

**Remoción de metales pesados en el proceso de coagulación- floculación de aguas
residuales industriales mediante el uso del tanino modificado de Acacia**

Diana Lorena Lugo Castañeda

**Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Ciencias
Departamento de Microbiología
Bogotá D.C.
Noviembre 27 del 2017**

NOTA DE ADVERTENCIA

ARTÍCULO 23 DE LA RESOLUCIÓN No.13 DE JULIO DE 1946.

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus tesis. Solo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque la tesis no contenga ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo por buscar verdad y justicia”.

Agradecimientos

A Dios por permitirme llevar acabo cada uno de los objetivos propuestos para finiquitar con éxitos este proyecto.

A mi director, codirector y asesor Andrés Ortiz, por todos sus conocimientos impartidos, el apoyo y la confianza que me dieron durante el proceso educativo y desarrollo del presente trabajo.

A la Pontificia Universidad Javeriana y especialmente a la Vicerrectoría de Investigación por su apoyo a través de los proyectos ID 00005874 y 00007223.

A mi familia por su apoyo moral, emocional e incondicional en todas las etapas de mi vida.

Tabla de contenido

1	Tabla de contenido	
2	Índice de tablas	8
3	Índice de figuras	9
4	Resumen.....	10
5	Introducción	11
6	Justificación	13
7	Marco Teórico	16
7.1	Metales pesados	16
7.1.1	Mercurio.....	16
7.1.2	Cobre	17
7.1.3	Cromo	17
7.2	Marco legal.....	17
7.3	Coagulación-Floculación.....	18
7.3.1	Fases del proceso de coagulación	19
7.3.2	Mecanismos de coagulación- floculación	20
7.4	Taninos	22
7.5	Reacción de Mannich	22
7.6	Test de Jarras.....	23
7.7	Absorción atómica.....	24
7.8	Analizador directo de mercurio DMA-80	24
7.9	Método Kirby- Bauer	25
8	Objetivos	26
8.1	Objetivo general.....	26
8.2	Objetivos específicos.....	26
9	Metodología	27
9.1	Muestreo	27
9.2	Caracterización fisicoquímica del agua	29
9.2.1	Determinación color aparente	30
9.2.2	Determinación del color real.....	31

9.2.3	-Turbidez	31
9.2.4	Solidos totales	31
9.2.5	Solidos sedimentables.....	32
9.2.6	Solidos suspendidos	32
9.2.7	Demanda química de oxígeno.....	32
9.2.8	Fosforo	33
9.3	Modificación del tanino	33
9.4	Test de jarras.....	34
9.5	Determinación de metales pesados.....	34
9.5.1	Determinación de mercurio	35
9.6	Actividad antimicrobiana	36
10	Resultados y discusión	37
10.1	Remoción de Cobre	37
10.2	Remoción de cromo	39
10.3	Remoción de mercurio.....	40
10.4	Remoción de turbidez	42
10.5	Remoción de Materia Orgánica	43
10.6	Remoción de Solidos Suspendidos Totales	45
10.7	Metales y parámetros convencionales bajo óptimas condiciones.	46
10.8	Porcentaje de remoción de cobre y cromo sin materia orgánica.....	47
10.9	Porcentaje de remoción en presencia de los metales Cu y Cr.....	48
10.10	Remoción de diferentes concentraciones de mercurio	49
10.11	Actividad antimicrobiana de TAM.....	50
11	Conclusiones.....	52
12	Recomendaciones	53
13	Bibliografía	54

2 Índice de tablas

Tabla 1 Caracterización del agua residual mese antes de los ensayos con TAM.....	28
Tabla 2 Concentraciones de metales antes de los ensayos con TAM	28
Tabla 3 Protocolos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos	29
Tabla 4 Protocolos para la determinación de la concentración de los metales.....	30
Tabla 5 Concentración inicial, final y porcentaje de remoción bajo condiciones optimas	37
Tabla 6 Porcentaje de remoción de cobre y cromo cuando se encuentran juntos	48
Tabla 7 Diámetro de los halos de inhibición por las diferentes concentraciones de TAM	50

3 Índice de figuras

Figura 1 Esquema del proceso de coagulación (Cardenas,2000).....	19
Figura 2 Estructura general de un tanino (D. Santos et al., 2016).....	22
Figura 3 Representación esquemática de la reacción de Mannich (D. Santos et al., 2016)	23
Figura 4 Curva de calibración para la cuantificación de cobre	35
Figura 5 curva de calibración para la cuantificación de cromo.....	35
Figura 6 Curva de calibración para la cuantificación de mercurio.....	36
Figura 7 Porcentaje de remoción de cobre del agua residual industrial	38
Figura 8 Porcentaje de remoción de cromo en agua residual industrial.....	39
Figura 9 Porcentaje de remoción de mercurio del agua residual de la industria	41
Figura 10 Porcentaje de remoción de turbidez del agua residual industrial, después del tratamiento con TAM.....	42
Figura 11 Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO), después del tratamiento con TAM.....	44
Figura 12 Porcentaje de remoción de solidos suspendidos totales (SST), después del tratamiento con TAM.....	45
Figura 13 Porcentaje de remoción de los diferentes parámetros evaluados a pH básico (9).....	46
Figura 14 Porcentaje de remoción de los metales cobre y cromo con y sin materia orgánica con una dosis de 3mL de TAM.....	47
Figura 15 Porcentajes de remoción de mercurio a diferentes concentraciones en condiciones óptimas con TAM	49

4 Resumen

Uno de los recursos ambientales que más se ha visto afectado por la industrialización es el agua, el cual es un elemento vital para la vida y que se debe preservar, cuidar y descontaminar cuando se requiera. Actualmente, con las diferentes legislaciones que se han propuesto para mitigar el impacto ambiental, el ser humano está en la tarea de buscar nuevas estrategias para el mejoramiento de los procesos que se utilizan hoy en día para tratar los efluentes tanto domésticos como industriales. Hoy en día, los efluentes de las diferentes industrias contienen altas concentraciones de metales pesados, los cuales son tóxicos, por ello se buscan tratamientos para su remediación y que sean de bajo costo, que no generen un problema ambiental adicional y que sean de fácil manejo. Un proceso ampliamente utilizado es la coagulación-floculación, cuyo propósito principal es disminuir la cantidad de materia orgánica, y material coloidal en los efluentes. Este proceso se puede mejorar sustituyendo las sales que actualmente se utilizan (sulfato de aluminio y de hierro) por taninos modificados, siendo sus principales ventajas: disminuir el impacto ambiental, evitar sustancia trazas que generen efectos en la salud del ser humano, remover materia orgánica, partículas coloidales y a su vez disminuir las concentraciones de metales. Por esta razón, el objetivo del presente estudio fue evaluar la capacidad del tanino modificado de la Acacia (TAM), para remover los metales pesados Cu, Cr y Hg en muestras de agua residual industrial, mediante el proceso de coagulación-floculación. Para este fin, se evaluó el tanino modificado mediante la reacción de Mannich a pH ácido (4), neutro (7) y básico (9) probando dosis de TAM 3ml, 6ml, 10ml y 13ml al 1%, 2%, 3,3% y 4,3%. Al. Como resultado se removió un 56% de cobre, 89% de cromo, 50% de mercurio con una concentración inicial de 70 ppb y 97% de mercurio cuando la concentración inicial corresponde a 5 ppm, y a su vez se determinó que remueve el 88% de sólidos suspendidos totales y 90% de materia orgánica, bajo condiciones óptimas de pH básico (9) y una dosis de TAM de 3 mL. Por lo tanto, concluimos que el tanino es eficiente no solo para disminuir los parámetros convencionales de la calidad de aguas que se reducen mediante el proceso de coagulación- floculación, sino que también se logran disminuir significativamente el cromo, cobre y mercurio a pH básico y con una dosis mínima de 3mL del tanino modificado Acacia (TAM).

5 Introducción

Los metales pesados son un serio problema para los seres humanos y los diferentes ecosistemas debido a la toxicidad y las consecuencias que conllevan cuando estos elementos se encuentran en altas concentraciones. Los metales pesados no son biodegradables y se deben buscar técnicas para disminuir la concentración de estos metales en los efluentes industriales arrojados a los cuerpos hídricos, y a los que no se les hacen un tratamiento previo. Actualmente se han desarrollado diversas técnicas mediante las cuales se puede disminuir o eliminar diferentes metales pesados, los cuales tienen ventajas y desventajas. Uno de los tratamientos en aguas residuales en países en vía de desarrollo es la coagulación- floculación, debido a su bajo costo y fácil operación. Esta técnica se caracteriza por ser utilizada para la remoción de sólidos y de materia orgánica.

Para llevar a cabo el proceso de coagulación-floculación actualmente se utilizan sales férricas o de aluminio, las cuales según diferentes estudios poseen dos grandes desventajas, la primera es que los lodos resultantes del proceso no son amigables con el medio ambiente y la segunda, que se ha reportado es que las sustancias utilizadas dejan compuestos trazas de aluminio que no son eliminadas por ningún tratamiento las cuales están relacionadas con enfermedades neurodegenerativas en los seres humanos, más específicamente Alzheimer. Actualmente se están estudiando diferentes sustancias que sustituyan las sales que se utilizan en este proceso y que sean eficientes, amigables con el medio ambiente y que no tengan efectos sobre la salud. Una de estas sustancias son los taninos, que se clasifican como biopolímeros provenientes de la corteza, hojas o frutas de las plantas.

La metodología que se llevó a cabo en el presente trabajo para evaluar si mediante el proceso de coagulación-floculación con el tanino modificado de Acacia, removía los metales cobre, cromo y mercurio, consistió: en evaluar la concentración inicial de los metales a estudiar en la muestra de agua residual industrial. Para la cuantificación inicial, se realizó una digestión previa en microondas a la muestra de agua, con el fin de eliminar la materia orgánica, que es

uno de los interferentes para la técnica analítica de absorción atómica (AA240FS, Varian). Seguido de la digestión, se realizó la cuantificación de cobre y cromo utilizando curvas de calibración para cada metal. En el caso específico del mercurio, se omitió el proceso de digestión y se cuantificó el metal por medio de un analizador directo de mercurio (DMA80, Milestone). Para validar la remoción de los metales, la muestra de agua industrial se dopó con estándares de cobre, cromo y mercurio grado absorción atómica (Merck Inc.), para llevar a concentraciones reportadas en la literatura para aguas industriales de metalurgias, galvanoplastia, electrónica, baterías, pinturas y pigmentos, fundición, extracción de metales en otras debido a las bajas concentraciones presentadas inicialmente. Seguido se realizó la modificación del tanino Acacia mediante la reacción de Mannich, adicionando formaldehído y cloruro de amonio (Arismendi, 2016). Para evaluar la eficiencia de TAM se evaluaron dos variables, el pH (ácido 4, neutro 7 y alcalino 9) y la dosis del coagulante (3, 6, 10 y 13 mililitros) de la solución stock de 50.000 ppm y el tratamiento se realizó por test de jarras. El agua tratada se valoró nuevamente por absorción atómica para determinar los metales cobre y cromo y por DMA 80 para mercurio. Luego de obtener las concentraciones finales, se compararon con la concentración inicial, se realizan cálculos y se determinan el porcentaje de remoción de cada uno de los metales. Cada experimento se realizó por duplicado. Adicionalmente se valoró el porcentaje de remoción de materia orgánica (Demanda química de oxígeno), sólidos suspendidos totales, turbidez. Se obtuvo como resultado que el tanino modificado Acacia es eficiente en el proceso de remoción de los metales cobre, cromo y mercurio y las condiciones óptimas para obtener el mayor porcentaje de remoción de todos los metales son a un pH alcalino (9) y con una dosis de 3 mililitros de la solución stock.

