perú. 2016. 26 p.

BAQUERO LUQUEZ, María, ORTÍZ JIMENEZ, Jacelys y RODRÍGUEZ DÍAS, Yim. Eficiencia del quitosano como coagulante en el pos-tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista de la Universidad Popular del Cesar.* (64):172 – 177p. 2014.

BARRENECHEA MARTEL, Ada. Coagulación. Métodos y técnicas de tratamiento de agua. 2da. Ed. Brasil. Asociación Brasileira de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2010. 224 p.

BINA B. MEHDINEJAD M. H. NIKAEEN M. y MOVAHEDIAN ATTAR H. Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in treating turbid waters. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.* Vol. 6(4): 247 – 252 p. Septiembre de 2009.

COGOLLO FLÓREZ, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso hidroxiclورو de aluminio. *DYNA.* (169): 18 – 27 p. Febrero de 2011.

CALDERA Yaxcelys; CLAVEL Nikceli; BRICEÑO Douglas, NAVAL Asdrúbal; GUTIÉRREZ Edixon y MÁRMOL Zula. Quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de producción de petróleo. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas.* Volumen 43, (2): 541 – 555 p. 2009

DÍAZ CLAROS, José Nahum. Coagulantes - floculantes orgánicos elaborados de plantas y de reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas. Tesis de maestría (Ciencias Naturales). Tegucigalpa: Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán, 2014. 172p.

EFICE Industrias. Disponible en:https://www.efice.uy/producto/cloruro-ferrico-2/?_sft_solucion=tratamiento-de-aguas. Fecha de consulta 13 de diciembre de 2018.

GURDÍAN LÓPEZ, Roger y COTO CAMPOS, Juana María. Estudio preliminar del uso de la semilla de Tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Revista Tecnología en Marcha,* Vol. 24, (2): 18 – 26 p. Junio de 2011.

KIRCHMER, Cliff J; ARBOLEDA, Jorge y CASTRO, Luisa María. Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación. Proyecto de investigación. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1975. 31 p

MARTÍNEZ ARREOLA, María Guadalupe. Uso de polímeros en el tratamiento de agua para consumo humano. Tesis de grado (Ingeniero Civil). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2015. 84 p.

MORENO PÉREZ, Sandy. Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba - Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*. Tesis de grado (Ingeniera Ambiental). Trujillo: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de ingeniería, 2016. 57p.

M. S. Hossain y A. Iqbal. Producción y caracterización de quitosano a partir de residuos de camarón. *Revista de la Universidad de Agricultura de Bangladesh*. Vol. 12. (1): 153 – 160 p. 2014.

NIETO ORELLANA, Christian Ricardo y ORELLANA ULLOA, Valeria Patricia. Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. Tesis de grado (Ingeniería Ambiental). Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2011. 124 p.

ORELLANA LLORÉNS, Jorge. Capítulo 8: Tratamiento de agua. 1ra. Ed. Murcia. Universidad de Murcia. 2011. 525 p.

RAMIREZ ALCILA, Hildebrando y JARAMILLO PERALTA, Jhoan. Agente natural como alternativa para el tratamiento de agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. Vol. 11. N°2. Colombia, 2015. 136 – 153 p.

RESTREPO OSORNO, Hernán Alonso. Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Tesis de grado (Ingeniero de Minas). Medellín. Universidad Nacional de Colombia. 2009. 109 p.

SANDOVAL ARREOLA, María Martha y LAINES CANEPA, José Ramón. *Moringa oleífera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán*. Vol. 17 (2): 93 – 101. Agosto de 2013.

SOLÍS SILVAN, Rudy; LAINES CANEPA, José Ramón y HERNANDEZ BARAJAS, José Roberto. Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Rev. Intr. Contaminación Ambiental*. Vol. 28 (3): 229-236 p. Marzo de 2012.

TAFUR BRAVO, Leidy K. y QUEVEDO SALAS, Ruby K. Alternativas para el tratamiento de aguas residuales cromadas con quitosano extraído del exoesqueleto de camarón. Tesis de grado (Ingeniero Agroindustrial) Tolima. Universidad de Tolima. 2014. 122 p.

VARGAS CAMARERO, Maricruz y ROMERO ESQUIVEL, Luis Guillermo. Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología en marcha*. Vol. 19. (4): 37 – 41 p. Diciembre de 2006.

VELA AREVALO, Cintya. Disminución de la turbidez utilizando coagulante natural moringa oleífera en aguas obtenidas del Río Alto Chicama, Puente Ingón, Trujillo 2016. Tesis de grado (Ingeniería Ambiental). Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2016. 57p

ZERBATTO, Mariel; CARRERA Elena; ELIGGI María, MODINI Stela, NOSEDA Juan y ABRAMOVICH Beatriz. Cloruro férrico para la coagulación optimizada y remoción de enteroparásitos en agua. *Revista Asociación de Universidades Grupo Montevideo*. Vol. 1.: 18 – 26 p. Mayo 2009.

ANEXOS

Anexo N° 1. Ficha de recolección de datos.



FICHA DE RECOLECCION DE RESULTADOS

“Efecto de la dosis y tiempo entre coagulantes a partir del exoesqueleto camarón y de chatarra de hierro en la remoción de turbiedad”

Resultados obtenidos del tratamiento con cloruro férrico (FeCl_3) obtenido a partir de la chatarra de hierro.

Cloruro férrico (FeCl_3)							
	CONDICIONES DE TRABAJO		PH		TURBIEDAD		%DEREMOCION
	TIEMPO	DOSIS	ANTES	FINALIZAR	ANTES	DESPUES	
Repetición 01							
Repetición 02							
Repetición 03							

Observaciones.

.....
.....
.....

Responsable del laboratorio.

Nombre y Apellidos:

Firma:

Anexo N° 2. Preparación del coagulante a partir de exoesqueleto de camarón para la obtención del quitosano.

Solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 3.5 % e una relación de sólido: líquido de 1:50 (para la desproteínización de las cascaras de camarón)

- Solución de ácido clorhídrico (HCl) 2 N en una relación sólido: líquido 1:5 (para desmineralización de las cascaras de camarón)
- Solución de hidróxido de sodio (NaOH) 2 % en una relación sólido: líquido 1:5 (para purificar la quitina)
- Solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 60% en una relación sólido: líquido 1:10 (para desacetilación de la quitina)
- Agua destilada
- Agitador magnético
- Balanza analítica
- 2 vasos de precipitación de 500 ml
- 2 fiolas
- 1 Mortero

PROCEDIMIENTO

- 1) Los residuos de camarón fueron separados de sus caparazones, para luego ser lavados tenazmente con abundante agua, quitando los restos orgánicos que pudieran estar presentes.
- 2) Los exoesqueletos obtenidos, fueron secados en una estufa a 60 - 70 °C. Los exoesqueletos secos y libres de cabeza, patas y cola se sometieron a un proceso de tamizado buscando partículas con tamaños pequeños.
- 3) Para llevar a cabo la desmineralización de los exoesqueletos, se pesó una cantidad de caparazón del crustáceo y se colocó en un vaso de precipitación conteniendo una solución de NaOH a una concentración de 3.5 % en una relación de sólido líquido 1:10.
- 4) Luego se colocó en el agitador magnético por un tiempo de 2 horas a una temperatura de 95°C con el fin de eliminar las proteínas presentes en la harina de exoesqueleto de camarón.
- 5) Luego se lavó y filtró con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro.

- 6) Se pesó y se agregó HCl 2N en relación sólido: líquido 1:5 a temperatura ambiente de manera lenta y agitar, para controlar la espuma que se genera.
- 7) Se colocó en el agitador magnético por 2 horas.
- 8) Lavar y filtró con agua destilada hasta conseguir un pH neutro.
- 9) Se agregó NaOH al 2% en una relación sólido: líquido 1:5, a agitación constante por una 1 hora a 100 °C con el fin de purificar y que quede libre de residuos de carbonato de calcio.
- 10) Se procedió a filtrar y lavar con agua destilada.
- 11) Se colocó en el horno a 80 °C por 30 min y se obtuvo quitina.
- 12) La quitina obtenida, finalmente se somete al proceso de desacetilación, mediante el cual, es convertida en quitosano; para ello se pesó la quitina y se agregó en una solución de NaOH al 60% en una relación 1:10 sólido-líquido.
- 13) Se colocó en el agitador magnético durante 1 hora a 100 °C dentro de una cámara de gases.

Anexo N° 3. Preparación del coagulante con chatarra metálica de hierro para obtener la solución concentrada de cloruro férrico.

I. MATERIALES Y EQUIPO

- Pipeta digital
- Balanza analítica
- pH-metro
- Varilla de hierro
- Vidrio de reloj
- Mechero bunsen
- Viruta de hierro

II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Se pesó 5 g de viruta de hierro
2. Se colocó en un tubo de ensayo
3. Se agregó 10 ml de ácido clorhídrico concentrado.
4. Se agitó y se esperó a que se disuelva totalmente, verificando con la varilla de vidrio que se disuelva la mayor cantidad de hierro.
5. Agitar con varilla de vidrio hasta que la solución cambie de color verdoso a color marrón oscuro.
6. Si no cambia a color marrón, agregar 10 ml de agua oxigenada hasta que se produzca el cambio de color.
7. Se procedió a filtrar el precipitado.

Anexo N° 4. Procedimiento de prueba de los tratamientos de coagulantes.

La dosis es una de las variables que serán manipuladas y para este caso será a diferentes volúmenes (ml), así mismo, se trabajó con tres tiempos de agitación diferentes (min)

Los materiales utilizados fueron:

- 6 vaso de precipitación de 1000ml
- 6 vaso de precipitación de 50ml
- Probeta de 50 ml
- Coagulante natural (obtenidos en los procedimientos anteriores).
- Agua destilada.
- 2 fioles de 50ml.
- 2 fioles de 250ml.

Equipos a utilizados:

- Turbidímetro
- pH metro
- Equipo de pruebas de jarras.

El procedimiento seguir es el siguiente:

1. Se midió el pH y turbiedad inicial con la que se va a trabajar.
2. Se colocó 800 ml de la muestra recolectada en 6 vasos de precipitación (se midió el agua con las fioles para reducir el error de cálculo)
3. Se colocó en los 6 vasos de precipitación en el equipo de pruebas de jarras.
4. Se colocó el coagulante delante de la jarra y se adicionaron las dosis correspondientes (15, 30 y 45 ml) al iniciar la mezcla rápida.
5. Se puso en funcionamiento el test de jarras programando las mezclas de la siguiente manera:
 - Mezcla rápida:
Tiempo = 1 minuto a una velocidad de agitación de 150 rpm.
 - Mezcla lenta:
Tiempo = 10 min, 20 min y 30 min a una velocidad de agitación de 25 rpm.
6. Una vez que el equipo ha concluido con los tiempos de mezcla, se procedió a retirar las jarras, y dejar sedimentar el agua 10 minutos.
7. Cumplido el tiempo de sedimentación seleccionado, se procedió a tomar la muestra a todos los vasos de precipitación en un volumen de 30 ml.
8. Se midió el pH y la turbiedad de cada muestra; y se anotó en la ficha de recolección de datos.

Anexo N° 5. Tablas de resultados

PRUEBAS DEL COAGULANTE QUITOSANO

Tabla N° 7. Primera Réplica: remoción de turbidez con quitosano.

DOSIS	Remoción de Turbidez (%)		
	10 minutos	20 minutos	30 minutos
15 ml	79.15	78.56	84.78
30 ml	79.65	81.51	83.45
45 ml	81.10	81.92	79.65

Fuente: Propia.

Tabla N° 8. Segunda Réplica: remoción de turbidez con quitosano.

DOSIS	Remoción de Turbidez (%)		
	10 minutos	20 minutos	30 minutos
15 ml	79.45	77.88	82.56
30 ml	79.84	79.25	76.99
45 ml	80.33	79.84	83.23

Fuente: Propia.

