

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Determinación de la remoción de la turbidez de agua del río
Ayaviri en la zona de captación para consumo humano
empleando polímero de goma de Tara - Puno, 2018**

Por:

Samira Blanca Vilavila Morales

Asesor:

Mg. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, diciembre de 2018

DECLARACION JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "Determinación de la remoción de la turbidez de agua del río Ayaviri en la zona de captación para consumo humano empleando polímero de goma de Tara – Puno, 2018" constituye la memoria que presenta la bachiller Samira Blanca Vilavila Morales para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca a los veinte días del mes de noviembre del año dos mil dieciocho.



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Determinación de la remoción de la turbidez de agua del río Ayaviri en
la zona de captación para consumo humano empleando polímero de
goma de Tara – Puno, 2018

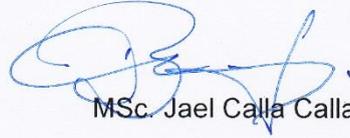
TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR



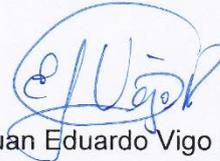
MSc. Rose Adeline Callata Chura
Presidenta



MSc. Jael Calla Calla
Secretario



Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani
Vocal



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera
Asesor

Juliaca, 27 de diciembre del 2018

Dedicatoria

A Dios, nuestro padre creador, por brindarme las capacidades para llegar a culminar mi carrera profesional, por su amor y su gracia, asimismo, a mis padres Julio Juan Vilavila Tito y Agustina Morales Lipa, grandes seres de dedicación, por todos sus consejos, amor, comprensión y su paciencia que me han dado las fuerzas para seguir adelante y cumplir mi meta trazada.

Agradecimientos

A Dios nuestro señor, por guiarme y enseñarme a superar los obstáculos presentados en el día a día para poder culminar mis estudios profesionales y alcanzar mi meta.

A la Universidad Peruana Unión, por brindarme todas las facilidades para culminar mi investigación.

A mi madre, Agustina Morales Lipa, por su apoyo financiero, pero sobre todo por su amor, paciencia, comprensión y estar a mi lado en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi padre, Julio Juan Vilavila Tito, por su apoyo financiero, sus consejos, por darme ánimos para continuar y por todo su cariño.

A mi asesor, Juan Eduardo Vigo Rivera, por brindarme su tiempo para orientarme y guiarme a realizar esta investigación y por compartir su conocimiento con mi persona.

A mis jurados: Mg. Rose Adeline Callata Chura, MSc. Jael Calla Calla, Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani, por su ayuda incondicional y orientación en la elaboración de la presente tesis.

Al laboratorio de la Escuela de Ingeniería Ambiental, por brindarme sus instalaciones.

Índice general

Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras.....	ix
Índice de Anexos.....	x
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
CAPÍTULO I.....	14
EL PROBLEMA.....	14
1.1. Identificación del problema.....	14
1.2. Justificación.....	15
1.3. Presuposición filosófica.....	16
1.4. Objetivo.....	17
1.4.1. Objetivo general.....	17
1.4.2. Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO II.....	18
REVISIÓN DE LITERATURA.....	18
2.1. Antecedentes.....	18
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	18
2.2. Marco conceptual.....	20
2.2.1. Agua.....	20
2.2.2. Características del agua.....	20
2.2.3. Fuente de abastecimiento.....	21
2.2.4. Contaminación del agua.....	22
2.2.5. Partículas en suspensión.....	22
2.2.6. Proceso de potabilización del agua.....	22
2.2.7. Coagulación.....	23
2.2.8. Mecanismo de la coagulación.....	24
2.2.9. Floculación.....	26
2.2.10. Mecanismos de la floculación.....	26
2.2.11. Factores que influyen en los procesos de coagulación - floculación.....	27
2.2.12. Coagulantes y floculantes sintéticos.....	28
2.2.13. <i>Caesalpinia spinosa</i> (tara).....	29
2.2.14. Clasificación taxonómica.....	30

2.2.15. Hábitat.....	31
2.2.16. Goma de tara.....	31
2.2.17. Obtención del producto coagulante a partir de las semillas de la goma de tara	31
2.2.18. Flujograma de la obtención del polvo de la goma de Tara.....	33
2.2.19. Prueba de jarras.....	33
CAPITULO III	35
MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1. Lugar de recolección.....	35
3.2. Obtención del producto coagulante a partir de las semillas de la goma de tara	35
3.3. Preparación de la solución de la goma de tara.....	35
3.4. Preparación de la solución sulfato de aluminio	35
3.5. Determinación de la velocidad de agitación y tiempo de sedimentación.....	36
3.6. Determinación de la dosis, concentración y pH óptimo para el sulfato de aluminio	36
3.7. Determinación de la dosis óptima de la solución de la goma de tara más el sulfato de aluminio	36
3.8. Dosis óptima goma de tara y reducción del sulfato de aluminio.....	36
3.9. Equipos y materiales.....	36
3.9.1. Materiales	36
3.9.2. Reactivos	37
3.9.3. Equipos	37
CAPITULO IV	38
RESULTADOS Y DISCUCIONES	38
4.1. Características del agua cruda	38
4.2. Dosis óptima del sulfato de aluminio	38
4.3. Concentración óptima del sulfato de aluminio	39
4.4. pH óptimo del sulfato de aluminio	40
4.5. Dosis óptima de la goma de tara.....	41
4.6. Dosis óptima de mezcla de sulfato de aluminio y goma de tara.....	43
CAPITULO V	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
5.1. Conclusión.....	45
5.2. Recomendaciones	46
REFERENCIA	47
ANEXOS.....	50

Índice de tablas

Tabla 1. Taxonomía de la Tara.....	30
Tabla 2. Disminución de turbiedad a diferentes dosis.....	39
Tabla 3. Disminución de turbiedad a diferentes concentraciones	40
Tabla 4. Disminución de turbiedad variando el pH.....	40
Tabla 5. Disminución de turbiedad variando dosis de goma de tara.....	41
Tabla 6. Disminución de turbiedad reduciendo el sulfato de aluminio	43

Índice de figuras

Figura 1. Desestabilización de un coloide.	23
Figura 2. Desestabilización del colide por medio de la compresión de la doble capa.	24
Figura 3. Fruto de la Caesalpinia spinosa (Tara).....	30
Figura 4. Goma de tara.	32
Figura 5. Proceso para la obtención de goma de tara.	33
Figura 6. Equipo test de jarras.	34
Figura 7. Turbiedad vs Dosis.....	39
Figura 8. Turbiedad vs Concentración.	40
Figura 9. Turbiedad vs pH.....	41
Figura 10. Turbiedad vs Dosis tara.....	42
Figura 11. Turbiedad vs Dosis de mezcla de sulfato de aluminio y goma de tara.	43

Índice de Anexos

Anexo A. Informe de laboratorio.	50
Anexo B. Índice de Willcomb	55
Anexo C. Panel fotográfico	56

Símbolos usados

ANA	: Autoridad Nacional del Agua
CEPIS	: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
OMS	: Organización Mundial de la Salud
FAO	: Organización para la Alimentación y la Agricultura
ECA	: Estándares de calidad Ambiental
DBO₅	: Demanda bioquímica de Oxígeno en 5 días
DQO	: Demanda Química de Oxígeno
Al₂(SO₄)₃	: Sulfato de aluminio

Resumen

Los procesos de coagulación y floculación son parte del tratamiento de agua potable, donde emplean como coagulantes primarios el sulfato de aluminio o sales de hierro que tienen la función de eliminar las partículas en suspensión causantes de la turbiedad del agua. El objetivo de la investigación fue determinar la remoción de la turbidez de agua del río Ayaviri en la zona de captación para consumo humano empleando polímero goma de tara, como ayudante de coagulación. La metodología aplicada fue la del CEPIS, con la prueba de jarras se determinó la dosis óptima del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y de la goma de tara, a variables constantes de temperatura (15°C), turbiedad (175 UNT) y pH natural del agua (7.73 promedio). La dosis óptima de la mezcla de sulfato de aluminio y goma de tara fue de 45 mg/L y 15 mg/L respectivamente a pH de 1.58 promedio, resultando como dosis final de optimización de 35 mg/L del coagulante químico con un pH promedio de 1.51 logrando reducir la turbiedad del agua a 1.14 UNT promedio. Se concluye que la goma de tara resulta eficaz como ayudante del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ para disminuir la turbidez de agua.

Palabras clave: coagulación, floculación, goma de tara, turbidez.

Abstract

The processes of coagulation and flocculation are part of the treatment of drinking water, where they use as primary coagulants aluminum sulphate or iron salts that have the function of eliminating the suspended particles that cause the turbidity of the water. The objective of the research was to determine the removal of water turbidity from the Ayaviri River in the catchment area for human consumption using polymer tara gum, as a coagulation aid. The methodology applied was that of CEPIS, with the jar test the optimum dose of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ and tara gum was determined, at constant variables of temperature (15°C), turbidity (175 NTU) and natural pH of water (7.73 average). The optimal dose of the aluminum sulphate and tara gum mixture was 45 ppm and 15 ppm respectively at a pH of 1.58 average, resulting in a final optimization dose of 35 ppm of the chemical coagulant with an average pH of 1.51, reducing turbidity of water to 1.14 UNT average. It is concluded that tara gum is effective as an assistant to $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ to decrease the turbidity of water.

Keywords: coagulation, flocculation, tara gum, turbidity.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La contaminación de los recursos hídricos se ha convertido un motivo de gran preocupación a nivel mundial y por consiguiente a nivel local, ya que es limitado y cada vez es más escasa por la mala gestión del mismo, debido al aumento de la masa poblacional, a la inadecuada disposición final de los residuos sólidos, por el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales que contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión.

En el Perú según los últimos estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua mencionan que la cantidad y calidad de este líquido viene disminuyendo a causa de los factores mencionados anteriormente, y consecuente a ello hay presencia de altos contenidos de nutrientes, materia orgánica y partículas coloidales, responsables de la turbidez del agua superficial que genera un deterioro de este recurso, dado que afecta la calidad del agua. Por ende, el ser humano no puede utilizarla de manera directa para su consumo.

La región de Puno no es ajena a la problemática de la contaminación del agua ya que en estudios recientes por la ANA determinaron que la mayoría de las cuencas hidrográficas que se encuentran contaminadas entre ellas el río Llallimayo, según el monitoreo e informe presentado en el año 2012 esta cuenca se halla contaminada en mayor grado por vertimiento de aguas residuales municipales y residuos sólidos.

Una alternativa que se le viene dando para la potabilización del agua es el tratamiento físico – químico, lo cual requiere de altos costos pues dentro de sus procesos se emplean una serie de sustancias químicas como el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$, entre otros que en zonas rurales es difícil acceder por sus altos costos, además que pueden ser tóxico si son ingeridos en altas concentraciones que a la larga trae consecuencias de enfermedades como la diarrea que provoca alrededor de 2,2 millones de personas mueran, en su mayoría niños, o como el cólera, la hepatitis, la disentería, gastroenterocolitis, entre otros, esto según la Organización Mundial de la Salud (OMS); por

ello se viene estudiando especies de origen vegetal para dicho tratamiento que son eficientes y no son tóxicos.