6 Justificación

Actualmente existen una gran variedad de técnicas para la remoción de metales pesados en aguas residuales, con una gran variabilidad de costos y métodos operativos, que en algunos casos no facilitan su uso, por ello, y teniendo en cuenta que Colombia es un país en vía de desarrollo y que sus fuentes hídricas están de algún modo contaminadas con metales pesados, especialmente aquellas que se encuentran en zonas más vulnerables, se necesita de técnicas novedosas con mejores resultados en menos tiempo y que los procedimientos sean fáciles para los operadores. Una de las técnicas más utilizadas actualmente es el de coagulación floculación, la desventaja de este procedimiento consiste en las sales metálicas que se utilizan y que están relacionadas con enfermedades como el Alzheimer, generan una gran cantidad de lodos metálicos incrementado costos al proceso y que no son amigables con el medio ambiente; por ello, se busca sustituir estas sales por unas que no tengan efectos secundarios sobre la salud de la población, que sean amigables con el medio ambiente, económicos y de fácil uso y estas características las ofrecen los taninos.

El desarrollo industrial es notable en nuestro país, al igual que el deterioro del medio ambiente en especial de los ecosistemas acuáticos, debido a que no se realizan los tratamientos pertinentes a los efluentes de las diferentes industrias, que en muchos casos son los responsables de la contaminación de las fuentes hídricas. Aunque cada vez crean legislaciones más estrictas y más específicas para cada una de las industrias, en la mayoría de los procesos estandarizados para el tratamiento primario de los efluentes es usada la coagulación-floculación. Con el fin de buscar alternativas a las sales usadas en tratamiento primario, se busca el uso de productos naturales como potenciales coagulantes floculantes, para esto se debe realizar diferentes estudios con la finalidad de mejorar la eficiencia y la eficacia de esta técnica usando especialmente taninos provenientes de plantas.

Los efectos negativos en el ecosistema acuático por el cromo se encuentran alteraciones en el sistema endocrino, respiratorio y reproductivo de los animales acuáticos, daño en las agallas de los peces y es cancerígeno para animales pertenecientes a este ecosistema (Gallo

Maia, 2010; Lenntech, n.d.-b) . En cuanto al cobre, las altas concentraciones de este metal pueden generar la disminución de la flora y producir una pérdida en la biodiversidad, a su vez influye en la actividad de los microorganismos debido a que destruye o altera los ácidos nucleicos (ADN) de las bacterias generando que los microorganismos pierdan la capacidad de reproducirse. Las altas concentraciones de este metal produce daños morfológicos, afecta las actividades metabólicas de los organismos acuáticos como el transporte de sodio y tiene efecto sobre los órganos del sistema respiratorio de estos (Gustavo, n.d.). En cuanto al mercurio, los problemas que se generan a nivel ambiental se relacionan con la habilidad que tienen los microorganismos de tomar el mercurio y transformarlo en metilmercurio, sustancia que es fácilmente absorbida por los diferentes organismos y genera daños en el sistema nervioso, a su vez en metilmercurio provoca en los animales daños a nivel de riñones, estómago, problemas en la reducción y alteraciones en el ADN ((Lenntech, n.d.-c).

En cuanto a los efectos a nivel de salud pública se ha encontrado que el cromo puede generar erupciones cutáneas. En su forma más tóxica el cromo hexavalente, es considerado cancerígeno, causando cáncer de pulmón, y a la vez puede generar debilitamiento en el sistema inmune y alteraciones en el material genético (Lenntech, n.d.-b). Por otra parte los efectos en la salud que genera el cobre se encuentran: dolores de cabeza, estómago, genera una gripa conocida como la fiebre del metal y genera daños severos, irreversibles y a largo plazo en órganos vitales como riñones e hígado (Departamento de Salud y Servicio Humanos, 2016). En cuanto al mercurio al ser considerado uno de los metales más tóxicos genera daños en el sistema nervioso, irritaciones en pulmones y ojos, daños en el ADN y cromosomas, daños a nivel reproductivo, defectos en neonatales y abortos. De manera más específica en cuanto a los daños en el cerebro puede generar pérdidas en la habilidad de aprendizaje, cambios en la personalidad, temblores, sordera, no hay coordinación muscular y pérdida de memoria (Lenntech, n.d.-c).

Actualmente se le ha dado gran importancia a todo lo relacionado con el medio ambiente, puesto que el hombre en su progreso a nivel industrial ha conllevado a un desequilibrio y deterioro notable en su entorno especialmente el agua, el cual es considerado como un compuesto esencial para la vida, por ello diversas organizaciones especializadas en el medio ambiente le han dado prioridad en su uso y aprovechamiento con el fin de tomar las medidas

pertinentes para recuperar, cuidar y prevenir más daños en los cuerpos hídricos.(World Wide Fund for Nature, n.d.)

Debido a las nuevas legislaciones que han surgido con el fin de disminuir la contaminación de las fuentes hídricas, se han generado nuevas tecnologías con el ánimo de disminuir el impacto que producen los efluentes industriales en este recurso. En Colombia industrias tales como la metalúrgica, la química, la farmacéutica, las curtiembres, entre otras, son las industrias que vierten aguas con altas concentraciones de metales pesados y son las responsables directas de la muerte de los ecosistemas acuáticos y de poner en riesgo la salud e integridad de diferentes seres vivos incluyendo al hombre (Greenpeace, 2011).

El presente trabajo busca sustituir las sustancias químicas metálicas que se utilizan en este proceso unitario de coagulación- floculación, por taninos modificados que son floculantes naturales, de carácter orgánico y amigable con el medio ambiente por su posible biodegradación, de bajo costo y que no tienen efectos secundarios sobre la salud.

7 Marco Teórico

7.1 Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos que tienen pesos atómicos entre 63.5 y 200.6 con gravedad específica superior a 5 (Fu & Wang, 2011). Estos elementos se caracterizan por que a bajas concentraciones son tóxicos, no son degradables ni biodegradables, se acumulan en los tejidos de los diferentes seres vivos, por lo que se consideran nocivos para la salud. Algunos de estos metales son considerados como micronutrientes para animales y plantas y otros se caracterizan por ser esenciales únicamente para los animales, el problema es que dejan de tener un efecto benéfico cuando las concentraciones de estos sobrepasan ciertos límites ya sea por acciones del medio ambiente y por actividades del hombre y se convierten en tóxicos, pueden llegar a ser cancerígenos (Rubio, Calderón, Gualtero, Acosta, & Rojas, 2015), y se relacionan con enfermedades como el Alzheimer. Los metales pesados que son vertidos al medio ambiente cuando diferentes actividades industriales utilizan estos metales en sus diferentes procesos de producción, por lo general las diferentes industrias hacen tratamientos estándares a los efluentes antes de verter a las fuentes hídricas, el problema radica en que esos procedimientos, en algunos casos no son tan eficientes para la remoción de los metales pesados (Ying & Fang, 2006).

7.1.1 Mercurio

Es considerado como el más tóxico de los metales que se encuentran en las aguas residuales. La toxicidad depende de la forma en la que se encuentre el mercurio, siendo estas, el mercurio elemental, el catión mercurio o el óxido mercurio (Carolin, Kumar, Saravanan, Joshiba, & Naushad, 2017). El mercurio se incorpora en la cadena alimenticia cuando queda acumulado en los tejidos de los seres vivos, esto se facilita cuando se encuentra metilado, es decir, como metil mercurio (Universidad, Bogotá, Ingeniería, & Geofísico, 2016). Este metal trae consecuencias no solo a nivel ambiental sino también a nivel de salud ya que afecta los riñones, el cerebro, el sistema reproductivo y respiratorio de los seres humanos (Carolin et al., 2017).

7.1.2 Cobre

El cobre es un metal que se encuentra en agua, aire y suelo, y es considerado como un elemento esencial para la salud de los seres vivos. En la actualidad la concentración de este metal en diferentes ambientes ha aumentado considerablemente por su amplia aplicación a nivel industrial, al igual que en la agricultura por su presencia en algunos fertilizantes. El metal cobre, al igual que el mercurio, se empieza a acumular en los diferentes seres de diferentes cadenas tróficas, generando problemas, a nivel ambiental y de salud pública(Lenntech, n.d.-a)

7.1.3 Cromo

Es un elemento que se encuentra en el medio ambiente debido a dos vías: natural y antropogénica, este metal se encuentra de forma natural en las rocas, plantas y suelos, y de manera antropogénica debido a los vertimientos de industrias mineras, de cuero, pigmentos entre otras industria(Gallo Maia, 2010). Este metal posee diferentes estados de oxidación, cromo elemental (0), cromo trivalente (III) y cromo hexavalente (IV). Esta última es considerada la forma más tóxica del cromo siendo responsable del cáncer de pulmón. El cromo en altas concentraciones también puede producir otras patologías a los seres humanos tales como alergias erupciones cutáneas, efectos negativos en hígado y riñón. En cuanto a los efectos sobre los ecosistemas acuáticos se encuentra primero, el cromo produce un daño en las agallas de los peces y segundo en otros seres acuáticos genera problemas respiratorios (Lenntech, n.d.-b).

7.2 Marco legal

Teniendo en cuenta que el agua es el recurso más importante a nivel mundial, los diferentes países han creado leyes con la finalidad de proteger este recurso disminuyendo la contaminación. En Colombia el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Resolución 0631 del 2015 “Establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”(Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015). En esta resolución se especifican los valores máximos permisibles para aguas domésticas y no domésticas, teniendo en cuenta el origen de la muestra el capítulo de interés de la presente resolución corresponde al número VI en el cual se determinan los

“parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas (ARND) a cuerpos de aguas superficiales”(Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015). El capítulo nombrado anteriormente y teniendo en cuenta que los efluentes de las diferentes industrias pueden variar unos de otros, el capítulo de la resolución se divide por sectores como: agricultura, ganadería, actividades hidrocarburos, actividades de elaboración de productos alimenticios y bebidas, actividades de fabricación y manufactura de bienes y actividades asociadas con servicios y otras actividades, los sectores nombrados anteriormente se dividen y son específicos para cada industria.