Tabla N° 9. Tercera Réplica: remoción de turbidez con quitosano.

DOSIS	Remoción de Turbidez (%)		
	10 minutos	20 minutos	30 minutos
15 ml	71.68	81.81	75.81
30 ml	71.68	81.66	77.78
45 ml	72.57	78.86	74.34

Fuente: Propia.

PRUEBAS DEL COAGULANTE CLORURO FÉRRICO (FeCl₃)

Tabla N° 10. Primera Réplica: remoción de turbidez con cloruro férrico.

DOSIS	Remoción de Turbidez (%)		
	10 minutos	20 minutos	30 minutos
15 ml	58.11	75.22	77.78
30 ml	67.16	87.27	96.51
45 ml	76.89	93.78	100

Fuente: Propia

Tabla N° 11. Segunda Réplica: remoción de turbidez con cloruro férrico (FeCl₃).

DOSIS	Remoción de Turbidez (%)		
	10 minutos	20 minutos	30 minutos
15 ml	70.4	73.65	82.67
30 ml	67.45	95.39	98.01
45 ml	71.19	98.11	100

Fuente: Propia

Tabla N° 12. Tercera Réplica: remoción de turbidez con cloruro férrico (FeCl₃).

DOSIS	Remoción de Turbidez (%)		
	10 minutos	20 minutos	30 minutos
15 ml	68.34	79.94	74.34
30 ml	71.19	89.83	81.86
45 ml	75.22	89.14	93.65

Fuente: Propia

Tabla N° 13. Porcentaje de Variación de PH para el coagulante de Quitosano.

QUITOSANO					
	TIEMPO	DOSIS	PHINICIAL	PHFINAL	VARIACION DE PH (%)
1° Repetición	10 minutos	15 ml	7.22	5.15	28.67%
		30 ml	7.22	4.42	38.78%
		45 ml	7.22	4.22	41.55%
	20 minutos	15 ml	7.22	4.73	34.49%
		30 ml	7.22	4.38	39.34%
		45 ml	7.22	4.19	41.97%
	30 minutos	15 ml	7.22	4.99	30.89%
		30 ml	7.22	4.39	39.20%
		45 ml	7.22	4.16	42.38%
2° Repetición	10 minutos	15 ml	7.22	5.03	30.33%
		30 ml	7.22	4.41	38.92%
		45 ml	7.22	4.19	41.97%
	20 minutos	15 ml	7.22	4.83	33.10%
		30 ml	7.22	4.43	38.64%
		45 ml	7.22	4.35	39.75%
	30 minutos	15 ml	7.22	4.88	32.41%
		30 ml	7.22	4.40	39.06%
		45 ml	7.22	4.23	41.41%
3° Repetición	10 minutos	15 ml	7.22	5.58	22.71%
		30 ml	7.22	4.62	36.01%
		45 ml	7.22	4.31	40.30%
	20 minutos	15 ml	7.22	4.99	30.89%
		30 ml	7.22	4.34	39.89%
		45 ml	7.22	4.10	43.21%
	30 minutos	15 ml	7.22	4.83	33.10%
		30 ml	7.22	4.40	39.06%
		45 ml	7.22	4.13	42.80%

Tabla N° 14. Porcentaje de Variación de pH para el coagulante de Cloruro Férrico.

CLORURO FERRICO					
	TIEMPO	DOSIS	PHINICIAL	PHFINAL	VARIACION DE PH (%)
1° Repetición	10 minutos	15 ml	7.22	7.05	2.35%
		30 ml	7.22	7.11	1.52%
		45 ml	7.22	7.17	0.69%
	20 minutos	15 ml	7.22	7.17	0.69%
		30 ml	7.22	7.18	0.55%
		45 ml	7.22	7.07	2.08%
	30 minutos	15 ml	7.22	7.00	3.05%
		30 ml	7.22	6.96	3.60%
		45 ml	7.22	6.92	4.16%
2° Repetición	10 minutos	15 ml	7.22	7.04	2.49%
		30 ml	7.22	7.12	1.39%
		45 ml	7.22	7.14	1.11%
	20 minutos	15 ml	7.22	7.08	1.94%
		30 ml	7.22	7.07	2.08%
		45 ml	7.22	7.04	2.49%
	30 minutos	15 ml	7.22	6.99	3.19%
		30 ml	7.22	6.97	3.46%
		45 ml	7.22	6.90	4.43%
3° Repetición	10 minutos	15 ml	7.22	7.09	1.80%
		30 ml	7.22	7.02	2.77%
		45 ml	7.22	7.22	0.00%
	20 minutos	15 ml	7.22	7.08	1.94%
		30 ml	7.22	7.10	1.66%
		45 ml	7.22	7.08	1.94%
	30 minutos	15 ml	7.22	7.09	1.80%
		30 ml	7.22	7.11	1.52%
		45 ml	7.22	7.07	2.08%

Anexo N° 6. Análisis estadístico.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL COAGULANTE QUITOSANO

H0: Los valores de remoción de turbiedad con quitosano del agua del río Santa según dosis y tiempo siguen una distribución normal.

H1: Los valores de remoción de turbiedad con quitosano del agua del río Santa según dosis y tiempo no siguen una distribución normal.

Tabla N° 15. Pruebas de normalidad para el tiempo.

% Remoción de Turbiedad	Shapiro-Wilk			
	Tiempo (min)	Estadístico	gl.	Sig.
	10	0,749	9	0,005
	20	0,871	9	0,125
	30	0,924	9	0,422

Fuente: Propia

Tabla N° 16. Pruebas de normalidad para la dosis.

% Remoción de Turbiedad	Shapiro-Wilk			
	Dosis (ml)	Estadístico	gl.	Sig.
	15	0,971	9	0,901
	30	0,914	9	0,343
	45	0,883	9	0,168

Fuente: Propia

En la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, nos indica que el P-Valor(Sig.) fue mayor al nivel de significancia (95%), aceptando la H0 indicando que los valores de los valores de remoción de turbiedad con quitosano del agua del río Santa según dosis y tiempo siguen una distribución normal con un nivel de significancia de 95%.