En América Latina vienen empleando polímeros naturales por su toxicidad mínima o nula, entre las más utilizadas se hallan la moringa, papa, yuca, cactus, maíz, mashua y *caesalpinia spinosa* tal y como se exponen en diversas investigaciones realizadas como los de Ramirez y Jaramillo (2015) en su artículo “Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua” exponen el uso de diversos coagulantes de origen vegetal para tratamientos de clarificación de agua con la finalidad de realizar un estudio sobre la información de este tipo de coagulantes que son de origen vegetal, evaluando su eficacia en la remoción de turbidez mediante la prueba de jarras donde determinaron la eficacia de especies como la Moringa Oleífera, aloe vera, cactus, almidones y taninos consiguiendo su objetivo; de la misma manera Bravo y Gutierrez (2016) en su tesis titulada “Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del río Pollo en Otuzco empleando semillas de *Caesalpinia Spinosa*” evalúan la utilización de un coagulante - floculante natural extraído de las semillas de esta especie logrando disminuir la turbiedad y remover los parámetros de DBO₅ y DQO.

Nuestro país al contar con una gran biodiversidad en flora debe ser aprovechado realizando investigaciones sobre estas especies que pueden ayudar en el tratamiento del agua que resultan ser eficientes, además de ser costeables para zonas rurales; debido a lo expuesto la presente investigación tiene por finalidad evaluar la utilización de la goma de tara como un coagulante - floculante natural para disminuir la turbidez del río Llallimayo –Ayaviri.

1.2. Justificación

El agua es fundamental para el desarrollo de la vida, todos tenemos derecho de gozar de una buena calidad de agua que sea conveniente para la salud, del mismo modo para la agricultura, ganadería u otro uso que le podamos dar. Sin embargo, este recurso viene siendo contaminado y es uno de los problemas más agudos que vienen afrontando los países latinoamericanos, entre ellas el Perú tal y como se manifiestan en los estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), que analizó 159 cuencas hídricas determinando que todas ellas se encuentran contaminadas por las diferentes actividades antropogénicas, provocando la alteración de la calidad de sus aguas.

Por otro lado, el CEPIS señala que los problemas causados no son sólo de índole

física o estética, sino que trascienden al campo de la salud, ya que las comunidades necesitan recurrir a diversos recursos de agua superficiales para su abastecimiento de agua o para riego de cultivos, pero al encontrarse contaminadas a la larga pueden causar problemas epidemiológicos graves.

Por ello con esta investigación se busca disminuir la turbidez de las aguas del río Ayaviri, debido a que es uno de los parámetros que nos indica que la calidad de este recurso no es adecuada porque presenta un color medio oscuro en su composición, lo cual se da principalmente por el vertimiento de aguas residuales y por la inadecuada disposición final de los residuos sólidos por parte de las personas asentadas cerca del cauce, por lo que estas aguas requieren de tratamientos que en muchos casos no son accesibles para zonas rurales por el alto costo que conlleva, porque dentro de sus procesos se usan agentes químicos para la clarificación, por eso mediante este presente estudio planteamos la utilización de polímeros naturales como la goma de Tara debido al bajo costo en comparación a los polímeros sintéticos, además de ser eficientes en la disminución de la turbiedad de aguas según varios estudios realizados.

1.3. Presuposición filosófica

El recurso hídrico es un sistema muy complejo y frágil en el que juegan un papel importante múltiples factores de distinta naturaleza, donde el ser humano es la especie más inteligente del planeta que Dios creo para que cuide de la tierra y por ende de este elemento, tal y como hace referencia en el versículo Salmos 24: 1 – 2 “Del Señor es la tierra y todo lo que hay en ella, el mundo y los que en él habitan. Porque él fundó sobre los mares, y la asentó sobre los ríos, es por ello que debemos darle el debido cuidado y preservación al ambiente y valorar todo lo que Dios nos ha brindado”, sin embargo, el hombre por su gran capacidad para explorar los recursos naturales y el dominio sobre la energía, destruye, aniquila, contamina y extingue por vivir solo un poco mejor.

Lamentablemente este recurso en los últimos años está siendo contaminada por ende es cada vez más escasa. Por otro lado, cabe destacar que millones de personas en el planeta carecen de agua potable o la consumen en mal estado sobre todo en las zonas alejadas que se abastecen de este líquido sin un previo tratamiento por sus elevados costos que requiere, con el riesgo de contraer graves enfermedades; por ello, mediante mi presente investigación brindo la alternativa de la utilización de polímeros naturales como la Tara para el tratamiento de estas aguas y con ello mejorar la calidad de las aguas para sus respectivas necesidades.

1.4. Objetivo

1.4.1. Objetivo general

Determinar la remoción de la turbidez de aguas del río Ayaviri en la zona de captación de agua para consumo humano empleando polímero de goma de Tara - Puno, 2018

1.4.2. Objetivos específicos

- Obtener la solución del polímero goma de Tara.
- Determinar la dosis óptima del coagulante natural para la remoción de la turbidez de las aguas del río Ayaviri.
- Comparar los resultados obtenidos con la Normativa Nacional vigente (ECA del agua)

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Contreras et al. (2015) en la Universidad de Sucre, Colombia estudiaron el Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como ayudante natural del proceso de coagulación para disminuir la turbiedad del agua, con la finalidad de evaluar la eficacia del mucilago extraído del nopal empleado como complementario del sulfato de aluminio en el procedimiento para clarificar el agua del río Magdalena en Sucre, a través de la prueba de jarras se realizó tratamiento, empleando concentraciones de 35 y 40 mg/L a velocidades de 100 y 200 rpm aplicando tiempos de agitación de 20 y 30 minutos, teniendo en cuenta el pH, la porción y concentración del coagulante y la velocidad de agitación a la que será sometida la muestra. Se determinó que el *opuntia ficus-indica* tiene una eficiencia de 80 %, reduciendo altamente la coloración y turbidez del agua.

Melo y Turriago en el año 2012 realizaron un proyecto con el objetivo de medir la eficacia de semillas de *moringa oleífera* como una alternativa de biorremediación en la purificación de la microcuenca Caño Cola de Pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias, proponiendo esta especie como coagulante primario en el proceso de clarificación del agua, teniendo en cuenta parámetros como la dureza y alcalinidad, asimismo variables como dosis optima, tiempo de agitación, color y DQO. Para la respectiva evaluación se tomó dos muestras de agua a las cuales se les aplicó el polímero vegetal dosis de 40 mg/L a una agitación de 15 minutos llegando a concluir que esta especie logra reducir la turbidez en un 84,34 %, por tanto, esta especie puede ser un sustituto natural en los procesos de coagulación y floculación en el tratamiento de aguas turbias.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Ayala y Coronel en el año 2017 realizaron una investigación con la finalidad de evaluar el uso de un floculante natural extraídas de semillas de *Caesalpinia spinosa* (tara) especie como un método para clarificar las aguas del refugiode vida silvestre Pantanos de

Villa, las muestras de agua fueron tomadas de La Maravilla en el distrito de Chorrillos. A través del equipo de prueba de jarras se evaluó la eficiencia que puede tener en la disminución de la turbidez y la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y sólidos suspendidos totales, para ello trabajaron con una dosificación del floculante de 2000 ppm y 3000 ppm con velocidad de agitación rápida de 200 rpm y 300 rpm y velocidad de agitación lenta de 30 rpm y 45 rpm cada una a diferentes tiempos; donde se demostró que la goma de tara es eficaz para este tipo de tratamiento.

Moreno en el año 2016 realizó una investigación con la finalidad de comprobar si estos tres polímeros vegetales pueden disminuir la turbidez de las aguas de dicho río de donde se abastece la población de Chuquibamba. Para este estudio se utilizó el equipo de test de jarras B-KER, asimismo se tomó en total una muestra de 108 litros del agua a tratar y del mismo modo que en los anteriores lo realiza determinando la velocidad de agitación rápida menor de 200 rpm por un minuto y medio y velocidad de agitación lenta mayor de 45 rpm durante 25 minutos observando que estos coagulantes naturales resultan favorables para disminuir la turbidez de la cuenca Crisnejas.

Aguilar en el año 2010 desarrolló una investigación cuyo objetivo fue: “Determinar la eficiencia de la goma de tara como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas”. Trabajó con diferentes aguas turbias, el primero a 25 UNT y el otro a 390 UNT mediante la prueba de jarras, empleando como coagulante primario el sulfato de aluminio y añadiéndole la goma de tara para mejorar el rendimiento, para ello estableció diferentes dosis, tiempo y velocidades de agitación donde comprobó que la goma de tara presenta una gran capacidad como ayudante del sulfato de aluminio para disminuir la turbiedad de dichas aguas.

En la investigación que realizó Vela Arevalo Cinthya en el año 2016 que tuvo por objetivo “Disminuir la turbiedad utilizando el coagulante natural Moringa Oleífera en las aguas del río Alto Chicama, puente Ingón”, probando 4 diferentes dosis (15, 18, 20 y 25 ml) y a cuatro diferentes velocidades de agitación. Para sus respectivos análisis utilizó el turbidímetro tanto para el inicio y el final del tratamiento y el equipo de jarras, donde encontró que las semillas de la Moringa si logra disminuir la turbiedad del agua de dicho río siendo la mejor dosis de 200 ml a una velocidad de 300 rpm (2’) con 80 rpm (15’).

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Agua

Según la Ley General de Recursos Hídricos Ley N° 29338 “el agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación”.

Este recurso está compuesta por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno (H₂O), se trata de una sustancia líquida que no tiene olor, color ni sabor, también podemos encontrarla en estado gaseoso (vapor) o en el estado sólido mediante los glaciares y casquetes polares (Matamoros & Yovana, 2017).

El agua es el elemento más abundante, ya que llega a cubrir las tres cuartas partes del planeta, pero, el 97% del agua total en la tierra se halla en los océanos y mares lo cual es inservible para el consumo humano por su alta salinidad y sólo un 3% del agua restante es dulce, sin embargo 2,38% aproximadamente se encuentran en estado sólido siendo inaccesible y un porcentaje pobre de 0,62% se halla en estado líquido como ríos, lagos y aguas subterráneas (Rodríguez, s.f.).

2.2.2. Características del agua

Son aquellas que se manifiestan sensorialmente tales como el sabor, olor, color y la turbiedad las cuales son determinadas mediante unos análisis en laboratorio.

2.2.2.1. Sabor y olor

Ambos parámetros se da por la presencia de sustancias químicas volátiles y por la descomposición de la materia orgánica (Cayota & Rodriguez, 2011).

2.2.2.2. Color

Ibañez (2012) argumenta que la coloración del recurso hídrico se da por la presencia de materia orgánica y minerales como el magnesio y el hierro, lo cual ese parámetro es indirectamente una propiedad física que describe el origen y las propiedades del agua. Indicando la posible presencia de óxidos metálicos ya mencionados.

2.2.2.3. Turbidez

Martínez y Gonzáles (2012) mencionan que las sustancias en suspensión, como la arcilla o diminutas partículas de materia orgánica e inorgánica divididas finamente,

compuestos orgánicos solubles u otro microorganismo son los causantes de la coloración del agua provocando que la luz o transparencia se pierda. La correlación de la turbiedad con la concentración de peso de la materia coloidal es dificultosa de establecer, porque en ella intervienen el índice de refracción, tamaño y concentración de los coloides, esto quiere decir, que mientras más sólidos en suspensión estén presentes en el agua, más sucia encontrará, por ende, la turbidez será aún más alta. El principal causante de la coloración oscura del agua es la dispersión de la arcilla, debido a que llega a abarcar una amplia gama de compuestos, pero habitualmente son los silicatos de aluminio con diferentes formas, lo cual al mezclarse con el agua adquieren una plasticidad.