7.3 Coagulación-Floculación

Es un método altamente usado para la separación de material particulado de un líquido, el cual es comúnmente utilizado en el tratamiento de los efluentes de las diferentes industrias. Cuando se habla de coagulación se hace referencia al proceso mediante el cual se elimina la doble capa eléctrica que poseen las partículas coloidales suspendidas en el medio acuoso y por otra parte se entiende como floculación al proceso en el que se aglomeran las partículas desestabilizadas posteriormente en la coagulación (Rubio et al., 2015). Para llevar a cabo este proceso se utilizan sustancias denominadas coagulantes, las cuales son por lo general sales metálicas inorgánicas tales como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico y floculantes poliméricos (Lee, Robinson, & Chong, 2014).

Cuando se adicionan los reactivos pertinentes ya sea coagulantes y/o floculantes o solo floculantes, lo que ocurre primero es una neutralización de cargas como consecuencia de la coagulación y seguido de ello se aglomeran las partículas que luego se precipitaran por acción del fenómeno de la floculación (Black & Nations, 2010).

El sulfato de aluminio que se utiliza actualmente para llevar a cabo estos procesos, han mostrado tener efectos secundarios y riesgos para la salud del ser humano y otros seres, debido a su actividad neurotóxica sobre estos (Flaten, 2001), siendo un factor predominante en el desarrollo de la enfermedad neurodegenerativa conocida como Alzheimer. Entre las sustancias que han surgido como propuesta para sustituir las sales se encuentran los bio-floculantes, los cuales son polisacáridos o polímeros naturales entre los que se encuentran el quitosano, la celulosa, el alginato de sodio, los taninos, entre otros. Una de las grandes ventajas de estas sustancias sobre las sales utilizadas es que son amigables con el medio

ambiente ya que los lodos resultantes del proceso de coagulación- floculación son de fácil biodegradabilidad por microorganismos (Lee et al., 2014)

7.3.1 Fases del proceso de coagulación

El proceso de la coagulación se da en cinco etapas, en cuestión de milisegundos. La primera fase consiste en la desestabilización de las partículas por acción del coagulante; la segunda fase es la precipitación y formación de compuestos químicos que sufrirán una polimerización más adelante; la tercera fase radica en que las partículas coloidales desestabilizadas previamente, son adsorbidas por las cadenas poliméricas; en cuanto a la cuarta fase se refiere al transporte de las partículas ya desestabilizadas y adsorbidas y la quinta fase hace referencia a la precipitación por peso (Acosta, 2006).

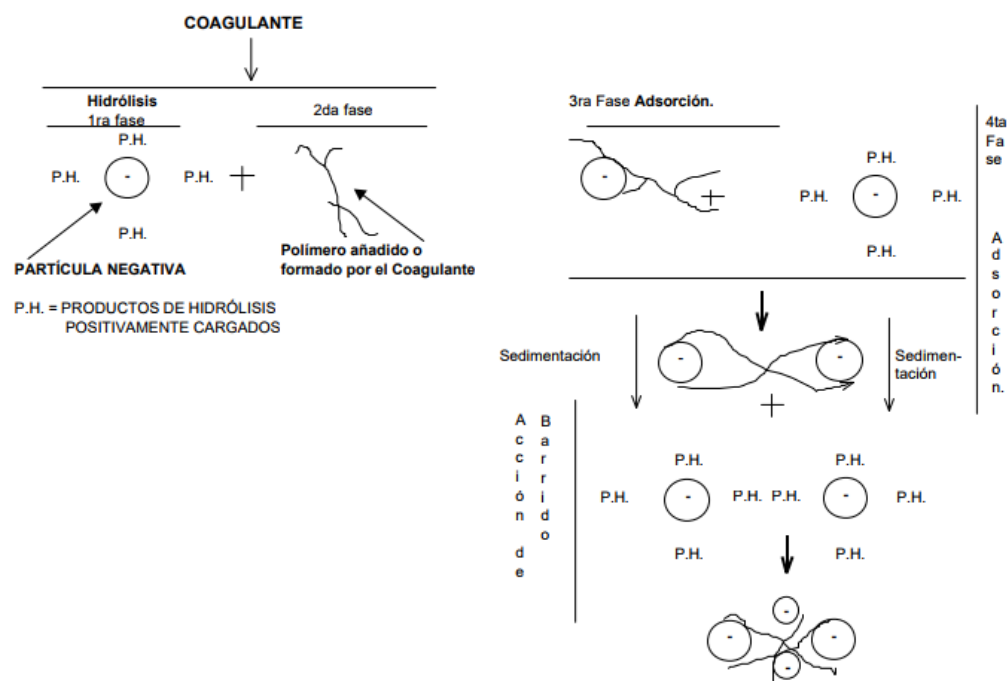


Figura 1 Esquema del proceso de coagulación (Cardenas,2000)

7.3.2 Mecanismos de coagulación- floculación

Entre los mecanismos que explican el cómo se lleva a cabo el proceso de coagulación-floculación se encuentran: compresión de la doble capa, precipitación – neutralización de la carga, captura de un precipitado de hidróxido metálico también conocido como captura por barrido y adsorción y puente interparticular.

7.3.2.1 Compresión de la doble capa

Este modelo consiste en la desestabilización de las cargas de un coloide, durante el transcurso de la historia se generaron tres teorías para explicar este fenómeno, la primera fue propuesta por Helmholtz en 1879 en la cual él sugería que un número de iones positivos se situaban al redor del coloide hasta generar neutralización de las cargas generando una capa adherida, pero al pasar los años en 1910, Gouy, sugirió que lo que se forma es una capa difusa debido a la agitación térmica que tiene el líquido lo cual tiende a separar los contra iones de la parte superficial del coloide y Stern en 1924 sugirió que era posible la existencia tanto de la capa adherida como de la capa difusa (Arboleda, 1981).

Teniendo en cuenta todas las teorías anteriores el mecanismo de la compresión de la doble capa se explica de la siguiente manera: la desestabilización electrostática se debe a que dominan las fuerzas de Van der Waals esto sucede ya que al existir una alta concentración de iones positivos y negativos se genera un incremento de iones en la capa difusa y para que la partícula se mantenga eléctricamente neutra disminuye su volumen generando la prevalencia de las fuerzas de Van der Waals generando así la desestabilización (Barrenchea, n.d.).

7.3.2.2 Neutralización de cargas

El material coloidal que se encuentra suspendido en el agua tiene carga negativa en el momento en que se adiciona el coagulante y este se solubiliza se liberan iones positivos los cuales se unen con los iones negativos de las partículas y se genera una neutralización (Mangini, s; Prendes, P; Amsler, H; Huespe, 2003) este fenómeno se puede explicar de

dos maneras el primero consiste en se produce un cambio en las concentraciones de los iones responsables del potencial Z y la segunda vía por la que se puede generar la neutralización es por un método de absorción entre los iones adicionados con carga positivos y los iones que son responsables del potencial, al ocurrir esta absorción esta nueva unión reemplaza a los iones que se encuentran en la capa compacta (Reyes, 2016)

7.3.2.3 Captura en un precipitado de Hidroxido Metalico

Este mecanismo consiste en la formación de un floculo, lo cual es un precipitado que se forma de la unión de las partículas coloidales y las moléculas de las sales metálicas trivalente que se utilizan frecuentemente en la coagulación. Las partículas coloidales forman una especie de anillo sobre las sales que por lo general son sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, o cloruro férrico $FeCl_3$. La cantidad de coagulante que se debe adicionar es proporcional a la turbidez que posea el agua (Cardenas, 2000).

7.3.2.4 Adsorción y puente interparticular

En la actualidad se están utilizando compuestos orgánicos naturales como coagulantes entre los cuales se encuentran los polímeros que son moléculas en forma de cadena conformada por diferentes compuestos químicos que tienen el poder de absorber partículas coloidales.(Cardenas, 2000). Los polímeros se pueden clasificar en: catiónicos, aniónicos, no iónicos y anfóteros. De manera general independientemente del tipo de polímero en este mecanismo pueden ocurrir tres reacciones: la primera consiste en que ciertos grupos del polímero interaccionan con el material coloidal y el resto de la molécula que no reacciona se extiende por la solución, esta parte que se dilata puede reaccionar con los sitios de adsorción de una segunda molécula y esa sería la segunda reacción, donde se forma un puente entre el complejo de partículas, es decir el que se formó en la reacción uno, con el polímero y una nueva partícula. Y la tercera reacción que puede ocurrir es en caso que no exista una segunda partícula lo que ocurre es que la parte de la molécula que se dilata se absorba con otros lados de la misma molécula, produciendo una reestabilización de la partícula(Vargas, 2004)

7.4 Taninos

Los taninos son polímeros aniónicos biodegradables (Özacar & Şengil, 2003). Estas sustancias provienen generalmente de las plantas, específicamente de las hojas, los frutos y la corteza. Son estructuralmente complejos, poseen pesos moleculares entre 500 y 1000 daltons (Beltrán-Heredia, Sánchez-Martín, & Dávila-Acedo, 2011). Se han realizado diversos estudios donde se demuestra la capacidad que tienen estas sustancias para actuar como coagulantes/floculantes en plantas de tratamiento de las aguas residuales (Özacar & Şengil, 2003). Los taninos cuentan con la ventajas de ser biodegradables, por otro lado, se encuentran ampliamente disponibles y son de fácil uso, todas estas ventajas las presentan sobre los coagulantes-floculantes inorgánicos (Beltrán Heredia & Sánchez Martín, 2009).

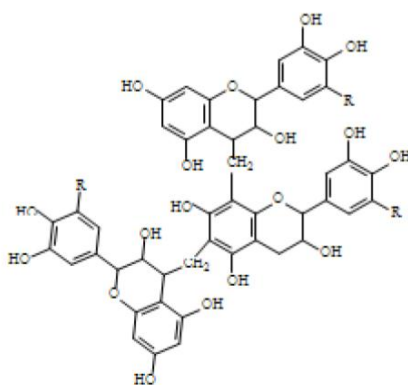


Figura 2 Estructura general de un tanino (D. Santos et al., 2016)

7.5 Reacción de Mannich

La modificación que se le realiza a los taninos consiste en un proceso físico-químico mediante el cual se agregan nitrógenos cuaternarios a la estructura del tanino lo cual confiere un estado catiónico (Beltrán-Heredia et al., 2011). La modificación se presenta bajo el mecanismo de la reacción de Mannich la cual es una amino-metilación y que para la cual se necesitan tres agentes reactantes: la mezcla del tanino, un aldehído y un compuesto amino. Por lo general como aldehído se utiliza el formaldehído y como compuestos amino se utiliza amoníaco o aminas primarias o secundarias (Chemistry,

2009). Y como resultado se obtiene un polímero con mayor peso molecular.