H0: La variación remoción de turbiedad con quitosano del agua del río Santa según dosis y tiempo son homogéneos

H1: La variación remoción de turbiedad con quitosano del agua del río Santa según dosis y tiempo no son homogéneos

Tabla N° 17. Prueba de igualdad de Levene de varianzas.

Variable dependiente: % de remoción de turbiedad			
F	gl1	gl2	Sig.
1,691	8	18	0,169

Fuente: Propia.

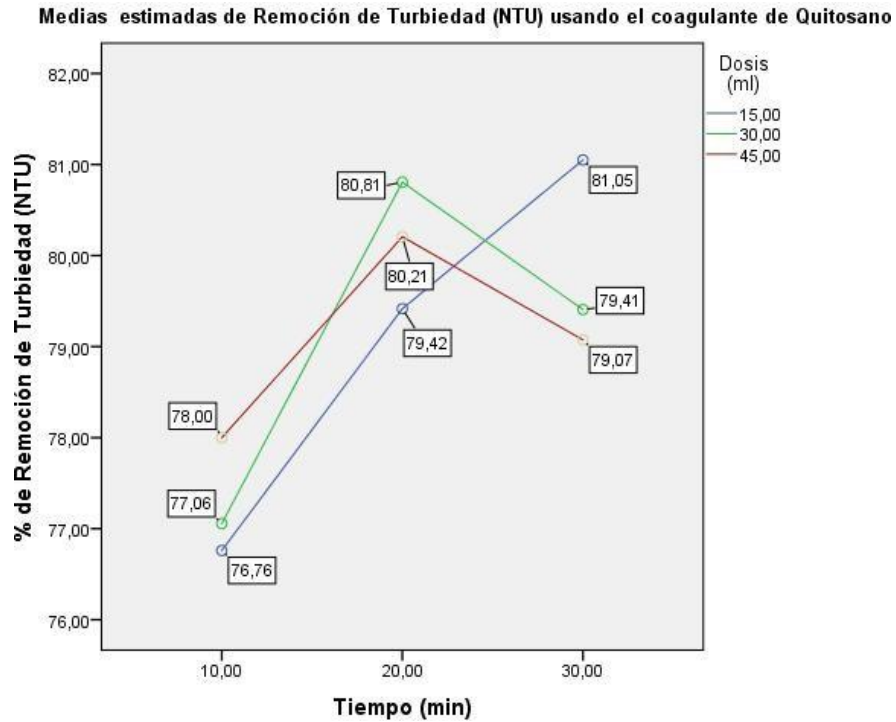
Mediante la prueba de igualdad de Levene de varianzas se obtuvo que resultado P-Valores mayor al nivel de significancia (95%), aceptándose la H0 indicando que la variación remoción de turbiedad con cloruro férrico del agua del río Santa según dosis y tiempo son homogéneos con un nivel de significancia de 95%, procediéndose a realizar el ANOVA.

Tabla N° 18. Análisis de Varianza - ANOVA.

Variable dependiente: % de remoción de turbiedad					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
dModelo corregido	58,922 ^a	8	7,365	0,508	0,835
Intersección	12214,298	1	12214,298	841,773	0,000
TIEMPO	46,334	2	23,167	1,597	0,230
DOSIS	0,002	2	0,001	0,000	1,000
TIEMPO * DOSIS	12,586	4	3,147	0,217	0,926
Error	261,184	18	14,510		
Total	12534,403	27			
Total corregida	320,106	26			

a. R cuadrado = ,184 (R cuadrado corregida = -,179)

Mediante la prueba de ANOVA se verifica que el tiempo y dosis presentan que el P-Valor es mayor al nivel de significancia del 95% por lo tanto se acepta la H0 indicando que estadísticamente los tratamientos realizados en relación al tiempo y dosis son iguales.



Fuente: Propia.

Figura N° 3. Medias de Remoción de turbiedad usando Quitosano.

En la figura N° 3. Se determinó estadísticamente con un nivel de significancia del 95% que la mejor remoción de turbiedad (NTU) se obtuvo con una dosis de 15 ml en un tiempo de 30 min logrando remover el 81.05 % de turbiedad del agua del Rio Santa.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL EFECTO DEL COAGULANTE CLORURO FÉRRICO (FeCl₃)

H0: Los valores de remoción de turbiedad con cloruro férrico del agua del río Santa según dosis y tiempo siguen una distribución normal.

H1: Los valores de remoción de turbiedad con cloruro férrico del agua del río Santa según dosis y tiempo no siguen una distribución normal

Tabla N° 19. Pruebas de normalidad para el tiempo

	Shapiro-Wilk			
	Tiempo (min)	Estadístico	gl.	Sig.
% Remoción de Turbiedad	10	0,966	3	0,647
	20	0,869	3	0,293
	30	0,946	3	0,552

Fuente: Propia

Tabla N° 20. Pruebas de normalidad para la dosis

	Shapiro-Wilk			
	Dosis (ml)	Estadístico	gl.	Sig.
% Remoción de Turbiedad	15	0,865	3	0,281
	30	0,791	3	0,094
	45	0,879	3	0,322

Fuente: Propia

H0: La variación remoción de turbiedad con cloruro férrico del agua del río Santa según dosis y tiempo son homogéneos

H1: La variación remoción de turbiedad con cloruro férrico del agua del río Santa según dosis y tiempo no son homogéneos

Tabla N° 20. Prueba de igualdad de Levene de varianzas.

Variable dependiente: % de remoción de turbiedad			
F	gl1	gl2	Sig.
1,982	8	18	0,109

Fuente: Propia

Mediante la prueba de igualdad de Levene de varianzas se obtuvo que resultado P-Valor es mayor al nivel de significancia, aceptándose la H0 indicando que la variación remoción de turbiedad con cloruro férrico del agua del río Santa según dosis y tiempo son homogéneos con un nivel de significancia de 95%, procediéndose a realizar el ANOVA.