Para evaluar el grado de turbiedad de las aguas se utiliza el turbidímetro que tiene la función de medir la intensidad de la luz (NTU). La norma peruana para el recurso hídrico establece que para ser aceptable para el consumo humano este parámetro debe ser menor a 5 NTU, por ello este líquido siempre que sea sometido a tratamientos de desinfección, la turbiedad debe ser baja, para que el proceso sea eficaz (Vela, 2016).

2.2.3. Fuente de abastecimiento

2.2.3.1. Fuente subterráneas

Este tipo de aguas se encuentran por debajo de la superficie terrestre y para poder extraerla se necesita realizar una perforación de un pozo. Este tipo de líquido presenta una mejor calidad de agua que las que se hallan en la superficie, porque es mucho más difícil a que éstas sean contaminadas por el ser humano, pero una vez que estas aguas son contaminadas es complicado detectarla y su remediación es más dificultoso, caro y de largo plazo a comparación que las aguas superficiales (Contreras, et al., 2008).

2.2.3.2 Fuentes superficiales

Barba (2002) señala que este tipo de fuente de agua es originada a partir de una precipitación atmosférica o de afloraciones de aguas subterráneas, siendo una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para la humanidad; no obstante la desventaja de usar las aguas superficiales es que éstas son más propensas a ser contaminadas por diversos factores como las descargas de aguas industriales, municipales, erosión del suelo o por el vertimiento de residuos sólidos.

2.2.4. Contaminación del agua

La contaminación de este recurso se da por la introducción de materias o sustancias a cuerpos de agua, lo cual conlleva al deterioro de la calidad de sus aguas, de tal manera que deja de ser apta para el uso que este fue designado. Estos compuestos adicionados a causa de las descargas de aguas negras, desechos industriales, domiciliarios, residuos sólidos o por la aplicación de productos agrícolas como plaguicidas, abonos, entre otros (Broncano & Rosario, 2017).

Hay que mencionar que cuando el agua contiene bastantes sustancias suspendidas, le falta el oxígeno lo cual va a impedir el desarrollo de la vida acuática, porque al encontrarse sin oxígeno no solo va a afectar la composición y calidad de las aguas, sino que también va a romper el ciclo normal produciendo alteraciones en su sistema inmunológico de las especies acuáticas o muerte de plantas y animales (Villa, 2011).

2.2.5. Partículas en suspensión

Las partículas en suspensión en fuentes de aguas superficiales se originan de forma natural ya sea por la erosión de los suelos, por la descomposición de compuestos orgánicos y por la dispersión de sustancias minerales, a este se le agrega las descargas de aguas industriales, domiciliarios y agrícolas, siendo los causantes de la turbidez del agua. Estas partículas coloidales presentan por lo general un diámetro de 1 a 1000 milimicrómetros por lo que su comportamiento depende de su origen y naturaleza (Andía, 2000).

Estas partículas se caracterizan porque son hidrofílicas (presentan gran afinidad con el agua) ya que tienden a dispersarse espontáneamente dentro del agua siendo rodeados por moléculas del agua que previenen cualquier contacto posterior entre estas partículas, a su vez son hidrófobos (que rechazan al agua), todo lo contrario a las hidrofílicas por lo que estas requieren de ayuda de medios físicos y químicos (Gómez, 2005).

2.2.6. Proceso de potabilización del agua

Según Idrovo (2010) citado por Broncano y Rosario en el año 2017 argumentan que la potabilización del recurso hídrico consiste en eliminar las sustancias volátiles seguida de los procesos de precipitación de las impurezas con coagulantes - floculantes, filtración y finalmente una desinfección con cloro. Las aguas procedentes de cuencas requieren un tratamiento caro y complejo antes de que estas sean suministradas a la población, esto se

debe por las precipitaciones que traen gran cantidad de sustancias sólidas, por lo tanto, la finalidad de realizar la potabilización es garantizar a los habitantes que el tipo de agua captada se encuentra dentro de la calidad que indica el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano.

2.2.7. Coagulación

Este proceso trata de desestabilizar la materia coloidal que se originan al neutralizarse las fuerzas que las mantienen alejadas, se logra con la adición de coagulantes sintéticos y la aplicación de energía de mezclado, haciendo que en la superficie del colide las cargas eléctricas se anulen, lo cual va a permitir que las partículas coloidales se aglomeren entre ellas para formar flóculos (Aldana, 2012).

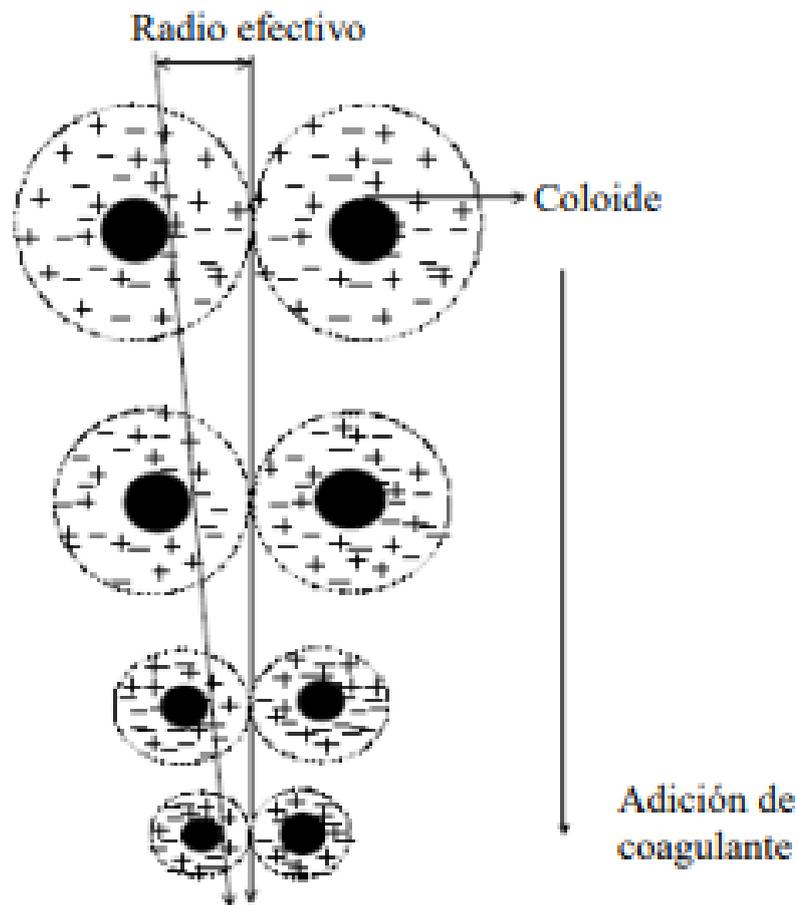


Figura 1. Desestabilización de un coloide.
Fuente. Andía (2000).

Bravo y Gutiérrez (2016) indican que el proceso de coagulación es el método más eficaz porque en él se eliminan gran cantidad de partículas coloidales, pero si este es

realizado incorrectamente conlleva a una rápida degradación de la calidad del agua, es por ello se recomienda usar la dosificación adecuada ya que esta variable es que condiciona el buen funcionamiento de las unidades de decantación, porque resultaría complicado realizar una clarificación si la cantidad del polímero está mal ajustada.

2.2.8. Mecanismo de la coagulación

Para desestabilizar la materia coloidal se puede dar por mecanismos fisicoquímicos, las cuales mencionaremos a continuación:

2.2.8.1. Comprensión de la doble capa

Consiste en que dos coloides parecidos se aproximan haciendo que sus capas difusas interactúan y provoquen una fuerza de repulsión, ese potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa, pero al incrementar carga de iones opuesta al de las partículas van a caer rápidamente, por ello para conseguirlo se necesita iones del coagulante (Díaz, 2014).

Por otro lado existe un potencial o fuerzas de atracción entre los coloides conocidas como fuerzas de Van der Waals; Aldana (2012) explica que la curva de atracción de Van der Waals es fija, contrario a la de repulsión eléctrica, ya que si se incrementan iones de carga opuesta en la solución estas se reducen y en consecuencia al disminuir dicho potencial, también decrece la curva resultante de interacción. Esto trata de explicar que los coloides pueden llegar a juntarse lo suficientemente para que puedan ser desestabilizadas por la energía atractiva de Van der Waals.

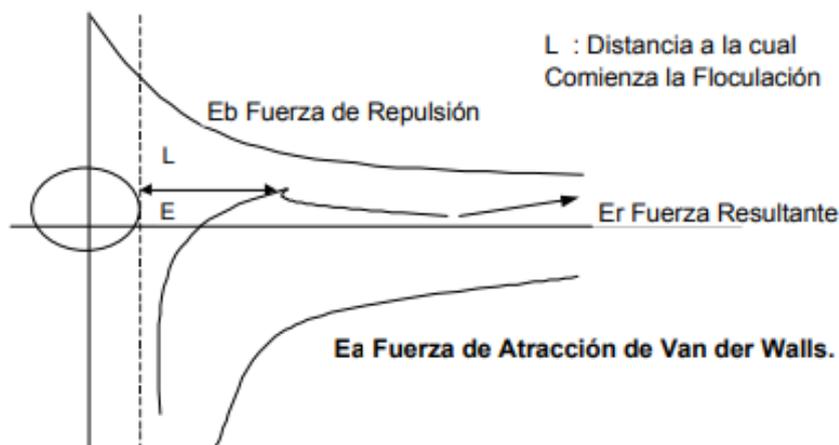


Figura 2. Desestabilización del colide por medio de la comprensión de la doble capa.
Fuente. Edgar Aldana (2012).

2.2.8.2. Absorción y neutralización de cargas

La coagulación, es definido también como la anulación del potencial zeta debido a que se añaden agentes químicos; por lo tanto, este mecanismo se origina cuando los iones (del coagulante) con carga opuesta son absorbidos por los coloides, neutralizando las cargas repulsivas logrando así la formación de precipitados, es decir, las partículas coloidales al poseer una carga negativa en su superficie, atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y así formar la primera capa adherida a la partícula (Ojeda, 2012).

Para que este mecanismo resulte eficiente se debe tener condiciones de un pH ácido y bajas concentraciones del coagulante, porque al agregar un exceso de coagulante en el agua a tratar va a ocasionar que la carga de la partícula coloidal se reestablezca, esto quiere decir, que los iones del polímero vegetal van a ser absorbidos en la parte de la superficie de la sustancia coloidal, originando una carga invertida a la carga original, lo cual hará que el resultado, además de la reestabilización se logra disminuir en el porcentaje de remoción (Domínguez, 2010).

2.2.8.3. Inmersión en un precipitado

En este mecanismo las partículas ya desestabilizadas pueden ser atrapadas dentro de un floc, para atrapar a las partículas suspendidas y originar su decantación, esto sucederá al adicionar una concentración elevada del coagulante que excede el límite de solubilidad de éste en el agua, para que de esta manera se formen precipitados a causa de la reacción del agua con el coagulante. Generalmente se utilizan sales de metales como el sulfato de aluminio o cloruro férrico (Ayala & Coronel, 2017).