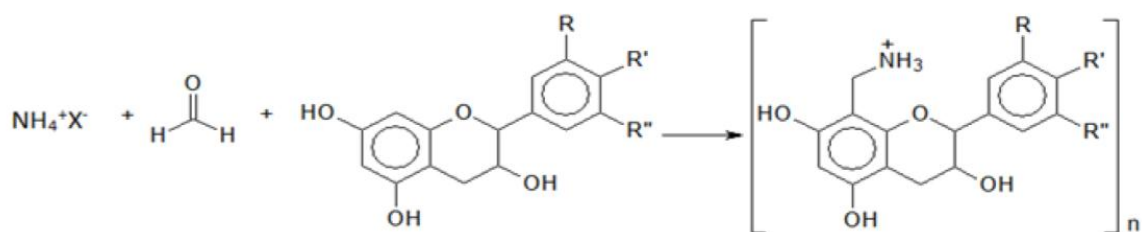


Figura 3 Representación esquemática de la reacción de Mannich (D. Santos et al., 2016)

7.6 Test de Jarras

Es una técnica utilizada aproximadamente desde los años 50 para la optimización del proceso de coagulación – floculación. Mediante este procedimiento se puede determinar: la dosis necesaria del coagulante o floculante para llevar un proceso eficiente y eficaz de coagulación- floculación, el tiempo y la velocidad de agitación y para determinar cuál es el pH óptimo para el proceso (Ebeling, Rishel, & Sibrell, 2005). Esta técnica se utiliza ampliamente para el tratamiento de aguas residuales, a nivel de investigación esta metodología se utiliza para buscar y determinar las condiciones apropiadas de nuevas sustancias que sustituyan los químicos que se emplean actualmente y a nivel industrial se utiliza en las diferentes plantas de tratamiento para determinar el comportamiento de nuevos coagulantes floculantes, el comportamiento de este los efluentes producidos y determinar costos y beneficios ante las sustancias que utilicen. El equipo en cual se lleva a cabo esta técnica tiene 4 o 6 paletas de acero inoxidable todas adecuadas de tal manera que todas giran al mismo tiempo y a las mismas revoluciones a las cuales se programa el equipo. El aparato termite ajustar el tiempo y la velocidad de agitación del ciclo, mediante un panel digital. (Navarro, 2015)

7.7 Absorción atómica

La técnica se llama espectrometría de absorción atómica, la cual es utilizada para la cuantificación de diferentes metales que se encuentren en una muestra, su fundamento está en la ley de Beer – Lambert, ya que la señal absorbida es proporcional a la concentración del elemento que se mide. La muestra pasa por un atomizador donde los electrones de los átomos de la muestra se saltan a orbitales más altos, cuando ocurre esto se absorbe una cantidad de energía, y esta cantidad de energía es específica y particular de cada elemento, entonces cada longitud de onda corresponde a un elemento en específico (Guillermo, n.d.). Alternamente se puede usar para la cuantificación de los metales la técnica de Espectrofotometría de masas inducido por plasma (ICP-MS) para efectos de verificar resultados (Mohammed, Sadeek, Mahmoud, & Zaky, 2016).

7.8 Analizador directo de mercurio DMA-80

El analizador directo de mercurio es un equipo que se basa en los principios de la descomposición térmica de la muestra, la amalgamación con mercurio y la cuantificación por absorción atómica. Es un mecanismo fácil y rápido para la cuantificación de mercurio que no requiere de digestión previa de la muestra. Mediante este equipo se pueden llevar a cabo métodos tales como, mercurio en sólidos y soluciones por descomposición térmica, y espectrometría de absorción atómica (EPA 7473), otro método que se puede desarrollar con este equipo es, mercurio total en carbón y residuos de combustión en carbón (ASTM D-6722-01). (Milestone, 2013)

El proceso que ocurre en el equipo es el siguiente, después de que un brazo neumático toma la celda donde se encuentra la muestra y la pasa al horno donde ocurre un proceso de secado y calcinación donde el mercurio se libera en forma de vapor, con ayuda del aire portador el mercurio es llevado a través de un tubo catalizador, el mercurio en diferentes estados se reduce a mercurio elemental y a su vez se retienen las impurezas. El mercurio elemental es atrapado en un amalgamador Au/Pt el cual se calienta a 850°C y libera el mercurio para que sea cuantificado por medio de absorción atómica. (Milestone, 2013)

7.9 Método Kirby- Bauer

El método de Kirby-Bauer es una técnica modificada de los antibiogramas convencionales, mediante la cual se busca determinar de manera rápida, práctica y reproducible la susceptibilidad de diferentes microorganismos por lo general patógenos a los antibióticos u otras sustancias (Bernal R. & Guzmán, 1984). Un antibiograma es un método cualitativo *in vitro* que se realiza en el laboratorio para determinar la susceptibilidad que tienen los microorganismos ante sustancias microbianas en condiciones atmosféricas óptimas, esta técnica es ampliamente utilizada en el ámbito clínico ya que la utilizan para hacer recomendaciones pertinentes en el tratamiento para pacientes que tienen una infección específica. Esta técnica se fundamenta en: una placa de agar Muller- Hinton es inoculada con el microorganismo de estudio y unos discos de papel filtro son impregnados con la sustancia a analizar. En el momento en que el disco es impregnado con las sustancias antimicrobianas se ponen en contacto con la placa de agar, el antimicrobiano se difunde por el agar formándose un gradiente de concentración, transcurrido el tiempo de incubación (18-24 horas) a condiciones atmosféricas óptimas, los discos pueden aparecer o no con halos de inhibición hacia los microorganismos inoculados (Taroco, Seija, & Vignoli, 2006).

8 Objetivos

8.1 Objetivo general

- Evaluar la capacidad del tanino modificado de la Acacia (TAM), para remover los metales pesados Cu, Cr y Hg en muestras de agua residual industrial.

8.2 Objetivos específicos

- Determinar el pH óptimo en el cual el TAM tiene mayor porcentaje de remoción para los metales pesados Cu, Cr y Hg.
- Determinar la dosis optima en el cual el TAM tiene mayor porcentaje de remoción de metales pesados Cu, Cr y Hg.
- Evaluar la actividad antimicrobiana del TAM a diferentes concentraciones.

9 Metodología

Para llevar a cabo el objetivo general y los dos primeros objetivos específicos la metodología a seguir fue: Caracterización inicial del agua residual, donde se evaluaron los parámetros físico-químicos (color real, color aparente, turbidez, fósforo, sólidos totales, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno). Se realizó la cuantificación de los metales cobre y cromo mediante absorción atómica, previamente la muestra inicial fue sometida a una digestión por microondas y para la cuantificación de mercurio se realizó por medio del analizador directo (DMA-80). Seguido de la caracterización se prosiguió a realizar la modificación al tanino de Acacia mediante la adición de cloruro de amonio y formaldehído (Arismendi, 2016), cuando ya se obtuvo el tanino modificado, se continuó con el tratamiento de la muestra usando TAM, mediante el test de jarras donde se evaluaron diferentes dosis (3,6,10,13 mililitros) de una solución stock de 50000 ppm (Arismendi, 2016) y se evaluaron las dosis a pH ácido, neutro y básico (4,7 y 9). Para realizar los ajustes pertinentes del pH se utilizó ácido sulfúrico. Después del tratamiento se volvió a realizar la cuantificación de los metales cobre, cromo y mercurio y demás parámetros físico-químicos de la calidad del agua, como se cuantificaron a la muestra sin tratar y después de obtener datos finales se determinaron los porcentajes de remoción tanto de los metales como de los otros parámetros.

9.1 Muestreo

Para determinar la calidad y homogeneidad del agua vertida por la industria seleccionada se realizaron 3 muestreos puntuales antes de tratar el agua con el tanino modificado. Para realizar esos muestreos se tuvieron varios aspectos en cuenta tales como seleccionar un día de la semana que fuera de alta producción para así tener un alto caudal y a su vez un efluente con una alta concentración de sustancias residuales. Por otra parte, se seleccionó una semana en la cual no realizaran saneamiento a las tuberías y filtros de agua, debido a que las sustancias utilizadas en estos procedimientos pueden influir en las características físico-químicas de los efluentes.

La muestra se tomó directamente de la caja de inspección destinada exclusivamente para los efluentes de la planta de producción. En el momento de la toma de la muestra se midieron los parámetros correspondientes a oxígeno disuelto, temperatura, pH y conductividad. Posteriormente en el laboratorio se evaluó: demanda química de oxígeno, turbidez, color real, color aparente, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y se realizó la cuantificación de los metales cobre, cromo y mercurio.

Los muestreos se realizaron los días jueves cada cuatro semana, se evaluaron los mismos parámetros en cada muestreo y los resultados se encuentran resumidos en las **Tablas 1 y 2** los cuales no mostraron diferencias significativas, por ende se estableció que los parámetros fisicoquímicos y la concentración de los metales no variaban lo que nos garantiza una muestra homogénea.

Tabla 1 Caracterización del agua residual mese antes de los ensayos con TAM

Parámetros fisicoquímicos	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Desviación estándar
Oxígeno disuelto (ppm)	0,11	0,15	0,18	0,04
pH	9	9,7	9,5	0,36
temperatura °C	18,9	18,5	20	0,78
conductividad µS	0,498	0,525	0,56	0,03
Demanda química de oxígeno (mg/L)	22.954	22.957	22.960	3,00
Turbidez (NTU)	439	430	437	4,73
Color real (PCU)	1090	1093	1099	4,58
Color aparente (PCU)	2160	2155	2165	5,00
sólidos totales (g/10mL)	6510521	6510525	6510530	4,51
sólidos suspendidos (mg/L)	867849	867850	867854	2,65
sólidos sedimentables (mL/L)	13	15	15	1,15
fosfatos (mg/L)	166	170	168	2,00

Tabla 2 Concentraciones de metales antes de los ensayos con TAM

Metales	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Desviación estándar
Cobre (Cu) mg/L	0,7	0.68	0,73	0,02

Cromo (Cr) mg/L	0,3	0,28	0,22	0,04
Mercurio (Hg) mg/L	ND	ND	ND	NA

*ND= No determinado; NA= No aplica

Después de realizar el estudio previo y observar que la muestra no variaba considerablemente entre un mes y otro, se optó por realizar un muestreo cada mes durante cuatro meses, los días jueves que corresponde a al día con mayor productividad de la empresa. Se debe aclarar que no se tuvieron en cuenta factores ambientales debido a que la caja de inspección de donde se tomaba la muestra se encontraba sellada y no existía riesgo de un efecto de dilución. En cada uno de los muestreos el volumen de muestra correspondió a 15 litros. La muestra se procesó antes de las 48 horas.

9.2 Caracterización fisicoquímica del agua

Para el análisis previo del agua residual y para la evaluación del proceso de coagulación-floculación mediante el uso de TAM para la remoción de cobre, cromo, mercurio y a su vez de los parámetros convencionales: materia orgánica, turbidez y solidos suspendidos los protocolos utilizados fueron los que se encuentran en la **Tabla 3 y 4**.