Tabla N° 21. Análisis de Varianza - ANOVA

Variable dependiente: % de remoción de turbiedad					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
dModelo corregido	3363,470 ^a	8	420,434	17,549	0,000
Intersección	181400,43	1	181400,43	7571,812	0,000
TIEMPO	2109,444	2	1054,722	44,025	0,000
DOSIS	1098,802	2	549,401	22,932	0,000
TIEMPO * DOSIS	155,224	4	38,806	1,62	0,213
Error	431,232	18	23,957		
Total	185195,132	27			
Total corregida	3794,702	26			

a. R cuadrado = ,886 (R cuadrado corregida = ,836)

Fuente: Propia

Mediante la prueba de ANOVA se verifica que el tiempo y dosis presentan que el P-Valor es mayor al nivel de significancia del 95% por lo tanto se acepta la H0 indicando que estadísticamente los tratamientos realizados en relación al tiempo y dosis son iguales.

Tabla N° 22. Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Tiempo

Método: 95 % Tukey HSD				
Tiempo (min)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
30	9	10,7556	1,65958	X
20	9	13,2967	1,65958	X
10	9	30,9667	1,65958	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10-20	*	17,67	5,99276
10-30	*	20,2111	5,99276
20 -30		2,54111	5,99276

* indica una diferencia significativa.

Fuente: Propia

Mediante la prueba HSD-Tukey para la variable tiempo (min), se determinó que la mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se muestra al costado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, por lo tanto, no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

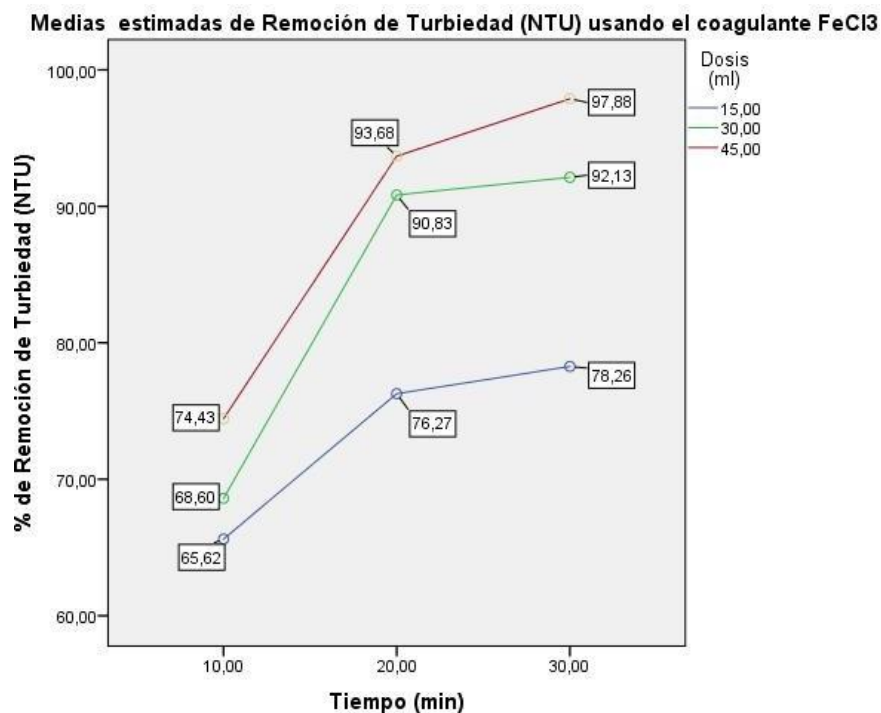
Tabla N° 23. Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Dosis.

Método: 95 % Tukey HSD				
Dosis	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
45	9	11,5278	1,65958	X
30	9	16,4222	1,65958	X
15	9	27,0689	1,65958	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
15 - 30	*	10,6467	5,99276	
15 - 45	*	15,5411	5,99276	
30 - 45		4,89444	5,99276	

* indica una diferencia significativa.

Fuente: Propia

Mediante la prueba HSD-Tukey para la variable dosis (ml), se determinó que la mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se muestra al costado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, por lo tanto, no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.



Fuente: Propia

Figura N° 4. Medias de Remoción de turbiedad usando FeCl₃.

En la figura N° 4 se determinó estadísticamente con un nivel de significancia del 95% que la mejor remoción de turbiedad (NTU) se obtuvo con una dosis de 45 ml en un tiempo de 30 min logrando remover el 97.88% de turbiedad del agua del Rio Santa.

PRUEBA DE MINIMOS CUADRADOS DE COMPARACION DE REMOCION DE TURBIDEZ ENTRE DIFERENTES TIPOS DE COAGULANTES.

Tabla N° 24. Medias por Mínimos Cuadrados para turbiedad con intervalos de confianza del 95,0%.

Nivel	Casos	Media	Error Est.	Límite Inferior	Límite Superior
MEDIA GLOBAL	54	19,8044			
PRODUCTO					
CLORURO FERRICO	27	18,3396	0,865827	16,5897	20,0895
QUITOSANO	27	21,2693	0,865827	19,5194	23,0192
PRODUCTO por TIEMPO					
Cloruro Férrico,10 min	9	30,9667	1,49966	27,9357	33,9976
Cloruro Férrico,20 min	9	13,2967	1,49966	10,2657	16,3276
Cloruro Férrico,30 min	9	10,7556	1,49966	7,72463	13,7865
Quitosano,10 min	9	23,1133	1,49966	20,0824	26,1443
Quitosano,20 min	9	20,1933	1,49966	17,1624	23,2243
Quitosano,30 min	9	20,5011	1,49966	17,4702	23,532

Fuente: Propia

Mediante la prueba de mínimos cuadrados para remoción de turbidez se pudo obtener que el cloruro férrico es más efectivo que el quitosano con un intervalo de confianza del 95%

Tabla N° 25. Análisis de Varianza - ANOVA.