Este mecanismo es el que más se utiliza, debido a que generalmente las concentraciones del coagulante se encuentran por encima del límite de solubilidad en condiciones normales de pH y temperatura, cabe resaltar además que los flóculos formados presentan una mejor sedimentación a comparación con el mecanismo de absorción y neutralización (Martínez & González, 2012).

2.2.8.4. Adsorción y enlace de puente inter partícula

Este proceso consiste en la reacción que ocurre entre un sector de la superficie del coloide y el polímero añadido. Las moléculas largas del polímero contienen en su estructura grupos químicos que pueden adsorber las partículas coloidales en una de sus extremidades,

para que el resto quede de la zona superficial quede libre para que así pueda adsorber otras partículas, lo cual provocará la unión entre partícula-polímero-partícula, por ello se conoce a este fenómeno como la teoría del puente. Hay que mencionar que si no hay colides libres para la adsorción, las partes dilatadas del coagulante serán adsorbidas en la misma partícula coloidal y este polímero no servirá como puente, por lo que cabe recordar que si existe una excesiva carga del polímero ocurrirá una reestabilización de los coloides (Bravo, 2017).

2.2.9. Floculación

La floculación es el proceso que le sigue a la coagulación, consiste en que partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para aglomerarse en los llamados flocs con el fin de que éstas aumenten su peso y tamaño para que puedan sedimentar fácilmente. La floculación se realiza gracias a la mezcla lenta que permite que los microfloculos se junten entre ellas porque si se realiza con una mezcla rápida estas partículas se rompen y rara vez se vuelven a aglomerarse (Moreno, 2016).

2.2.10. Mecanismos de la floculación

Se pueden presentar de dos formas, lo cual dependerá del tamaño de las partículas desestabilizadas, las cuales son:

2.2.10.1. Modelo pericinético

Este modelo de floculación esta inducido por el movimiento natural de las moléculas del agua y por la energía térmica, llamado también movimiento browniano, es decir, durante este modelo las partículas coloidales de tamaño inferior a un micrón comienzan a aglutinarse hasta formar flóculos más grandes a una micra y recién entre a actuar el modelo ortocinética (Restrepo, 2009).

2.2.10.2. Modelo ortocinético

Según Sánchez (2007) este modelo depende de las colisiones entre los microfloculos provocada por la velocidad de agitación que se le da al agua que puede ser de forma mecánico o hidráulico, porque de este movimiento dependerá la aglomeración entre las partículas coloidales y la formación de los flóculos más grandes a un micrón.

2.2.11. Factores que influyen en los procesos de coagulación - floculación

2.2.11.1. Dosis del coagulante

Gómez (2010) argumenta que la cantidad del reactivo químico o polímero natural que se vayan a emplear durante el proceso de coagulación y floculación es de suma importancia porque influye de forma directa en la eficiencia de estos procesos. Si la cantidad del coagulante es poca no va a neutralizar la carga de las partículas en suspensión y los microfloculos no se van aglomerarse, por tanto, la turbiedad del agua tratada seguirá igual o incluso puede elevarse; ahora, si la cantidad del reactivo es alta la aglutinación de los microfloculos será en gran cantidad y su sedimentación será muy baja por lo que la turbiedad será elevada; por esta razón la selección y la dosis óptima del coagulante a aplicarse aplicación juega un rol importante porque de eso dependerá una buena calidad de agua clarificada (Andía, 2000).

2.2.11.2. pH

El pH es uno de los factores más influyente durante el proceso de coagulación y floculación, ya que existe un rango de pH óptimo para cada agua y este pH depende al tipo de coagulante que se va emplear y a la naturaleza que presente el agua a tratar, pues si la coagulación se realiza fuera del rango del pH óptimo va incrementar la cantidad o dosis del reactivo a utilizar (Broncano & Rosario, 2017).

2.2.11.3. Velocidad de agitación

Según Moreno (2016) la velocidad de agitación determina si la coagulación es completa, porque si el grado de agitación es desigual durante la adición del reactivo cierta parte del agua tendrá mayor concentración del coagulante mientras que la otra porción tendrá poco o nada del reactivo, por eso la velocidad de mezcla debe ser uniformemente e intensa en toda la masa del agua a tratar para asegurar que la mezcla entre el coagulante y el agua haya sido de la manera correcta y que la reacción química de neutralización de cargas se haya producido.

Durante el proceso de coagulación y floculación la mezcla de los reactivos químicos se da en dos etapas. La primera etapa se conoce como mezcla rápida que consiste en que la velocidad de agitación sea de turbulencias fuertes y de corta duración con el fin de dispersar la totalidad del coagulante en el agua a tratar y la otra etapa se conoce como mezcla lenta donde la velocidad de agitación se da en revoluciones menores con un tiempo de duración larga con la finalidad de que se aglomeren los microfloculos (Díaz, 2014).

2.2.12. Coagulantes y floculantes sintéticos

2.2.12.1. A base de sales metálicas

Frecuentemente empleados en el tratamiento de aguas industriales y domésticas.

Entre los coagulantes de este tipo se encuentran los siguientes:

➤ Sulfato de aluminio

Este polímero es conocido como Alumbre, produce pequeños y esponjosos flocos y esponjoso por lo cual no lo utilizan una precipitación previa de aguas residuales, debido a que éstas contienen alta carga contaminante del agua. Sin embargo, lo usan para tratamiento de agua potable y en la reducción de fósforo y de los coloides orgánicos; es un coagulante efectivo en intervalos de pH 6 a 8. Este polímero (García, 2011).

➤ Sulfato férrico

Este agente sintético funciona de forma estable en un intervalo de pH de 4 a 11, es uno de los más conocidos. A comparación del sulfato de aluminio estos producen flocs más grandes y densos, además presentan sedimentación más rápida en aguas residuales, también lo utilizan en tratamiento de aguas potables, aunque algunas veces ocasionan problemas en la coloración (Sánchez, 2007).

➤ Cloruro férrico

Este polímero químico se encuentra en forma sólida o líquida; la que se utiliza más para el tratamiento de coagulación y floculación es en forma líquida. La forma sólida es cristalina, de color pardo, deliquescente, de fórmula teórica $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. El polímero vegetal tiende a fundirse con mayor facilidad en el agua de cristalización a 34 °C, por lo que es necesario protegerla del calor. (Díaz, 2014).

2.2.12.2. Coagulantes y floculantes naturales

Los coagulantes naturales son procedentes de origen vegetal o animal, solubles en agua que actúan de forma similar a los de origen sintético, aglutinando las partículas coloidales que contiene el agua a tratar, además de facilitar su sedimentación y disminuyendo la turbiedad inicial que se encontraba el líquido (Ramírez & Jaramillo, 2015). Los coagulantes de origen vegetal en su mayoría poseen propiedades antimicrobianas logrando reducir o eliminar el contenido de microorganismos patógenos que pueden causar

enfermedades, es por ello que este tipo de coagulantes son una alternativa que vienen empleando en la potabilización de agua además que garantiza la inocuidad para el ser humano (López, 2018).

Aldana (2012) menciona que algunos coagulantes de origen vegetal son estudiados a mayor profundidad como el Cactus Opuntia, legumbres, Caesalpinia spinosa, papa, entre otros, pero, el más conocido y estudiado hoy en día es la Moringa Oleífera.

- Estos coagulantes tienen como sus principales ventajas como:
- Mejoran la calidad de agua filtrada y decantada.
- Reducción en el consumo de coagulantes primarios.
- Reducción en el volumen de lodo sedimentado en decantador.
- Aumento de la remoción de microorganismos presentes en el agua cruda.
- Mayor eficiencia en la desinfección, debido a la reducción de sólidos suspendidos en el agua filtrada.
- Reducción de costos.

2.2.13. Caesalpinia spinosa (tara)

La *caesalpinia spinosa* conocido como tara, taya o guarango es un árbol pequeño de 2 a 3 metros de altura, pero puede llegar hasta los 12 metros aproximadamente, tiene un fuste corto, cilíndrico o tortuoso con ramas bien pobladas donde sus hojas son en forma de plumas, parcadadas u ovoides de 1.5 cm de largo y sus flores presentan un color amarillo rojizo. Los frutos de esta especie son vainas explanadas de color naranja que miden de 8 a 10 cm de largo y 2 cm de ancho, dentro de ellas se encuentran los granos de semillas que presenta un color pardo negrusco cuando están maduros (De la Cruz, 2004).

La tara crece de forma silvestre o cultivada en diferentes países de la región sudamericana en rango de 1000 a 3000 msnm., es un árbol que produce vainas y semillas y de ellas se extrae taninos, gomas, hidrocoloides y galactómanos para el uso de industrias. Por otra parte, al ser leguminosa tiene la virtud de aportar nitrógeno al suelo y crece normalmente en suelos pobres puesto que necesita de poca agua para subsistir, además de ser resistente a plagas y enfermedades (Narváez, et al., 2010).



Figura 3. Fruto de la *Caesalpinia spinosa* (Tara).
Fuente. De la Cruz (2004).

2.2.14. Clasificación taxonómica

En la siguiente tabla se presenta la taxonomía de la tara, *Caesalpinia Spinosa*.

Tabla 1.

Taxonomía de la Tara

Nombre científico	<i>Caesalpinia Spinosa</i>
Etimología	<i>Caesalpinia</i> , en honor a Andrea Caesalpini (1524-1603) botánico y filósofo italiano. <i>Spinosa</i> , del latín <i>spinosus-a-um</i> , con espinas
Nombre común	Tara o taya en Perú; vinillo, guarango en Ecuador; dividivi de tierra fría, guarango, cuica, serrano, tara en Colombia; tara en Bolivia, Chile y Venezuela; acacia amarilla, dividivi de los andes, sping holdback en Europa
División	Fanerógamas
Orden	Fabales
Familia	Caesalpinaceae
Clase	Magnoliopsida
Género	<i>Caesalpinia</i>
Especie	<i>Spinosa</i>

Fuente. Manfred Aduañas.

2.2.15. Hábitat

La *Caesalpinia spinosa* está distribuido en valles andinos de Venezuela, Colombia, Ecuador, Bolivia, Perú y Chile, también se encuentran en lugares semiáridos de forma natural. Su producción se da básicamente en bosques naturales y en ciertas zonas de parcelas agroforestales y es el Perú quién presenta mayor área de bosques de esta especie que abarca casi toda la costa y algunos departamentos de la sierra como Ancash, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huánuco, Huancavelica, Junín y Pasco por ello nuestro país es considerado el principal productor mundial de tara (Bonilla, et al., 2016). La tara se adapta a climas tropicales y subtropicales, así como a diversos tipos de suelo ya sean arenosos, bien drenados secos o incluso pedregosos (Sanchez, et al., 2009).

2.2.16. Goma de tara

Sanabria (2011) menciona que la goma de tara es un tipo de hidrocoloide, de origen vegetal proveniente del endosperma molido de las semillas de tara. El Perú cultiva esta especie comercialmente para el consumo humano y animal, ya que no representa ningún riesgo para la salud tal y como lo han considerado la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) que exponen que “la harina de semillas de tara como un aditivo seguro para el uso en el sector alimenticio” (Bonilla, et al., 2016).