Tabla 3 Protocolos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos

Parámetros físico- químico	Nombre del Método	Referencia del Método
pH	Método electrométrico	APHA 2310B
Conductividad μs	Método de laboratorio	APHA 02041
Oxígeno disuelto (ppm)	Método de electrodo de membrana	APHA 4500-OG
Demanda química de oxígeno (mg/L)	Método colorimétrico semiautomático	EPA 410.4

Color (PCU)	Método de comparación visual	*APHA 2120B
Turbidez (NTU)	Método nefelométrico	*APHA 2130B
Sólidos totales (g/10mL)	Sólidos totales secado a 103-104°C	*APHA 2540B
Sólidos sedimentables (ml de sólidos sedimentables /L)	Método volumétrico	*APHA 2540 F
Sólidos suspendidos	Sólidos suspendidos totales secados a 103-105°C	*APHA 2540 D
Fosforo (mg/L)	Método colorimétrico del ácido vanadomolibdofosforico	*APHA 4500-P C

*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (Rice, Baird, & Eaton, 1999)

Tabla 4 Protocolos para la determinación de la concentración de los metales

Metales pesados	Nombre de método	Referencia del método
Cobre, cromo (mg/L)	APHA 3111	Método de espectrometría de absorción atómica
Mercurio	EPA 7473	Mercurio en sólidos y soluciones por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica.

9.2.1 Determinación color aparente

Para realizar esta metodología se utiliza el equipo HI 83099 multi-parámetro fotométrico (HANNA instruments). El método es una adaptación del Estándar Métodos para el análisis de agua y agua residual.

Método colorimétrico platino cobalto. Lo primero que se hace es seleccionar en el método color de agua. Se toma una celda y se llena con 10mL de agua desionizada, esta celda será el blanco, por otra parte, se toma otra celda y se agregan 10mL de la muestra. Se coloca en el equipo la celda con el agua y en el equipo se oprime blanco seguido de ajustar el blanco se cambia por la celda en la que se encuentra la muestra y se oprime el botón de leer, se espera y el equipo arroja el resultado de las unidades de PCU (unidades Platino Cobalto).

9.2.2 Determinación del color real

Para determinar el color real, se toman 13mL de la muestra y se llevan a centrifugación a 4000 rpm por 15 minutos. Después de eso con la ayuda del equipo HI 83099 multi-parametro fotométrico HANNA instrumens procediendo como en el ensayo anterior (Hanna, 2012)

9.2.3 -Turbidez

Para determinar la turbidez se utilizará el equipo HANNA HI88713. Se toma una celda del turbidimetro se agregan 10mL de la muestra y se oprime el botón de leer, el resultado es arrojado con las unidades NTU (Unidades Nefelométricas de turbidez).

9.2.4 Solidos totales

Para determinar solidos totales el método es una adaptación del Estándar Métodos para el análisis de agua y agua residual. Se toma la tapa o base de una caja de Petri se pesa sola se toma el dato, seguido se eso se adiciona 10mL de la muestra nuevamente se toma el dato. Luego de tener esos datos la muestra se lleva a un horno a 104°C durante 18 horas y con ventilación al 30%. Trascurrido el tiempo se vuelve a pesar y se toma el dato. Ya con los datos completos se realiza la fórmula de solidos totales y se determina la cantidad total.

$$ST = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

Donde:

ST: Sólidos Totales, en mg/L

A: peso del recipiente con el residuo seco, en gramos

B: peso inicial del recipiente tarado en gramos

V: Volumen de muestra deseada en litros.

9.2.5 Sólidos sedimentables

Para la determinación de sólidos sedimentables El método es una adaptación del Estándar Métodos para el análisis de agua y agua residual. Se toma el cono Imhoff de 1000mL, se coloca en un soporte y se le agrega 1 litro de agua se espera una hora y reporta la cantidad de sedimento en ml/L. (Rice et al., 1999).

9.2.6 Sólidos suspendidos

Para determinar los sólidos suspendidos se pesa el papel Whatman, se coloca en un embudo de manera vertical, seguido de filtran 20 mL de la muestra, se recupera el papel y se coloca en una caja grande de Petri se deseca el papel en un horno durante 12 horas a 105°C al pasar ese tiempo se deja enfriar el papel y se vuelve a pesar al tener este segundo dato se determinan los SST en 20 mL y se hace la corrección para determinar los sólidos en mg/L (Rice et al., 1999)

9.2.7 Demanda química de oxígeno

Para determinar la demanda química de oxígeno se hace mediante la adaptación del método EPA 410.4. Método aprobado para la determinación de aguas superficiales y aguas residuales. Los compuestos orgánicos oxidables reducen el ion dicromato (naranja) al ion crómico (verde). La cantidad de ion crómico formado es el determinado.

Lo primero que se hace es que se coloca a precalentar el reactor HI 839800 a 150 °C. mientras se calienta el equipo se toma un vial de DQO rango alto se remueve la tapa y se agregan 0.2

mL de la muestra suavemente por las paredes del tubo eso para la muestra, se toma otro vial de DQO rango alto y se le adicionan 0.2 mL de agua desionizada se agitan por inversión cada uno de los viales. Cuando el reactor se encuentre 150°C se colocan los viales durante 2 horas, pasado ese tiempo se esperan 20 minutos a una temperatura de 120°C, luego se invierten los viales una vez, se dejan enfriar. Para realizar la lectura correspondiente se lee con ayuda del equipo HI 83099 multi-parámetro fotométrico (HANNA instrumens), se selecciona el método demanda química de oxígeno rango alto se coloca el vial que contiene agua desionizada y se oprime el botón de cero, cuando en la pantalla aparece 0.0 se coloca el vial que contiene la muestra y se presiona el botón de leer (Hanna, 2012)

9.2.8 Fosforo

Para determinar el fosforo se hace mediante la adaptación del método amino acido del estándar métodos para el análisis de agua y de agua residual 18 edición. La reacción entre el fosforo y el reactivo causa una coloración azul en la muestra. Esta prueba se realiza con ayuda del equipo HI 83099 multi-parámetro fotométrico (HANNA instrumens) lo primero que se realiza es seleccionar en el equipo en métodos la opción de fosforo; se toma una celda se agregan 10mL de la muestra, se coloca dentro del equipo y se oprime el botón “cero” cuando en la pantalla aparece 0.0 se extrae la celda se agregan 10 gotas del reactivo A (molibdato) HI 93706A-0 seguido se agrega el reactivo B (Acido amino) se tapa y se agita hasta disolver el segundo reactivo completamente. Se coloca en el equipo nuevamente y se oprime el botón “crono” se esperan 5 minutos y en la pantalla aparece el resultado en mg/L(Hanna, 2012).

9.3 Modificación del tanino

Para llevar a cabo la modificación del tanino mediante la reacción de Mannich se realizan dos soluciones, la solución A se prepara adicionando 10,5 mL de agua desionizada a 8,66 g del extracto tánico y para preparar la solución B se pesan 3,8 g de cloruro de amonio y posteriormente y gradualmente se agregan 30 ml de formaldehido, se agita suavemente y se coloca en un reflujo durante dos horas. Al finalizar el tiempo en el reflujo se mezcla la

solución A y B y se agita durante 30 min a 70°C. al concluir ese tiempo se prepara una solución stock de 50000 ppm con agua desionizada. (Arismendi, 2016)

9.4 Test de jarras

Para llevar a cabo el objetivo específico número uno y determinar el pH óptimo y la dosis óptimas en el cual el proceso de coagulación- floculación es más eficiente para la remoción de metales pesados, se realizan tres ensayos: a pH ácido (4), pH neutro (7) y pH básico (9). Para cada uno de los ensayos se montaron 4 vasos precipitados con 300mL del agua residual, se hizo el ajuste de pH pertinente. Después de ajustar el pH se le agregan las dosis de 3, 6, 10 y 13 mL de la solución stock de TAM (50.000 ppm) a los vasos precipitados. Al finalizar la adición se programa el primer ciclo del test a 100 rpm durante 5 min, posteriormente a este ciclo se ajusta el segundo ciclo a 50 rpm durante 10 min y se deja reposar durante 30 min. Al finalizar el tiempo de reposo, se toma una alícuota de dos mililitros de cada uno de los vasos precipitados y se procede hacer la técnica de digestión microondas para eliminar la materia orgánica, posteriormente se realizó cuantificación por absorción atómica. Esta metodología es la correspondiente para los metales cobre y cromo y en el caso específico del mercurio, el procedimiento es similar con la única variante de que al final del proceso del test de jarras se tomó una alícuota de 1mL y se procesó en el analizador directo de mercurio (DMA-80)

9.5 Determinación de metales pesados

Para la determinación de los metales cobre y cromo se utiliza el equipo Varian modelo AA240FS espectrómetro de absorción atómica, para lo cual primero se deben realizar las curvas de calibración con cada uno de los metales, luego de ingresarle al equipo la curva de calibración se colocan la muestra del agua sin tratamiento previo y luego se pasan los ensayos con el agua tratada con TMA, para determinar la concentración de los metales pesados (Rice, Baird, & Eaton, 1999). A continuación se presentan las curvas patrón que se utilizaron para la cuantificación de los metales.