Fuente	Suma de Cuadrados	gl.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Coagulante	115,867	1	115,867	5,72	0,0215
B:TIEMPO	1424,76	2	712,38	35,2	0,000
C:DOSIS	569,541	2	284,77	14,07	0,000
INTERACCIONES					
AB	803,099	2	401,55	19,84	0,000
AC	566,96	2	283,48	14,01	0,000
BC	70,8738	4	17,7185	0,88	0,4872
RESIDUOS	809,629	40	20,2407		
TOTAL (CORREGIDO)	4360,73	53			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Fuente: Propia

Mediante la prueba de ANOVA se determina que el tipo de coagulante, tiempo y dosis presentan P-Valor menor al nivel de significancia del 95% por lo tanto se rechaza la H0 indicando que al menos uno de los tratamientos realizados es diferente, por consiguiente, se procede a realizar la prueba de comparaciones múltiples, HSD Tukey.

Tabla N° 26. Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Tiempo.

Método: 95 % Tukey HSD				
Tiempo (min)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
30	18	10,7556	1,06042	X
20	18	13,2967	1,06042	X
10	18	30,9667	1,06042	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
10-20	*	10,295	3,6506	
10-30	*	11,4117	3,6506	
20 -30		1,11667	3,6506	

* indica una diferencia significativa.

Fuente: Propia

Mediante la prueba HSD-Tukey para la variable tiempo (min), se determinó que la mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se muestra al costado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, por lo tanto, no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

Tabla N° 27. Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Dosis

Método: 95 % Tukey HSD				
Dosis	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
45	18	16,3956	1,06042	X
30	18	18,8433	1,06042	X
15	18	24,1744	1,06042	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
15 - 30	*	5,33111	3,6506	
15 - 45	*	7,77889	3,6506	
30 - 45		2,44778	3,6506	

* indica una diferencia significativa.

Fuente: Propia

Mediante la prueba HSD-Tukey para la variable dosis (ml), se determinó que la mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se muestra al costado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, por lo tanto, no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

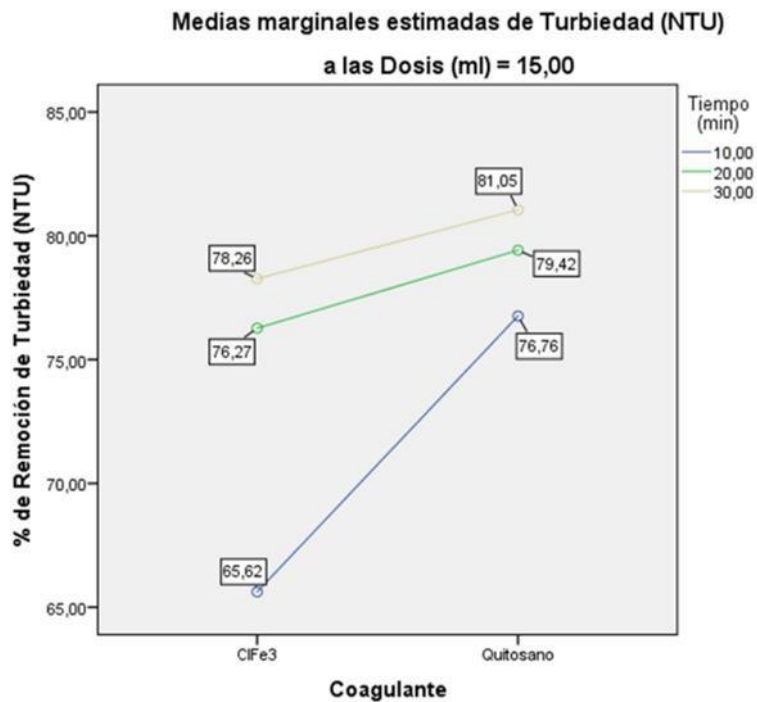
Tabla N° 28. Pruebas de Múltiple Rangos para Turbidez por Coagulante.

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD				
Coagulante	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Cloruro Férrico	27	18,3396	0,865827	X
Quitosano	27	21,2693	0,865827	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites	
Cloruro Férrico - Quitosano	*	-2,92963	2,47474	

* indica una diferencia significativa.

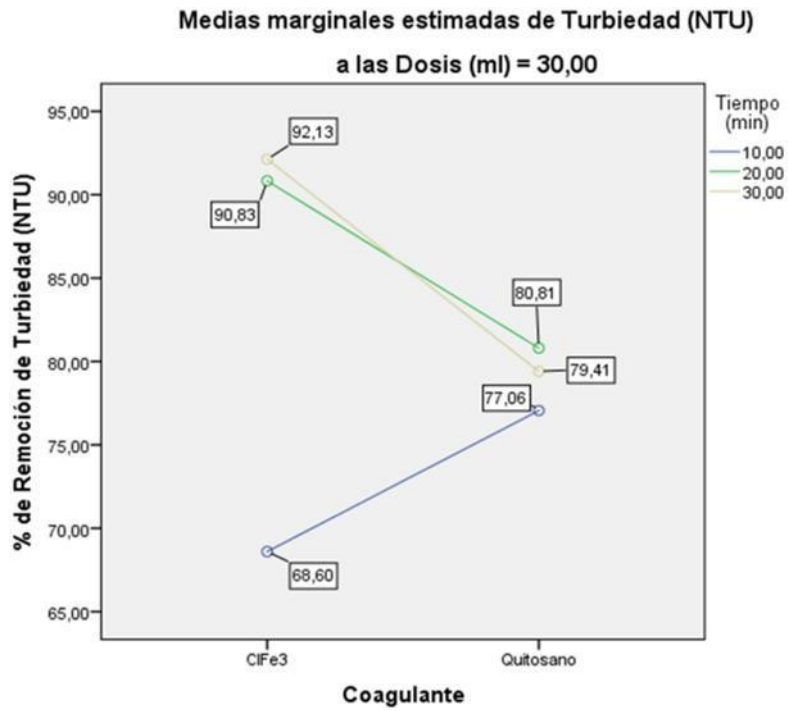
Fuente: Propia

Mediante la prueba HSD-Tukey para la variable dosis (ml), se determinó que la mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.