La goma de tara presenta taninos en su estructura que actúan como un clarificador, lo cual se da por la gran cantidad proteínica que esta posee, asimismo contiene elementos que son empleados como decolorante y antioxidante (Murga, et al., 2016). El peso molecular de la goma de tara es elevado ya que está compuesta en su gran mayoría por polisacáridos, es así que presenta características gelificante en bajas concentraciones. La goma de tara en polvo presenta una apariencia de coloraciones claras o cremas, que son conservadas fácilmente una vez que hayan sido secadas y pulverizadas, es inodora, insípida y muy estable a temperatura ambiente, además es de fácil obtención (Aguilar, 2010).

2.2.17. Obtención del producto coagulante a partir de las semillas de la goma de tara

Para obtener el polímero goma de Tara se realiza diversos procesos para retirar de manera eficaz el endospermo de la cáscara y del germen o embrión. Primero se separa la cáscara, el germen y el endospermo se realiza a través de un proceso térmico-mecánico para ello usan una molienda diferencial, debido a una diferencia en la dureza de cada componente,

seguidamente los clasifican para que ingresen a un selector óptico y éstas se hallen limpias en un 98%, pero, terminan finalmente a un 100% limpias. El endosperma que es separado contiene 80% galactomano, este se muele para que estén finalmente a un tamaño de partícula fino para su posterior venta como la goma de Tara (ALNICONSA del Perú S.A.C.).



Figura 4. Goma de tara.
Fuente. Molinos Asociados SAC.

2.2.18. Flujograma de la obtención del polvo de la goma de Tara



Figura 5. Proceso para la obtención de goma de tara.
Fuente. ALNICONSA del Perú S.A.C.

2.2.19. Prueba de jarras

En tratamiento de aguas es importante la selección de productos químicos y la cantidad a usar, para ello se debe identificar las dosificaciones con las que funcione de forma óptima el proceso y el sistema de tratamiento, para lo cual realizan ensayos a nivel de laboratorio a través de equipos de prueba de jarras (Restrepo, 2009).

La prueba de jarras consiste en simular los procesos de coagulación y floculación mediante una serie de ensayos que permita determinar la dosificación óptima del coagulante o polímero a utilizar, permitiendo también ajustar las velocidades de agitación y pH, y con

ello determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el tratamiento de agua para poder predecir el funcionamiento de una operación a gran escala, con el fin de obtener eficiencias adecuadas a menores costo en la reducción de los sólidos disueltos, suspendidos o cualquier partícula no sedimentable causantes de la turbiedad del agua (Ayala & Coronel, 2017).

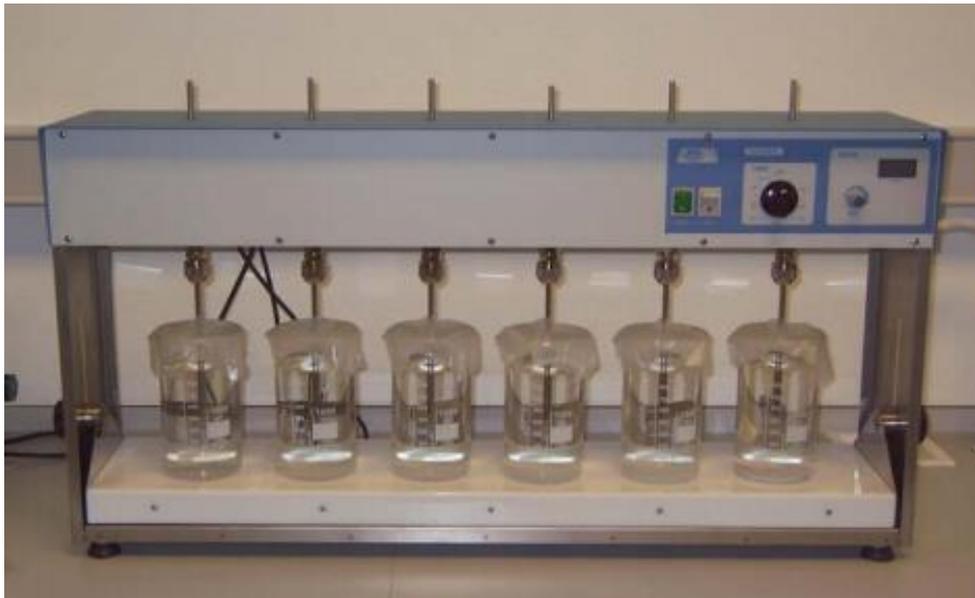


Figura 6. Equipo test de jarras.
Fuente. Ayala y Coronel (2017).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de recolección

Para este estudio se consideró un único punto de recolección donde realizan la captación de agua para consumo humano en el distrito de Ayaviri. Las muestras fueron tomadas en contra corriente y colocando con un ángulo apropiado en bidones de plástico directamente del cuerpo de agua, que en este caso fue el río Ayaviri, pero, antes de ello se enjuagó el frasco y los bidones con agua del mismo río, se agitaron y se desecharon corriente abajo con el fin de eliminar posibles sustancias existentes dentro de los frascos y bidones tal y como estipula el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua – ANA.

3.2. Obtención del producto coagulante a partir de las semillas de la goma de tara

En la elaboración de la goma de tara como polímero en solución se utilizó un producto que fue proporcionado en bolsas selladas por la empresa ALNICONSA del Perú S.A.C del tipo A empleada para la exportación.

3.3. Preparación de la solución de la goma de tara

En una balanza analítica se pesó la cantidad de 1 g. del polvo de la goma de tara, una vez pesada fue disuelta lentamente en un vaso precipitado de 200 ml de agua destilada para evitar grumos y obtener una solución homogénea, con ayuda de una bagueta. Con la primera solución obtenida se añadió a una fiola de 500 ml. Adicionándole agua destilada se agitó nuevamente para homogenizarla, la cual queda lista para ser usado como polímero natural, según la investigación realizada por Aguilar en el 2010.

3.4. Preparación de la solución sulfato de aluminio

Para preparar la solución del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ se pesó en una balanza 100 g. del mismo, el cual fue disuelto con agua destilada en una fiola de 1000 ml. obteniendo una solución al 10%, posteriormente se sacó 10 ml. de dicha solución y se aforo en una fiola de 100 ml. y así obtener una solución al 1%.

3.5. Determinación de la velocidad de agitación y tiempo de sedimentación

Para el presente estudio de investigación se tomó una velocidad de agitación rápida de 300 rpm con 5 segundos y una velocidad de agitación lenta de 40 rpm con 40 minutos con un tiempo de sedimentación de 20 minutos según el CEPIS.

3.6. Determinación de la dosis, concentración y pH óptimo para el sulfato de aluminio

Para determinar la dosis óptima de coagulante primario $Al_2(SO_4)_3$ se realizó diversas pruebas añadiéndole diferentes dosis de forma creciente del coagulante para cada una de las jarras que contenían agua del río Ayaviri; enseguida se efectuó las pruebas para hallar la concentración óptima del coagulante y de igual modo para el pH óptimo, esto con la dosis óptima ya obtenida según el CEPIS.

Además, de ver la turbiedad para medir la eficacia de los tratamientos se consideró el índice de Willcomb y el tiempo inicial de formación del flóculo en cada jarra que se observó después de la floculación (agitación lenta).

3.7. Determinación de la dosis óptima de la solución de la goma de tara más el sulfato de aluminio

Para este proceso se efectuó con los datos ya hallados tanto de dosis, concentración y pH óptimo empleando el sulfato de aluminio como el coagulante primario. Para encontrar la dosis óptima de la goma de tara se agregó la misma dosis ya obtenida del coagulante sintético en todas las jarras, variando la dosis de la goma de tara y con ello se obtuvo la dosis óptima del polímero natural tara.

3.8. Dosis óptima goma de tara y reducción del sulfato de aluminio

Una vez encontrada la dosis óptima de la goma de tara y con la dosis óptima del sulfato de aluminio se procedió a realizar nuevas pruebas, en esta ocasión se disminuyó sucesivamente la dosis del coagulante primario y se agregó la dosis óptima de la goma de tara constante en las jarras según el estudio que realizó Aguilar en el 2010.

3.9. Equipos y materiales

3.9.1. Materiales

- Vasos precipitados de 1000 ml

- Vasos precipitados de 100 ml
- Jeringas
- Sifones
- Espátula
- Bagueta
- Frascos ámbar de plástico con tapa de 1L
- Bidones
- Pissetas
- Guantes
- Varilla
- Pipetas
- Balde

3.9.2. Reactivos

- Ácido clorhídrico
- Hidróxido de sodio
- Sulfato de aluminio
- Agua destilada

3.9.3. Equipos

- Balanza analítica
- Cronómetro
- Turbidímetro
- Equipo Test de jarras

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados que se muestran a continuación corresponden a las pruebas realizadas para dosificación, concentración, pH con la muestra proveniente de las aguas del río Ayaviri usando la solución de la goma de tara como ayudante de coagulación del sulfato de aluminio.

4.1. Características del agua cruda

- Procedencia: Río Ayaviri
- Turbiedad: 175 NTU
- pH: 7.73
- Temperatura: 15 °C
- Alcalinidad:

4.2. Dosis óptima del sulfato de aluminio

En la tabla 2 y gráfica 1 se observa los resultados de la reducción de la turbiedad de las aguas del río Ayaviri, donde solo una las dosis propuestas fue la más óptima, dando como resultado un valor de 1.55 UNT promedio en turbiedad en el agua final, para ello la dosis óptima del sulfato de aluminio fue de 45 mg/L, además, también se observó una disminución del pH del agua tratada debido a la naturaleza ácida de este coagulante.

Tabla 2.

Disminución de turbiedad a diferentes dosis

Dosis mg/L	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbiedad	47.6	17.08	12.83	4.96	3.56	2.43	1.88	1.76	1.60	1.92	2.07	3.65
(UNT)	46.4	13.93	12.15	4.98	3.65	2.37	1.80	1.77	1.51	1.87	3.00	3.75
Media	47	15.505	12.49	4.97	3.605	2.4	1.84	1.765	1.555	1.895	2.535	3.7
Ds	0.8485	2.2274	0.4808	0.0141	0.0636	0.0424	0.0566	0.0071	0.0636	0.0354	0.6576	0.0707

Fuente. Elaboración propia.

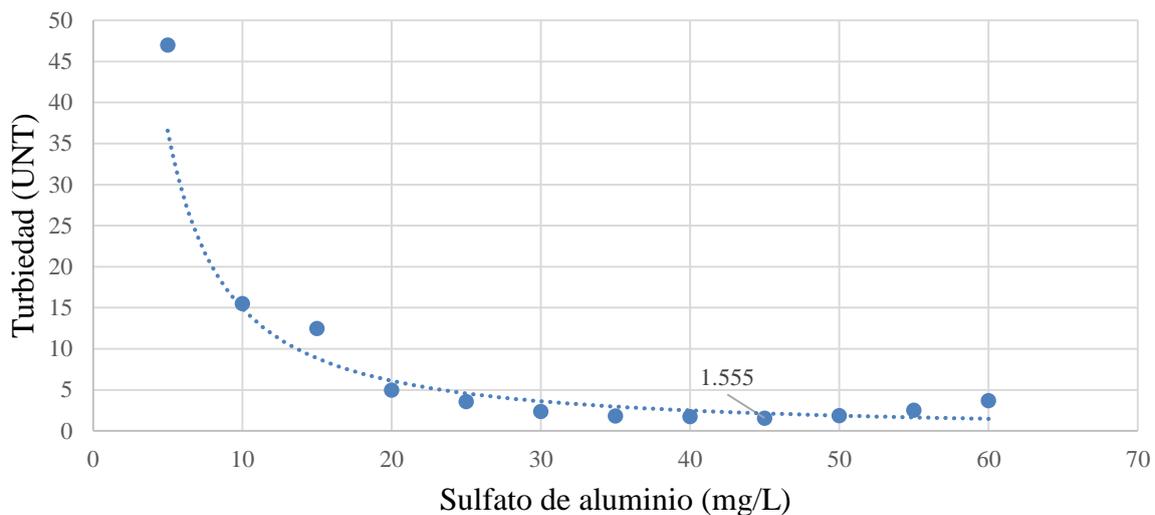


Figura 7. Turbiedad vs Dosis.