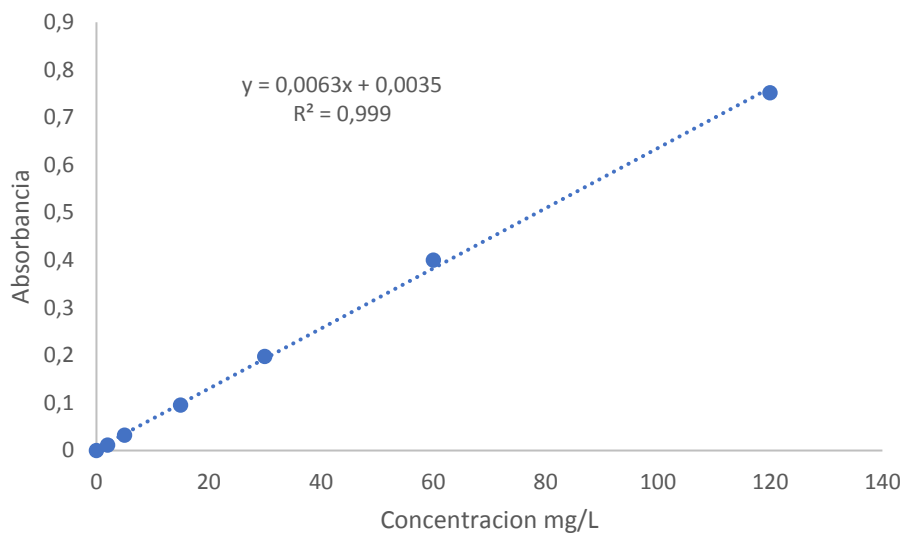


Figura 4 Curva de calibración para la cuantificación de cobre

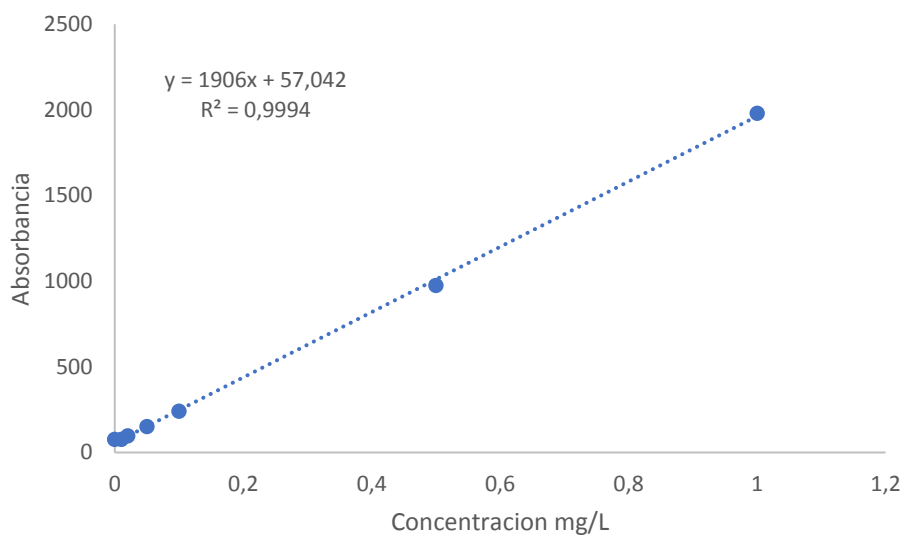


Figura 5 curva de calibración para la cuantificación de cromo

9.5.1 Determinación de mercurio

Para determinar la concentración de mercurio, primero se debe tomar una celda, pesar en la balanza 0.09g de la muestra seguido de ello se coloca la celda en el DMA 80, se ingresan los datos al software del equipo. Este procedimiento se realiza primero con el agua sin tratar y

después se realiza el mismo procedimiento con cada uno de los ensayos realizados con TMA con la finalidad de determinar la concentración del mercurio.

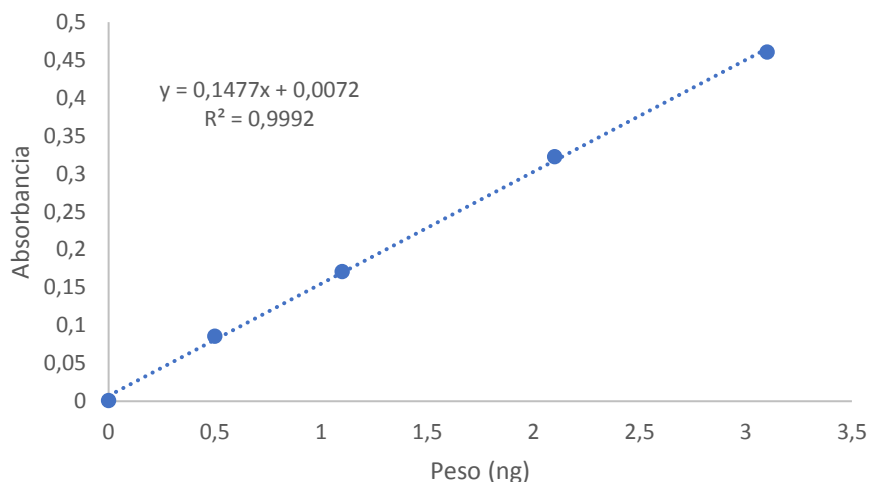


Figura 6 Curva de calibración para la cuantificación de mercurio.

9.6 Actividad antimicrobiana

Para el desarrollo del tercer objetivo específico se utilizó un método modificado de Kirby-Bauer. Primero se preparó el inoculo tomando tres colonias de *Escherichia coli* ATCC 8739 y tres de *Salmonella thphimurium* ATCC 14028 de medio nutritivo y pasándolo a caldo tripteína, soya posterior mente se incubo a 37°C durante 4-6 horas hasta obtener una turbidez correspondiente al patrón 0,5 de MacFarlan. En simultaneo se preparó el medio de cultivo Muller- Hinton y se sirvió, todo bajo condiciones de esterilidad. Después se hizo un sembrado masivo con el inoculo en las cajas con el medio Muller-Hinton se esperaron 5 minutos y se prosiguió a realizar 4 pozos las placas de agar en los cuales posteriormente se adicionaron 25µL de las concentraciones de TAM que se evaluaron para la remoción de metales (10g/L, 20g/L, 33g/L y 43g/L) se incubo a 37°C durante 24 horas. A la vez se preparó un control positivo con discos de Ampicilina, cloranfenicol y Trimetoprim + Sulfametoxazol y el control negativo donde no se colocó ningún disco en la caja inoculada. Al transcurrir las 24 horas se midieron los halos de inhibició

10 Resultados y discusión

Mediante la prueba de Test jarras se determinó que las condiciones óptimas para lograr el mayor porcentaje de remoción de cobre, cromo, de mercurio, materia orgánica, sólidos suspendidos totales y turbidez utilizando como coagulante floculante el tanino modificado Acacia (TMA). La cantidad óptima de TAM para obtener mayor porcentaje de remoción correspondió a 3 mL de la solución stock de 50.000 ppm a un pH básico (9), con un tiempo de agitación rápida de 5 minutos a 120 r.p.m, un tiempo de agitación lenta de 10 minutos a 50 r.p.m y finalizando con un tiempo de sedimentación de 15 minutos. En la **tabla 5** se evidencia cuáles fueron las concentraciones iniciales de cada uno de los metales, las concentraciones finales de cobre, cromo y mercurio después del tratamiento de coagulación-floculaciones con (TAM) y el porcentaje de remoción.

Tabla 5 Concentración inicial, final y porcentaje de remoción bajo condiciones óptimas

Metal	Concentración inicial	Concentración final	*Porcentaje de remoción
Cobre	80ppm	35,4ppm	56%
Cromo	30ppm	4,2ppm	86%
Mercurio	70ppb	34,23ppb	50%

*El porcentaje de remoción presentado corresponde al obtenido bajo las mejores condiciones de pH (9) y una dosis de 3g/L de TAM

10.1 Remoción de Cobre

En la **Figura 7**, se presentan los resultados correspondientes a el porcentaje de remoción del cobre, en el proceso de coagulación- floculación a pH ácido (4), neutro (7) y básico (9) y a diferentes volúmenes de TAM (3 mL, 6 mL, 10 mL, 13mL). Se observa que, a todos los pH y diferentes dosificaciones, hubo remoción del metal, pero los porcentajes más altos se

obtuvieron a pH básico y que la concentración con la que se obtuvo un porcentaje de remoción de 56% fue la correspondiente a 10 mL de TAM.

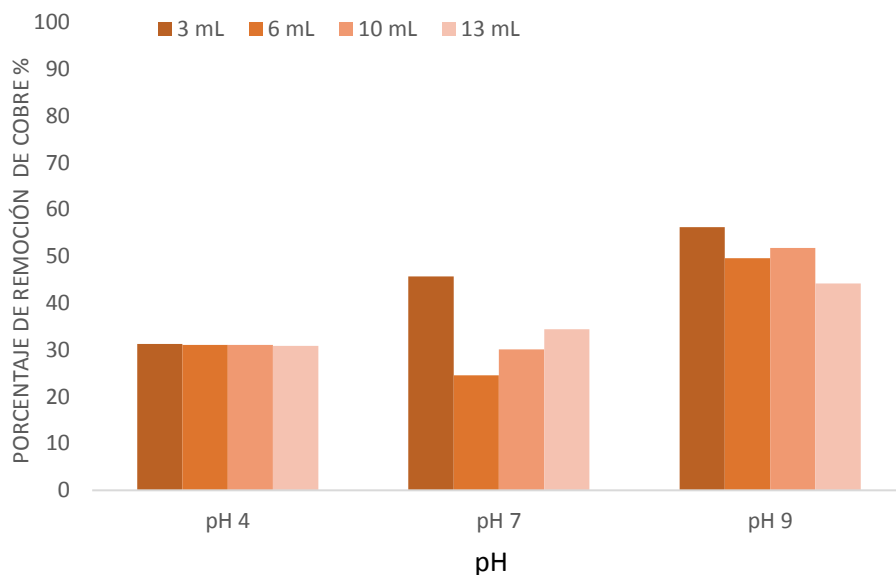


Figura 7 Porcentaje de remoción de cobre del agua residual industrial (solución stock de TAM:50.00 ppm)

Una técnica muy utilizada para la remoción de metales es la flotación por partículas adsorbentes, en un estudio que realizaron con la finalidad de remover cobre por medio de flotación utilizando partículas adsorbentes con un alto contenido de cuarzo, logrando la remoción de un 98% de cobre bajo pH neutro o ácido (Santander, Tapia, Pávez, Valderrama, & Guzmán, 2009), si observamos los resultados presentados en la **Figura 7**, se observan porcentajes de remoción de cobre, pero no superiores al 60% lo cual es un porcentaje bajo comparado con el 98% de remoción obtenido por la técnica de flotación, una de las posibles causas, es porque en el tipo de agua en el ensayo reportado fue con agua sintética a diferencia del presente trabajo en que se utilizó efluentes de agua industrial real y que su compleja composición puede inferir en el porcentaje de remoción por medio de la coagulación-floculación con el tanino modificado de Acacia.

10.2 Remoción de cromo

La **figura 8**, muestra los resultados de la remoción del cromo, en el proceso de coagulación-floculación utilizado TAM como agente coagulante floculante en las cantidades de (3 mL, 6 mL, 10 mL y 13 mL) de la solución stock de 50.000 ppm y a los diferentes pH, ácido, neutro y básico. Se observa que los porcentajes de remoción no fueron de manera uniforme entre los diferentes pH, se evidencia que los mayores porcentajes de remoción de cromo son a pH básico (9) con las dosis correspondientes a 3 mL y 6 mL y porcentajes de remoción de 87% y 62% respectivamente. A pH neutro los porcentajes de remoción fueron inferiores al 10% siendo los porcentajes más bajos de remoción de todos los metales y parámetros evaluados en este estudio. En pH ácido se evidencia bajos porcentajes de remoción (inferiores al 30%).