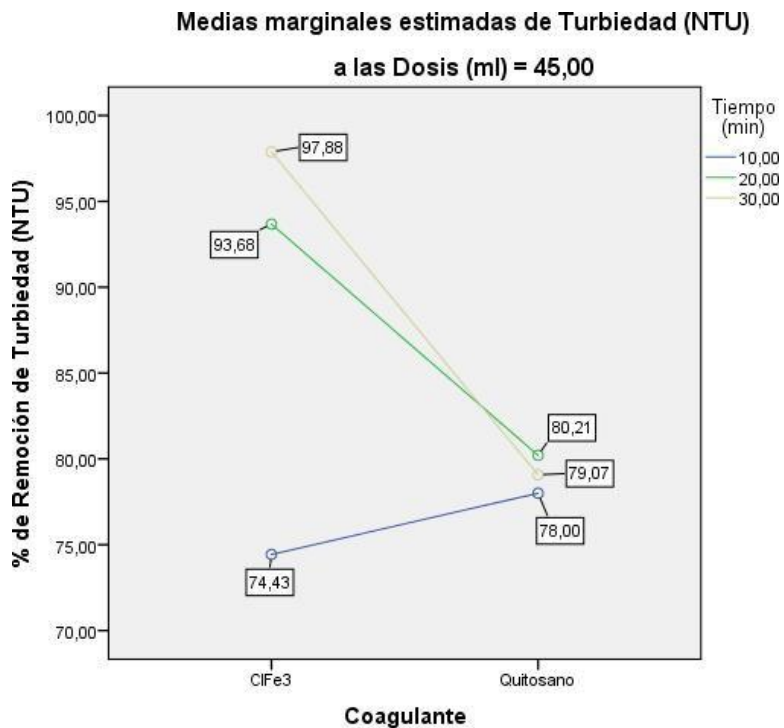
Fuente: Propia

Figura N° 5. Medias marginales de remoción de turbiedad de la comparación de FeCl₃ y Quitosano a dosis de 15ml.



Fuente: Propia

Figura N° 6. Medias marginales de remoción de turbiedad de la comparación de FeCl₃ y Quitosano a dosis de 30ml.



Fuente: Propia

Figura N° 7. Medias marginales de remoción de turbiedad de la comparación de FeCl₃ y Quitosano a dosis de 45ml.

Anexo N° 7. Fotos de la investigación.

Foto 1:Recojo de muestra en el Río Santa.



Foto 2: Recojo de muestra en el Puente del Río Santa.



Foto 3: Añadiendo ácido clorhídrico concentrado a la viruta de chatarra de hierro.



Foto 4: Cloruro férrico pasado las 48 horas.



Foto 5: Tomando una alícuota de 1.5 ml de cloruro férrico para preparar el coagulante a una concentración de 500 ppm.

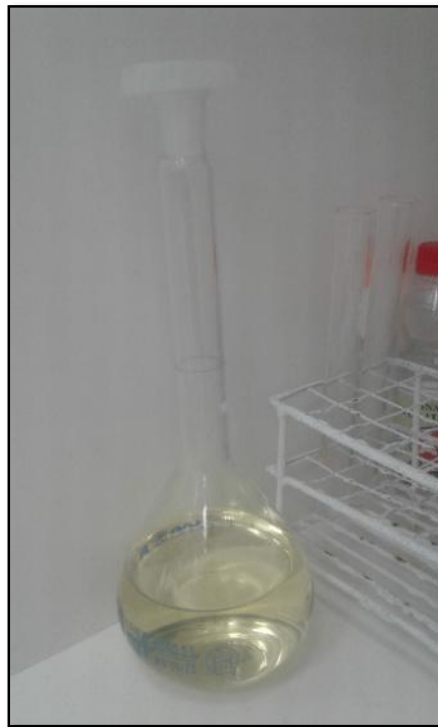


Foto 6: Cloruro férrico FeCl_3 obtenido.