Fuente. Elaboración propia.

El agua del río Ayaviri presentó una turbiedad inicial de 175 UNT, para su disminución se empleó una dosis de 45 mg/L de sulfato de aluminio, obteniendo una turbidez final de 1.555 UNT promedio, estos resultados son un poco parecidos con los de Meza, et al. (2018) que utilizaron dosis de 35 mg/L de sulfato de aluminio para reducir una turbiedad de 276 UNT a 0.55 UNT también en el estudio realizado por Aguilar (2010) trabajó con una dosis de 30 mg/L del coagulante; esto se da porque las investigaciones realizadas fueron en aguas calientes más no en aguas frías, es por ello que en este presente estudio se utilizó una dosis más alta para disminuir la turbidez del agua.

4.3. Concentración óptima del sulfato de aluminio

En la tabla 3 se muestran los datos obtenidos de la concentración del sulfato de aluminio luego de realizarse las pruebas de jarras, viendo que en el 1.5% existe una mayor eficiencia para reducir la turbiedad de las aguas del río Ayaviri.

Tabla 3.

Disminución de turbiedad a diferentes concentraciones

Concentración	0.5%	1%	1.5%	2%	2.5%	3%
	9	4.5	3	2.25	1.8	1.5
Turbiedad (UNT)	2.22	2.03	1.37	1.40	1.78	2.87
	2.48	1.74	1.31	1.43	1.81	1.77
Media	2.35	1.885	1.34	1.415	1.795	2.32
Ds	0.1838	0.2051	0.0424	0.0212	0.0212	0.7778

Fuente. Elaboración propia.

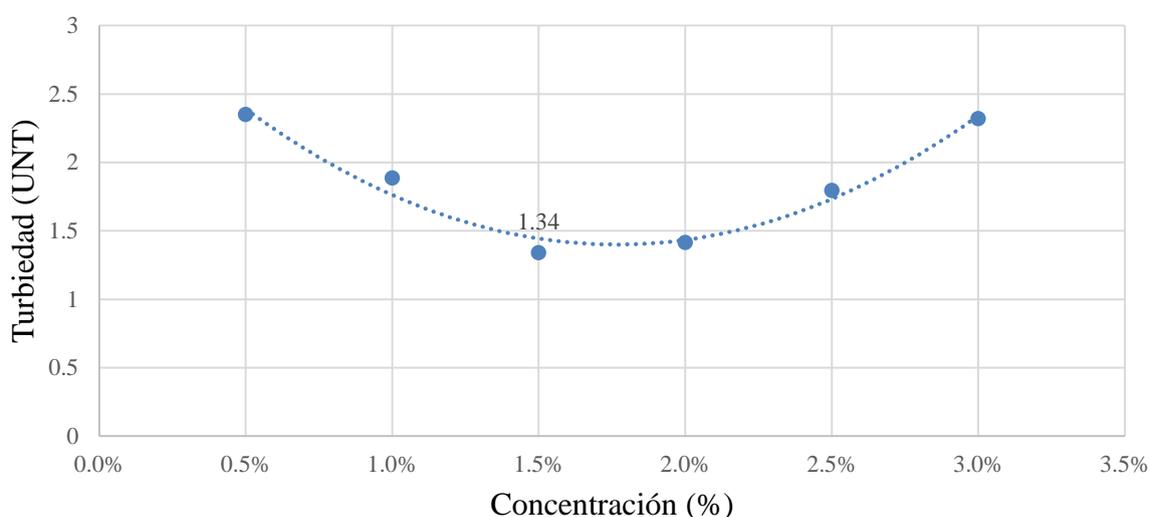


Figura 8. Turbiedad vs Concentración.

Fuente. Elaboración propia.

4.4. pH óptimo del sulfato de aluminio

En la tabla 4 se visualizan los datos obtenidos en relación al pH y turbiedad.

Tabla 4.

Disminución de turbiedad variando el pH.

pH	6.5	7	7.5	8	8.5	9
Turbiedad (UNT)	3.84	2.26	1.22	1.25	1.62	2.23

Fuente. Elaboración propia.

El agua del río Ayaviri presenta una buena predisposición para realizar un tratamiento de clarificación del agua, puesto que su nivel de pH (7.73) como se visualiza en la gráfica 3 se encuentra dentro del rango apropiado que es de 6.5 a 8.5 valores que favorecen

el proceso de coagulación y floculación como lo señalan Trujillo, et al. (2014) en su investigación, de igual manera Aguilar (2010) también menciona que agua que se encuentren entre pH de 7 a 8 son los más apropiados para este tratamiento, ya que existe mayor efectividad para remover los sólidos suspendidos presentes en el agua por esta razón se trabajó con el pH natural del agua cruda.

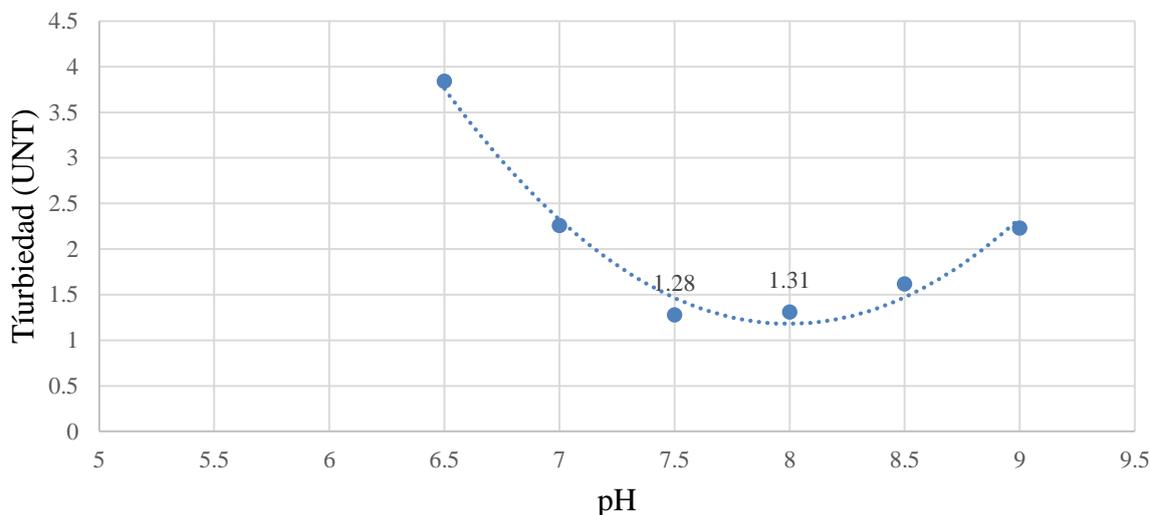


Figura 9. Turbiedad vs pH.

Fuente. Elaboración propia.

4.5. Dosis óptima de la goma de tara

En la tabla 5 y gráfica 4 se visualiza que solo una dosis de las propuestas es la más óptima, ya que logró actuar con mayor eficacia como ayudante del sulfato de aluminio con respecto a las otras dosis llegando a reducir la turbiedad a 1.09 UNT, a su vez, también se observó una ligera variación en el pH del agua tratada.

Tabla 5.

Disminución de turbiedad variando la dosis de la tara.

Dosis goma de tara mg/L	5	10	15	20	25	30
Turbiedad (UNT)	1.19	1.14	1.07	1.36	1.48	1.78
	1.25	1.17	1.11	1.30	1.49	1.83
Media	1.22	1.155	1.09	1.33	1.485	1.805
Desviación estándar	0.0212	0.0106	0.0141	0.0212	0.0035	0.0177

Fuente. Elaboración propia.

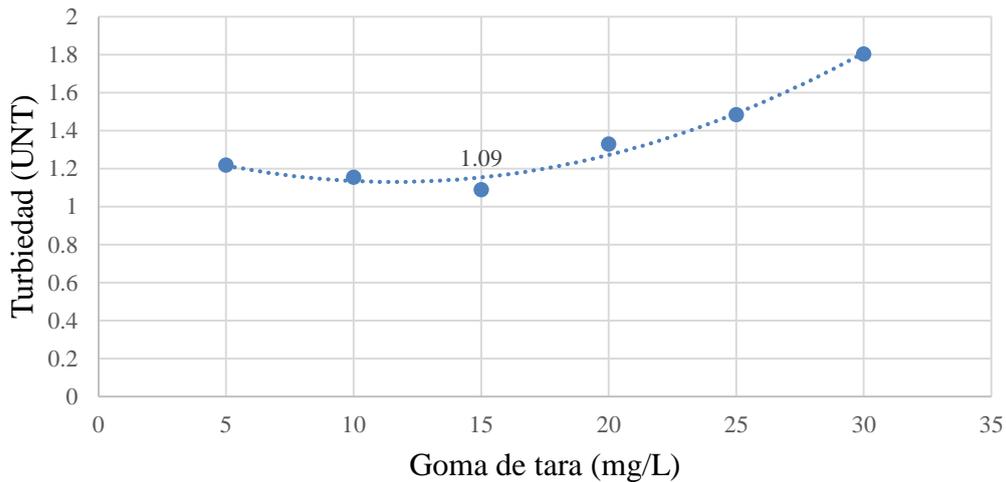


Figura 10. Turbiedad vs Dosis tara.
Fuente. Elaboración propia.

La goma de tara como auxiliar del sulfato de aluminio logró disminuir la turbiedad inicial de 175 UNT a 1.09 UNT promedio con una dosis de 15 mg/L. Esta dosis es mucho menor que la dosis óptima del sulfato de aluminio que fue de 45 mg/L, esto se debe que la tara es leguminosa compuesta por polisacáridos y taninos que permite la desestabilización de las partículas suspendidas, además de remover los sólidos disueltos en términos de DQO y la absorción de algunos metales pesados presentes en el agua, es por eso que los extractos de las semillas de *Caesalpinia spinosa* son recomendados como una alternativa para tratamiento de agua según Banchón, et al. (2016), asimismo Moreno (2016) coincide con esos autores, pero, hace mención que no se necesita de grandes cantidades para preparar la solución de goma de tara que actúa como auxiliar del coagulante químico ya que contiene compuestos que hace que este polímero sea bastante efectiva para remover aguas con alta cantidad de turbidez sin necesidad de incrementar la cantidad del vegetal como si sucede con los coagulantes sintéticos que mientras más turbia este el agua se utiliza más cantidad del reactivo para que pueda ser efectiva.

Vela menciona que solo se necesita de 1 a 2 g del polímero vegetal (tara) para que actúe como ayudante del proceso de coagulación y ayude a mejorar el tratamiento con sulfato de aluminio, señala también que este polímero es amigable con el medio ambiente y es libre de toxicidad, además que no genera cambios bruscos en el pH del agua tratada como si sucede con coagulantes químicos.