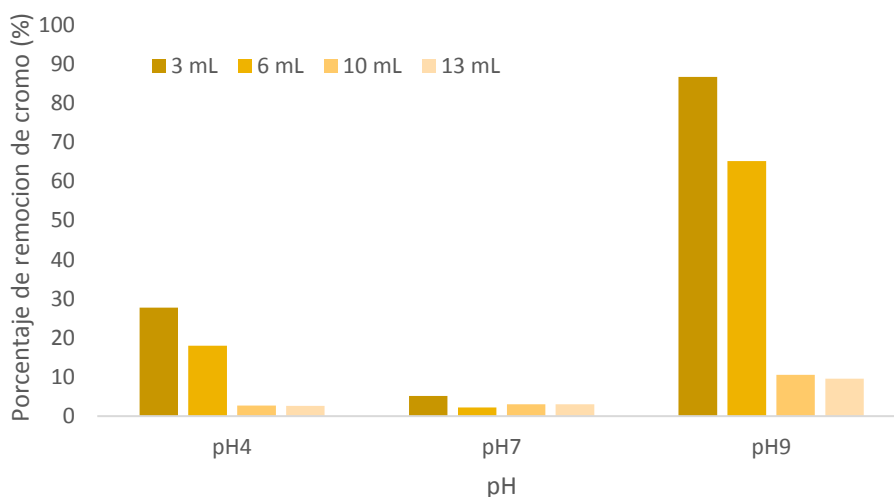


Figura 8 Porcentaje de remoción de cromo en agua residual industrial (Solución stock de TAM: 50.000 ppm)

Como se puede observar en la **Figura 8**, evidencia un porcentaje de remoción de cromo cercano al 90%, lo cual es un porcentaje significativamente alto, si se compara este resultado con los obtenidos en un estudio donde probaban la técnica de precipitación química asistida con coagulantes para la remoción de Cr^{+3} , Fe^{+3} , Zn^{+2} y Ni^{+2} y donde utilizaron como

sustancias coagulantes: sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico y sulfato ferroso, con un ajuste de pH a 10, el mejor resultado, se obtuvo con cloruro férrico logrando una remoción aproximadamente del 100% del cromo. A su vez realizaron pruebas para determinar si había una relación entre el tamaño del floculo formado y la concentración de metales precipitados, concluyendo que si había una relación entre el tamaño del floculo y el porcentaje de metal removida (Soto, Lozano, Barbarín, & Rodríguez, 2004) por eso, se puede inferir que el tanino genera la formación de flóculos de gran tamaño cercanos a los que se generan con el cloruro férrico. Se recomienda para próximos estudios determinar el tamaño de los floculo resultantes de la coagulación- floculación utilizando el tanino modificado de Acacia.

Por otra parte, como se evidencio en la **Figura 8**, hubo remoción significativa de cromo a pH básico y acido, pero no a pH neutro, lo que se puede explicar según la literatura en la que el cromo a pH acido y pH alcalino presenta mayor facilidad de movimiento. Los altos porcentajes de remoción a pH alcalino se debe a que el cromo a pH básico se vuelve menos soluble facilitando la unión entre el coagulante – floculante y el metal (Rangel Cordova, Isarain Chávez, & Maldonado Vega, 2015)

10.3 Remoción de mercurio

En la **Figura 9**, se observan los porcentajes de remoción de mercurio utilizando como coagulante-floculante el tanino modificado Acacia (TAM). Se evidencia que la remoción no fue superior al 60% pero aun así se observa remoción bajo los diferentes pH y diferentes dosis. Se debe hacer la acotación que las concentraciones en este ensayo de mercurio estaban en partes por billón (ppb) por lo cual una remoción aproximadamente del 50% es significativa. La concentración inicial de mercurio fue 70ppb y final a pH básico y con una dosis de 3 mL se obtuvo una concentración final de 34,23 ppb.

Si se comparan los porcentajes de remoción de mercurio con los obtenidos con cobre y cromo utilizando como agente coagulante – floculante TAM, los porcentajes son bajos, pero se debe tener en cuenta que las concentraciones que se removieron de mercurio eran muy bajas (ppb), mientras que las concentraciones que se removieron de los otros metales eran ppm. Por ende, la remoción de mercurio es significativa y se debe a que entre menos

concentración de un metal presente en una solución acuosa es más difícil de que se formen los puentes o interacciones electroestáticas entre el metal y la sustancia coagulante floculante haciendo, más complicada la remoción de mercurio de los efluentes (Morales, 2008).

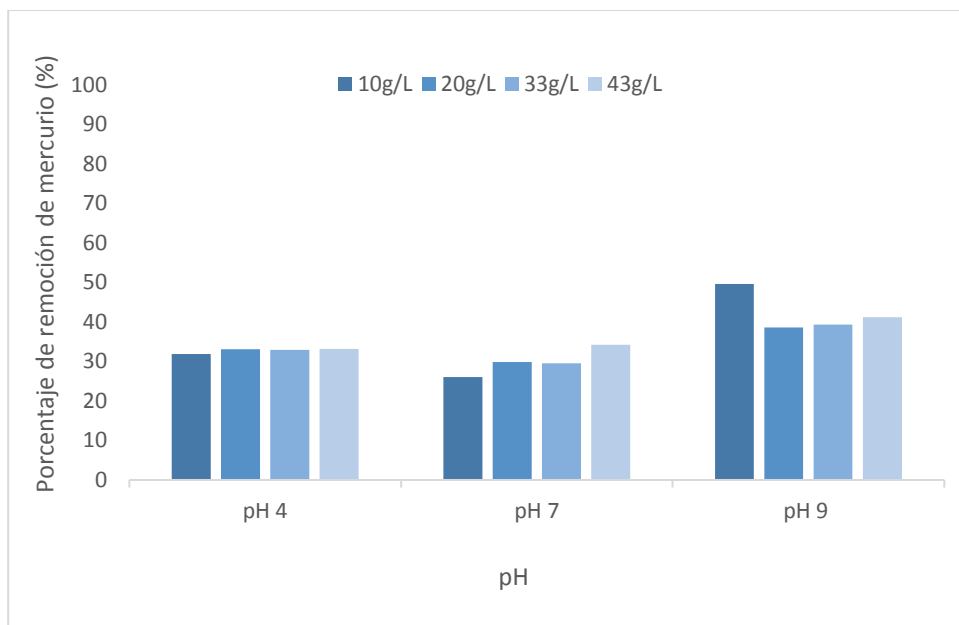


Figura 9 Porcentaje de remoción de mercurio del agua residual industrial (Solución stock: 50.000 ppm)

Como se puede observar en la **Figura 9**, el mayor porcentaje de remoción fue de 49,83% de mercurio, resultado que es similar al mostrado en otro estudio donde evaluaron la remoción de este metal utilizando la técnica de carbón activado, en el cual compararon la remoción de mercurio utilizando carbón activado y carbón activado impregnado con azufre. En ese estudio los porcentajes de remoción fueron 40,31% y 49,15% respectivamente.(Benavente, Sjoren, & Martinez, 2007) De esta forma podemos afirmar que la técnica de coagulación- floculación es igual de eficiente que un tratamiento ampliamente utilizado actualmente para la remoción de metales como lo es el carbón activado.

Por otro lado, como se puede observar en las figuras correspondientes a la remoción de los metales cobre, cromo y mercurio (7,8 y 9) no se logró una remoción del 100% de

ninguno de los metales, lo cual concuerda con la literatura, donde se dice que mediante este proceso solo se puede lograr la remoción entre un 50-90%, por ello este tratamiento debe ir acompañado por otras técnicas complementarias como lo puede ser la filtración.

En cuanto al máximo porcentaje de remoción: cobre 56%, cromo 87% y mercurio 50% con concentraciones finales de 35,5 ppm, 4,2 ppm y 34,9 ppb respectivamente, los valores correspondientes a ppm no logran entrar en los valores máximos permitidos por la Resolución 0635 del 2015 lo cual indica que se deben realizar tratamientos adicionales.

10.4 Remoción de turbidez

Como se puede observar en la **Figura 10**, a todos los pH se presencié remoción de la turbidez por encima de del 50%, el mayor porcentaje de remoción se evidencio a pH básico (9) con una cantidad de TAM de 3 mL, este porcentaje correspondió al 99% de eficiencia, y se observa un efecto de remoción superiores al 60% bajo cualquier condición de pH.

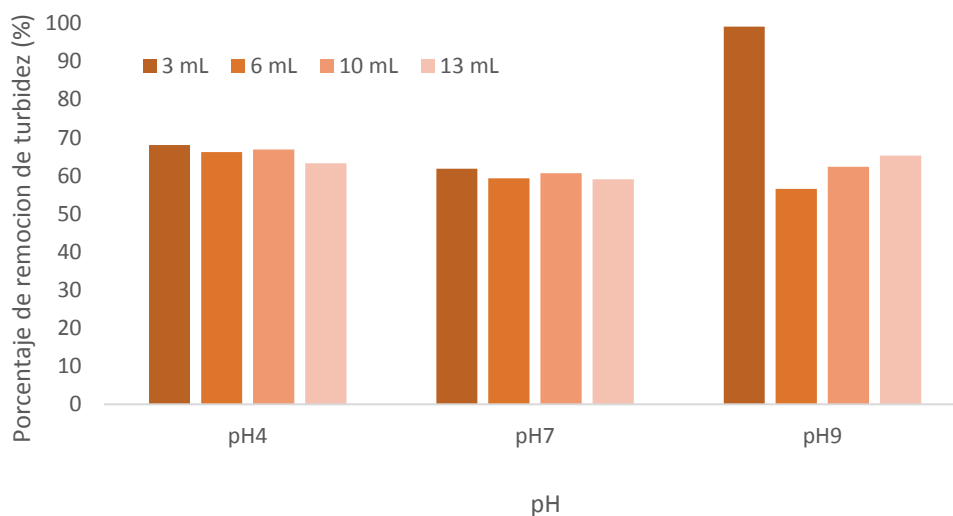


Figura 10 Porcentaje de remoción de turbidez del agua residual industrial, después del tratamiento con TAM (Solución stock: 50.000 ppm)

En un estudio realizado por (Hameed, Idris, Hussain, & Abdullah, 2016) se comparó el

proceso de coagulación floculación utilizando un tanino modificado denominado TANFLOC contra cloruro de polialuminio (PAC) en aguas residuales. Sus resultados mostraron un porcentaje máximo de remoción de turbidez con el TANFLOC de 95% mientras que el porcentaje de con PAC fue de 87%. Por ese estudio más los resultados que se observan en el presente trabajo utilizando el tanino modificado Acacia se puede afirmar que los coagulantes a base de taninos son eficientes para la disminución de la turbidez.

Por otra parte, el resultado de remoción de turbidez concuerda con los reportado en la literatura donde los coagulantes a base de taninos (TANFLOC) muestran una remoción del 50 al 100% de remoción de este parámetro. Estos porcentajes se logran debido a el proceso de cantonización o modificación que se les realiza a los taninos confiriéndoles carga positiva que facilitan la mezcla con las partículas coloidales de carácter aniónico,(Guzmán, Villabona, Tejada, & García, 2013).