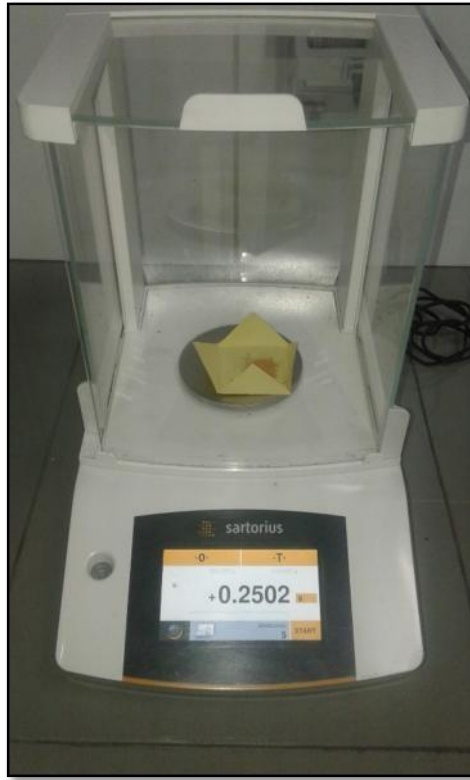


Foto 7: Pesando el quitosano obtenido del exoesqueleto del camarón

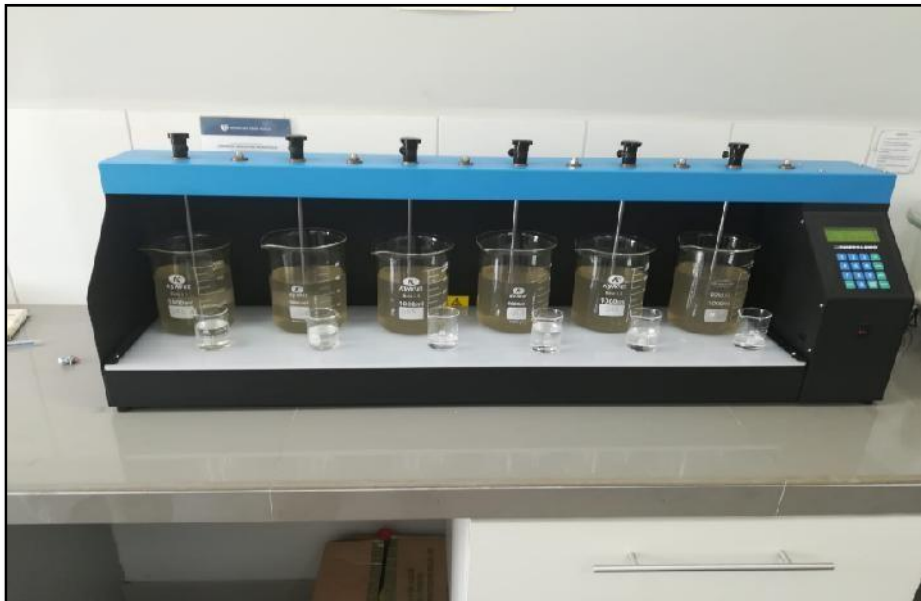


Foto 8: Las muestras de agua del Río Santa antes del tratamiento de coagulación en el equipo de prueba de jarras.



Foto 9: Muestras durante el proceso de coagulación con quitosano.



Foto 10: Las muestras de agua del Río Santa después del tratamiento de coagulación en el equipo de prueba de jarras.

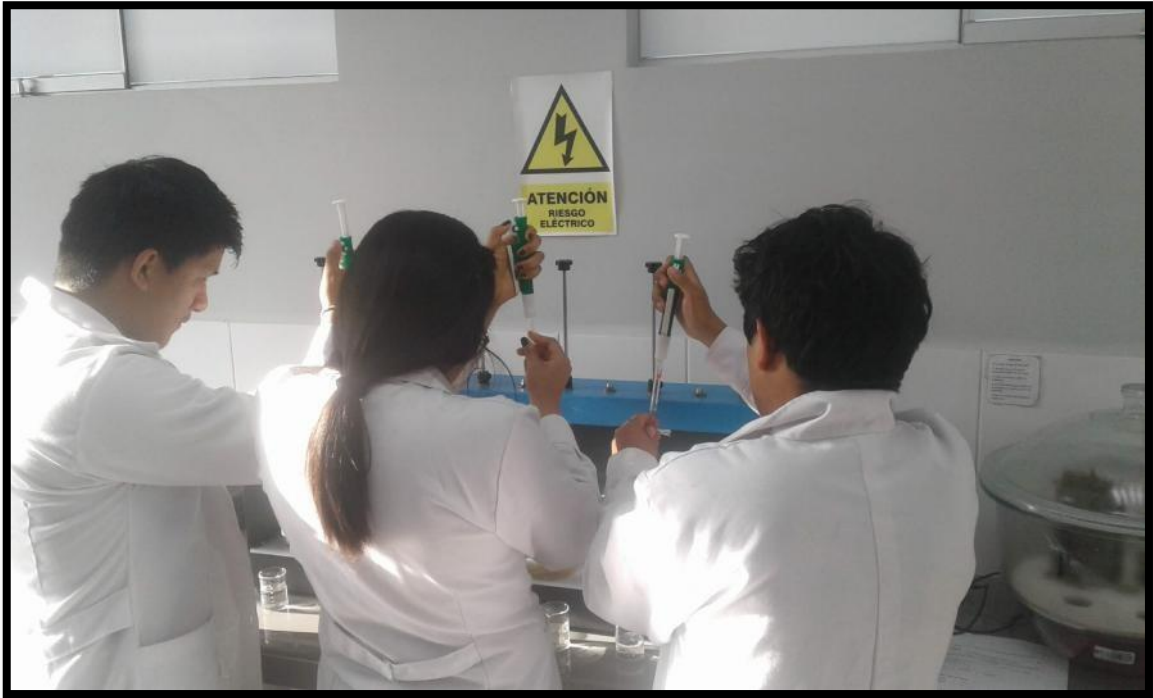


Foto 11: Tomando muestra de agua después del tratamiento.



Foto 12: Medición de la turbiedad inicial de la muestra recogida del Rio Santa.



Foto 13: Medición del pH de cada muestra después del tratamiento en el test de jarras

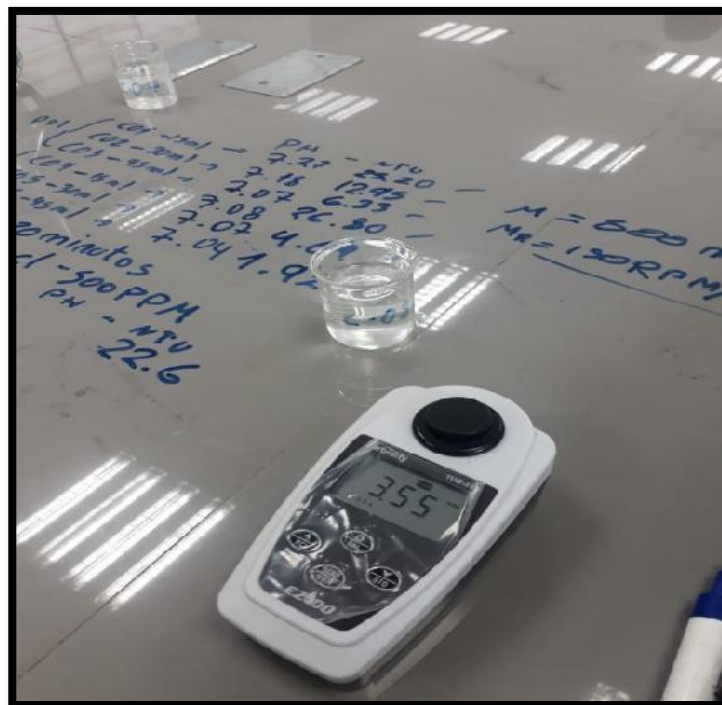


Foto 14: Medición de la turbiedad de cada muestra después del tratamiento en el test de jarras.