4.6. Dosis óptima de mezcla de sulfato de aluminio y goma de tara

En la tabla 6 se observan los resultados de la disminución de la turbidez de las aguas del río Ayaviri, donde vemos que el mejor resultado para disminuir la turbidez es a dosis de 35 mg/L del coagulante primario y a 15 mg/L de dosis de almidón de tara como ayudante.

Tabla 6.

Disminución de turbiedad reduciendo el sulfato de aluminio

Sulfato de aluminio (mg/L)	45	45	40	35	30	25	20
Dosis óptima goma de tara (mg/L)	0	15	15	15	15	15	15
Turbiedad (UNT)	1.59	1.26	1.31	1.20	1.24	1.33	1.42
Promedio	1.72	1.33	1.26	1.12	1.34	1.29	1.46
pH	1.67	1.24	1.21	1.10	1.19	1.40	1.53
	1.66	1.28	1.26	1.14	1.26	1.34	1.47
	7.71	7.58	7.60	7.51	7.58	7.55	7.62

Fuente. Elaboración propia.

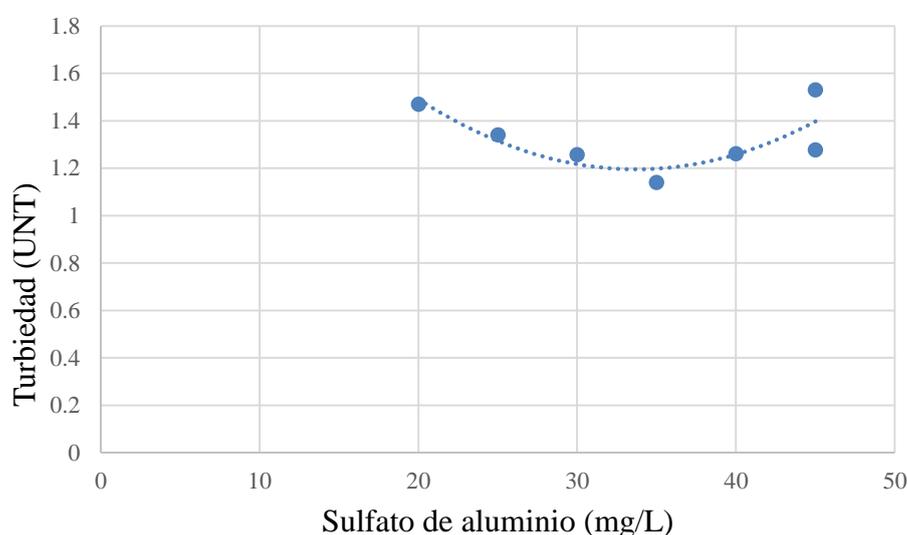


Figura 11. Turbiedad vs Dosis de mezcla de sulfato de aluminio y goma de tara.

Fuente. Elaboración propia.

En el ensayo de prueba de jarras, se observó que la goma de tara tiene una gran capacidad como ayudante de coagulación en la reducción de la turbidez del agua del río Ayaviri, esto se vio reflejada en los resultados obtenidos. Al utilizar el sulfato de aluminio

se logró reducir la turbiedad a 1.66 UNT promedio, mientras con la adición de la goma de tara se logró disminuir la turbidez del agua a 1.14 UNT; estos resultados oscilan entre los valores determinados en la investigación de Aguilar (2010), quién reporta que al añadir la goma de tara solubilizado la turbiedad encontrada inicialmente que fue de 390 UNT baja a 1.5 UNT que a diferencia del sulfato de aluminio que mostró una turbiedad de 3.4 UNT; corroborando que la tara si es eficaz como auxiliar de coagulación para la clarificación de aguas turbias.

Estos mismos resultados mostraron Perez & Linkolk (2017) exponiendo que, con este biopolímero la aglutinación de las partículas suspendidas es mejor; del mismo modo, Trujillo et al. (2014) en su investigación manifestaron que el polvo de la tara es un gran ayudante del proceso de coagulación por la gran capacidad que presenta de acelerar la formación de los flocs, además no genera volúmenes de lodo. Por otro lado, en estudios realizado por Vela (2016) afirman que el sulfato de aluminio es un coagulante que permite eliminar en gran cantidad sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados del agua, también, este autor menciona que, si el coagulante es mal empleado, es decir, si se excede la dosis, el resultado no sería el esperado y la clarificación del agua a tratar sería más complicado. Por otra parte existe evidencia que este reactivo, tiene relación con la enfermedad de Alzheimer en los seres humanos, debido a la presencia de aluminio residual en el agua tratada (Choque, et al., 2018), es por ello que hoy en día se vienen estudiando diversas especies vegetales entre ellas *Caesalpinia spinosa* como una alternativa de coagulación o como ayudantes de dicho proceso.

Cabe mencionar que la utilización de la goma de tara fue aprobada por el Servicio de Salud Pública europeo para su uso en el tratamiento de agua potable, junto con otros coagulantes como alumbre (potasio de sulfato aluminio) o el sulfato de aluminio, que es el coagulante más utilizado en plantas de tratamiento de aguas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusión

Se determinó que la goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) es un buen ayudante del proceso de coagulación, pues presentó valores de remoción de turbidez superiores a los que alcanzó el sulfato de aluminio, logrando disminuir la turbiedad del agua del río Ayaviri de 1.75 UNT a una turbiedad promedio de 1.14 UNT y un pH de 7.51. La dosis óptima que se determinó del sulfato de aluminio fue de 45 mg/L y de la goma de tara fue de 15mg/L, reduciendo la dosis del sulfato de aluminio a 35 mg/L, valores con el cual se logró la remoción de las partículas suspendidas en el tratamiento. Es importante mencionar que en la investigación que la temperatura con la que se trabajó (15°C) no tuvo relevancia en el tratamiento, es decir, no fue un inconveniente para demostrar la eficacia que presenta la tara como ayudante de coagulación.

La preparación de la solución de goma de tara como ayudante del proceso de coagulación se realizó de manera exitosa porque su elaboración fue sencilla a comparación de otros polímeros vegetales que necesitan solubilizarse con algún reactivo como el hidróxido de sodio (NaOH), mientras que la goma de tara solo necesitó de agua destilada para solubilizarse y actuar como auxiliar.

El agua del río Ayaviri presentó una turbiedad de 175 UNT; a temperatura de 15 °C y un pH de 7.73, esta muestra de agua no cumplió con el requisito del parámetro de turbiedad según el Estándar de Calidad Ambiental para Agua mediante el Decreto Supremo N° 004 – 2017, donde establece que la turbiedad debe ser de 5 UNT y un pH de 6.5 a 9, pero, una vez tratada el agua se logró reducir la turbiedad a 1.14 UNT promedio valor que si está dentro a lo establecido por el ECA de agua con respecto a turbiedad.

5.2. Recomendaciones

Es posible la aplicación del proceso de coagulación – floculación con almidones vegetales que son de fácil acceso e inoocuos, además que no alteran ni el pH, color ni sabor de las aguas a tratar brindando resultados muy eficientes en la disminución de turbiedad.

Para futuros estudios pueden tomarse en cuenta la dosificación de los polímeros naturales a diferentes temperaturas, las cuales nos pueden ofrecer alcances, que si es al ser aplicadas en tratamiento de clarificación del agua en zonas con más bajas temperaturas que el de este estudio presentan también una eficacia.

En cuanto al tipo de polímero natural se recomienda para futuros estudios de investigación se realice pruebas con los otros polímeros vegetales en aguas frías y ver si estas presentan la misma eficacia que en las aguas calientes, ya que los estudios realizados son en este tipo de aguas o por el lado norte.

REFERENCIAS

- Aguilar, E. (2010). Utilización de las semillas de tara (*Caesalpinia spinosa*) como ayudante de coagulación en el tratamiento de aguas. *Universidad Nacional de Ingeniería*, 178.
- Aldana, E. (2012). Uso del extracto de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano. *Universidad Nacional de Ingeniería*, 221.
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua: Coagulación y floculación. *SEDAPAL*, 44.
- Ayala, L., & Coronel, A. (2017). Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del refugio de vida silvestre pantanos de Villa utilizando semillas de *Caesalpinia spinosa* (Tara). *Universidad Nacional Federico Villarreal*, 98.
- Barba, L. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. *Universidad del Valle*, 51.
- Bravo, M. (2017). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 117.
- Bravo, M., & Gutiérrez, J. (2016). Remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas del río Pollo en Otuzco empleando semillas de *Caesalpinia spinosa* (Tara). *Universidad Nacional de Trujillo*, 93.
- Broncano, L., & Rosario, N. (2017). Eficiencia del *Tropaeolum Tuberosum* y la cáscara de *Solanum* como coagulante para la remoción de turbiedad, color y sólidos disueltos. en el río Lullán, provincia de Caraz, Ancash - 2016. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*, 171.
- Cayota, I., & Rodríguez, J. (2011). Estudio comparativo de Sulfato de Aluminio y semillas de *Moringa Oleífera* como coagulante para el tratamiento de aguas del río Santa. *Universidad Nacional de Trujillo*, 123.
- Chama, J. (2017). Evaluación del poder coagulante del almidon de la papa (*Solanum tuberosum*) var. única y el policloruro de aluminio para la remoción de la turbidez al ingreso de las aguas a la planta de tratamiento Samegua, Moquegua 2016. *Universidad José Carlos Mariátegui*, 67.
- CEPIS. (1975). Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd26/004200.pdf>
- CEPIS. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. *Plantas de filtración rápida (Tomo I)*. Lima.

- Choque, D., Choque, Y., Solano, A., & Ramos, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38 (2). ISSN: 2224-6185.
- Contreras, K., Corti, M., Durán, M., Contreras, J., De Sousa, J., & Escalante, M. (2008). El agua un recurso para preservar. *Universidad de Los Andes*, 32.
- Contreras, K., Salcedo, G., Olivero, R., Mendoza, G., & Aguas, Y. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Universidad de Sucre*, 57.
- Cordero, I. (2015). Respuesta ecofísica de *Caesalpinia spinosa*, Kuntze a condiciones abióticas y de manejo, como referente para la restauración y conservación del bosque de nieblas de Atiquipa (Perú). *Universidad Complutense de Madrid*, 344.
- Díaz, J. (2014). Coagulantes - floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra, para el tratamiento de aguas contaminadas. *Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán*, 172.
- Domínguez, M. (2010). Optimización de la coagulación - floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional Campoalegre - Cajasan. *Universidad Pontificia Bolivariana*, 68.
- García, V. (2011). Remoción de disruptores endócrinos y fármacos del agua residual del emisor central mediante un proceso de coagulación. *Universidad Autónoma de México*, 115.
- Gómez, K. (2010). Eficiencia del coagulante de la semilla de *Moringa oleifera* en el tratamiento de agua con baja turbidez. *Zamorano*, 32.
- Gómez, N. (2005). Remoción de la materia orgánica por coagulación - floculación. *Universidad Nacional de Colombia*, 88.
- Gusmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica* 16 (1) 253-262. ISSN: 0123-4226.
- Ibañez, G. (2012). Elaboración de un plan de manejo ambiental para la conservación de la sub cuenca del río Sn Pablo en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi. *Universidad Técnica de Cotopaxi*, 162.
- Martínez, J., & González, L. (2012). Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. *Universidad de Cartagena*, 96.
- Matamoros, A., & Yovana, T. (2017). Programa educativo "Agua segura" en el conocimiento sobre

- el consumo de agua en la comunidad de Callqui Chico, Huancavelica - 2017. *Universidad Nacional de Huancavelica*, 115.
- MINAM, 2017. *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones, D.S. N°004-2017*.
- Moreno, S. (2016). Disminución de la turbidez del agua del río Crissnejas en la comunidad de Chuquibamba - Cajabamba utilizando Opuntia ficus indica, Aloe vera y Caesalpinia spinosa. *Universidad César Vallejo*, 59.
- Ojeda, L. (2012). Determinación de la eficiencia de las características coagulantes - floculantes del Tropaeolum Tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS. *Univesidad Politécnica Salesiana*, 159.
- Perez, W. & Linkolk, J., 2017. Aplicación de un diseño factorial 24 en la remoción de turbiedad del Río Rímac mediante la coagulación y floculación usando goma de tara. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, III(3): 1-11.
- Ramirez, H., & Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento de agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 136 - 153. **ISSN:** 1900-4699.
- Restrepo, H. (2009). Evaluación del proceso de coagulación - floculación de una planta de tratamiento de agua potable. *Universidad Nacional de Colombia*, 109.
- Rodríguez, B. (s.f.). Metodología de análisis en el tiempo para evaluar la escasez de gua dulce en función de la oferta y de la demanda. Caso de estudio: Los países de la región del golfo de Guinea. *Universidad Politécnica de Cataluña*, 228.
- Sanabria, N. (2011). Extracción de goma de Tara a partir de semillas de Tara (Caesalpinia spinosa) y evaluación de sus propiedades reológicas. *Universidad Nacional del Centro del Perú*, 83.
- Sánchez, F. (2007). Tratamientos combinados físico - químicos y de oxidación para la depuración de aguas residuales de la industria corchera. *Universidad de Extremadura*, 708.
- Trujillo, D. et al, 2014. Remoción de tuerbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista ION* 27(1): 60-63. **ISSN:** 0120-100X
- Vela, C. (2016). Disminución de la turbidez utilizando coagulante natural Moringa oleífera en aguas obtenidas del río Alto Chicama, puente Ingón, Trujillo. *Universidad César Vallejo*, 57.
- Villa, M. (2011). Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río Yacuambi. Propuesta de tratamiento y control de la contaminación. *Universidad de Cádiz*, 110.

ANEXOS

Anexo A. Informe de laboratorio.



Universidad Peruana Unión
E.P. Ingeniería Ambiental



PRUEBA DE JARRAS

Introducción

El siguiente informe se realizó en base al ensayo de jarras cuya finalidad es determinar la dosis apropiada de la goma de tara como ayudante del coagulante inicial que se debe suministrar al agua para optimizar el proceso de sedimentación, este análisis simula los procesos de coagulación, floculación y sedimentación con diferentes dosis. A continuación, se presentarán los datos obtenidos en el laboratorio con una turbiedad inicial de 175 UTN, que posteriormente serán analizadas para determinar la dosis óptima del polímero natural que se debe suministrar al agua.

1. Objetivo

Determinar la dosis óptima del polímero natural como ayudante del coagulante inicial.

2. Procedimiento

2.1. Preparación de la solución de la goma de tara

En una balanza analítica se pesó la cantidad de 1 g. del polvo de la goma de tara, una vez pesada fue disuelta lentamente en un vaso precipitado de 200 ml de agua destilada para evitar grumos y obtener una solución homogénea, con ayuda de una bagueta. Con la primera solución obtenida se añadió a una fiola de 500 ml. Adicionándole agua destilada se agitó nuevamente para homogenizarla, la cual queda lista para ser usado como polímero natural, según la investigación realizada por Aguilar en el 2010.

2.2. Preparación de la solución sulfato de aluminio

Para preparar la solución del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ se pesó en una balanza 100 g. del mismo, el cual fue disuelto con agua destilada en una fiola de 1000 ml. obteniendo una solución al 10%, posteriormente se sacó 10 ml. de dicha solución y se aforo en una fiola de 100 ml. y así obtener una solución al 1%.

2.3. Determinación de la velocidad de agitación y tiempo de sedimentación

Para el presente estudio de investigación se tomó una velocidad de agitación rápida de 300 rpm con 5 segundos y una velocidad de agitación lenta de 40 rpm con 40 minutos con un tiempo de sedimentación de 20 minutos.



2.4. Determinación de la dosis, concentración y pH óptimo para el sulfato de aluminio

Para determinar la dosis óptima de coagulante primario $Al_2(SO_4)_3$ se realizó diversas pruebas añadiéndole diferentes dosis de forma creciente del coagulante para cada una de las jarras que contenían agua del río Ayaviri; enseguida se efectuó las pruebas para hallar la concentración óptima del coagulante y de igual modo para el pH óptimo, esto con la dosis óptima ya obtenida según el CEPIS.

2.5. Determinación de la dosis óptima de la solución de la goma de tara + el sulfato de aluminio

Para este proceso se efectuó con los datos ya hallados tanto de dosis, concentración y pH óptimo empleando el sulfato de aluminio como el coagulante primario. Para encontrar la dosis óptima de la goma de tara se agregó la misma dosis ya obtenida del coagulante sintético en todas las jarras, variando la dosis de la goma de tara (5, 10, 15, 20, 25 Y 30 mg/L) y con ello se obtuvo la dosis óptima del polímero natural tara.

2.6. Dosis óptima y reducción del sulfato de aluminio

Una vez encontrada la dosis óptima de la goma de tara y con la dosis óptima del sulfato de aluminio se procedió a realizar nuevas pruebas, en esta ocasión se disminuyó sucesivamente la dosis del coagulante primario (45, 40, 35, 30,25 mg/L) y se agregó la dosis óptima de la goma de tara constante en las jarras.

3. Equipos y materiales

3.1. Materiales

- Vasos precipitados de 1000 ml
- Vasos precipitados de 100 ml
- Jeringas
- Sifones
- Espátula
- Bagueta
- Frascos ámbar de plástico con tapa de 1L
- Bidones
- Pissetas
- Guantes
- Varilla
- Pipetas



- Balde

3.2. Reactivos

- Ácido clorhídrico
- Hidróxido de sodio
- Sulfato de aluminio
- Agua destilada

3.3. Equipos

- Balanza analítica
- Cronómetro
- Turbidímetro
- Equipo Test de jarras

4. Resultados

4.1. Dosis óptima del sulfato de aluminio

Jarra	PPM	Turbiedad final (UNT)		pH	Formación de flocs
		T1	T2		
1	5	47.6	46.4	7.9	0
2	10	17.08	13.93	7.3	0
3	15	12.83	12.15	8	0
4	20	4.96	4.98	8.1	2
5	25	3.56	3.65	7.91	2
6	30	2.43	2.37	7	2
7	35	1.88	1.80	6.70	2
8	40	1.76	1.77	6.4	2
9	45	1.6	1.51	6	2
10	50	1.92	1.87	6.7	2
11	55	2.07	3.00	7.7	2
12	60	3.65	3.75	6.9	2



4.2. Concentración óptima del sulfato de aluminio

Jarra	PPM / %	Turbiedad final (UNT)		pH	Formación de flocs
		T1	T2		
1	9 ppm (0.5%)	2.22	2.48	7.8	0
2	4.5 (1)	2.03	1.74	7.4	0
3	3 (1.5)	1.37	1.31	6.7	0
4	2.25 (2)	1.4	1.43	7.1	2
5	1.8 (2.5)	1.78	1.81	6.3	2
6	1.5 (3)	2.87	1.77	7.02	2

4.3. pH óptimo

pH	6.5	7	7.5	8	8.5	9
Turbiedad UNT	3.84	2.26	1.22	1.25	1.62	2.23

Fuente. Elaboración propia.

4.4. Dosis óptima de la goma de tara

Jarra	PPM	Turbiedad final (UNT)		pH	Formación de flocs
		T1	T2		
1	5	1.19	1.25	7.5	0
2	10	1.14	1.17	7.6	2
3	15	1.07	1.11	7.3	2
4	20	1.36	1.3	7	2
5	25	1.48	1.49	7.1	2
6	30	1.78	1.83	7.4	2

4.5. Dosis óptima de mezcla de sulfato de aluminio y goma de tara

Jarra	PPP (tara)	PPM Al ₂ (so ₄) ₃	Turbiedad final (UNT)			pH	Formación de flocs
			T1	T2	T3		
1	15	45	1.49	1.65	1.45	7.71	0
2	15	45	1.26	1.33	1.24	7.58	2
3	15	40	1.31	1.26	1.21	7.6	2
4	15	35	1.2	1.12	1.1	7.51	2
5	15	30	1.24	1.34	1.19	7.58	2
6	15	25	1.33	1.29	1.40	7.55	2
7	15	20	1.42	1.46	1.53	7.62	2



Universidad Peruana Unión
E.P. Ingeniería Ambiental



5. Conclusión

Se determinó que la goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) como un ayudante en el tratamiento de coagulación – floculación presenta una gran capacidad para acelerar la formación de los flóculos y con ello la sedimentación de los coloides fue más rápido, con una turbiedad inicial de 175 UNT a una concentración de la goma de tara de 0.2 % corroboramos la eficiencia de este polímero vegetal en la disminución de la turbiedad de aguas del río Ayaviri.

Anexo B. Índice de Willcomb

Número del índice	Descripción
0	Flóculo coloidal. Ningún signo de aglutinación
1	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado
2	Disperso. Flóculo bien formado pero uniformemente distribuido (sedimenta lentamente o no sedimenta)
3	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud
4	Bueno. Flóculo que se deposita fácil pero no completamente
5	Excelente. Flóculo que se deposita completamente dejando el agua cristalina

Anexo C. Panel fotográfico



Figura 1. Equipo turbidimetro



Figura 2. Sifones.



Figura 3. Homogenizando la muestra de agua del río Ayaviri.

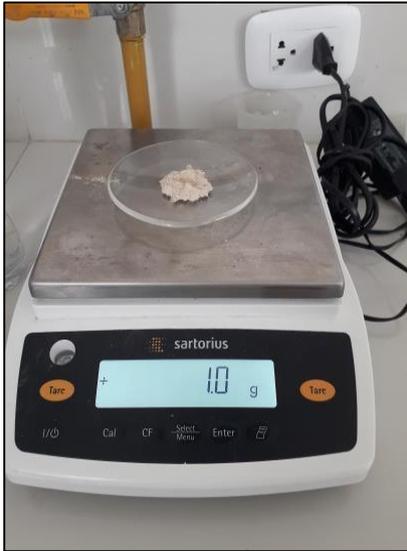


Figura 4. Pesado del polvo goma de tara.



Figura 5. Pesado del sulfato de aluminio.



Figura 5. Preparación de dosis de sulfato de aluminio



Figura 7. Adicionando la solución de goma de tara al agua a tratar.



Figura 8. Sedimentación de los sólidos suspendidos luego del tratamiento.



Figura 9. Modificando el pH del agua



Figura 10. Jeringas con sulfato de aluminio y goma de tara.



Figura 11. Sacando agua del tratamiento para su análisis.



Figura 12. Midiendo la turbiedad del agua tratada.



Figura 13. Medición del punto de muestreo



Figura 14. Lugar del punto de muestreo de agua.