También se puede observar en la **Figura 10**, que la dosis de coagulante que arrojó los mejores porcentajes de remoción a los diferentes pH fue la correspondiente a 3 mL de TAM, (solución stock: 50.000 ppm) lo que nos indica que hay una gran presencia de material coloidal, ya que según lo reportado, en cuanto es mayor la concentración de partículas coloidales se requieren menos dosis de coagulante, esto se debe a la gran cantidad de material particulado en el que entran en contacto más fácilmente las superficies, mientras que a baja cantidad de partículas coloidales se requiere más coagulante para que se forme contacto y por consiguiente flóculos (Barrenchea, n.d.).

10.5 Remoción de Materia Orgánica

La materia orgánica es uno de los componentes mayoritarios de los efluentes. Como se puede observar en la **Figura 11**, los porcentajes de remoción de la materia orgánica, mediante el proceso de coagulación-floculación con TAM, son altos, a diferentes condiciones de pH y las diversas dosificaciones. El mayor porcentaje de remoción obtenido fue 90% a un pH básico con la dosis más baja; Aunque el porcentaje de

remoción más alto se reportó a pH básico, el porcentaje a pH ácido (83%) y neutro (84%) es decir sin diferencia significativa.

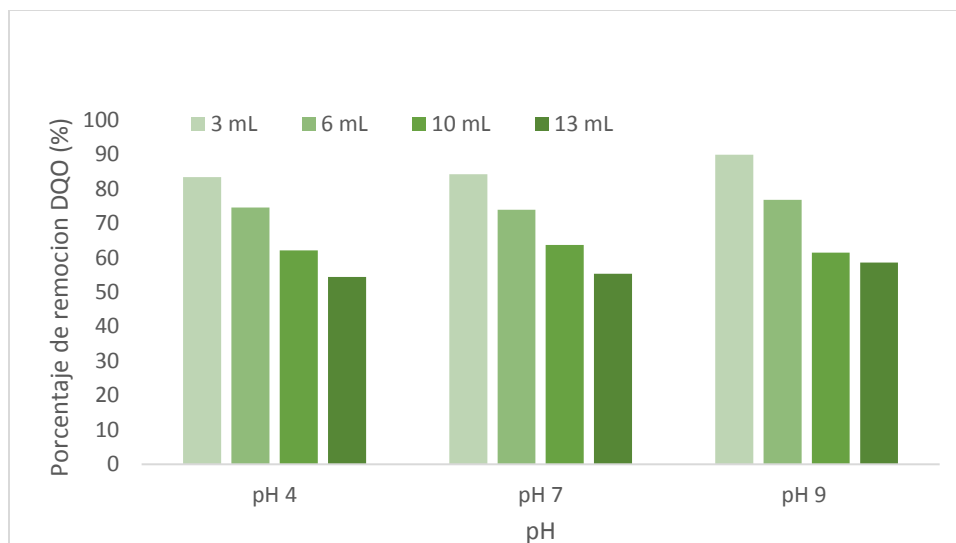


Figura 11 Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO), después del tratamiento con TAM. (Solución stock: 50.000 ppm)

La **figura 11**, muestra como el TAM es eficiente para la disminución de la demanda química de oxígeno a diferentes pH. Se evidencia que el mayor porcentaje de remoción corresponde al 90% a un pH básico, con una cantidad de 3 mL de TAM. Es un buen porcentaje de remoción si se compara con los porcentajes de remoción de DQO obtenidos en otros estudios (Area, María C, Ojeda, Sergio A, Barboza, Olga M, Bengoechea, Dora I, & Felissia, 2010) utilizando coagulantes convencionales en aguas residuales industriales como: sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ el cual presenta una reducción de la demanda química de oxígeno de 90, y el policloruro de aluminio mostro una remoción de tan solo el 40% de este parámetro, por otra parte, uno de los mejores floculantes fue la poliacrilamida catiónica que alcanzo una remoción del 93% del DQO, y la *Moringa oleífera* tuvo una reducción del 52% este último es un polielectrolito catiónico (Area, María C, Ojeda, Sergio A, Barboza, Olga M, Bengoechea, Dora I, & Felissia, 2010). Al igual que el tanino modificado en el presente estudio y sin embargo TAM es más eficiente para el proceso de reducción del DQO si se compara con la *Moringa* y la mayoría de los coagulantes químicos que se utilizan actualmente en los procesos de coagulación- floculación y que se quieren sustituir debido a que no son

amigables con el medio ambiente.

10.6 Remoción de Sólidos Suspendidos Totales

En la **Figura 12**, se muestran los porcentajes de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) mediante el uso TAM a diferentes pH y dosis del coagulante. Se evidencia que a diferentes concentraciones y a todos los pH hubo remoción de grandes cantidades de sólidos suspendidos totales. Los porcentajes de remoción que se aprecian se encuentran entre el 70 y 88 %. También se puede observar que los mejores porcentajes de remoción se lograron con las cantidades más bajas de TAM 3 mL y 6 mL.

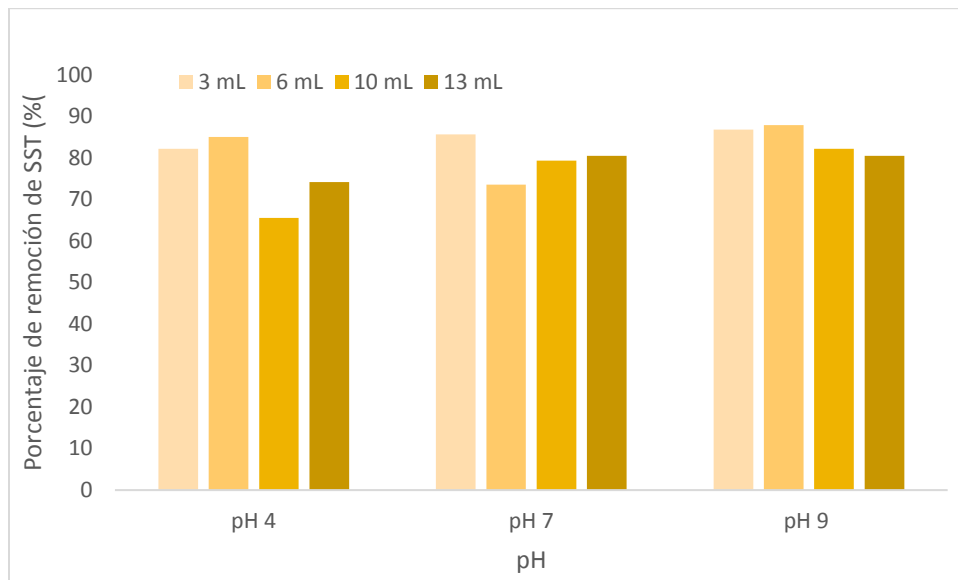


Figura 12 Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales (SST), después del tratamiento con TAM (Solución Stock 50.000 ppm)

Como se puede evidenciar en la **Figura 12**, el mayor porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales correspondió al 88% a pH básico, resultado que se puede comparar con los obtenidos en el estudio por (Amuda & Alade, 2006) valoraron el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales, DQO y fósforo total, mediante el proceso de coagulación-floculación con cloruro férrico a diferentes pH, donde se obtuvieron los mayores porcentajes de remoción a pH básico (9), presentando una remoción del 97 % de sólidos suspendidos (Amuda & Alade, 2006). El cloruro férrico es una de las sales

más comúnmente utilizadas para los procesos de coagulación por su alta eficiencia y bajo costo, pero genera problemas ambientales adicionales; con los resultados que se evidencian en la **Figura 12**, se puede inferir que nuestros resultados son proporcionalmente superiores y adicional mente no generan un problema ambiental debido a su biodegradabilidad (You, Song, Wang, Lu, & Zhang, 2017).

10.7 Metales y parámetros convencionales bajo óptimas condiciones.

En la **figura 13**, se muestran los porcentajes de remoción de los diferentes parámetros evaluados (SST, DQO, Cu, Cr y Hg) en el proceso de coagulación -floculación utilizando el tanino modificado Acacia (TAM) en el pH que se observan los mejores resultados es alcalino (pH=9) . Se puede observar que los parámetros con mayor porcentaje de remoción corresponden a la demanda química de oxígeno (89,91%) seguido a los sólidos suspendidos (87,93%), y en cuanto a los metales el mayor porcentaje de remoción lo obtuvo el cromo con 86,7%.

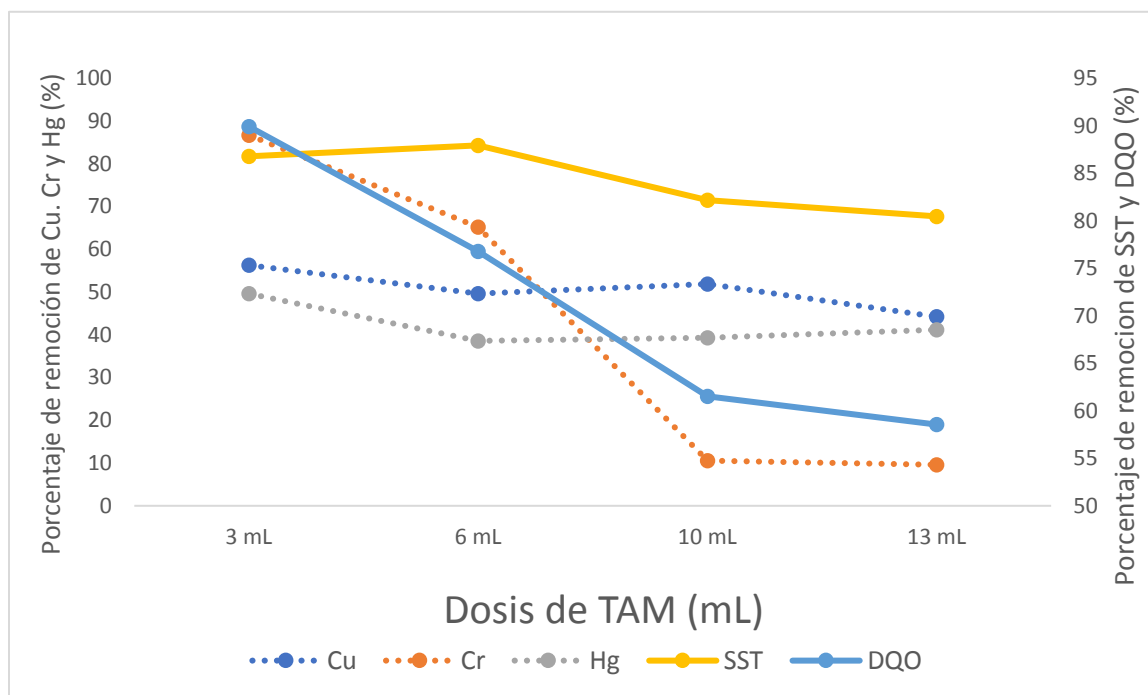


Figura 13 Porcentaje de remoción de los diferentes parámetros evaluados a pH básico (9)

10.8 Porcentaje de remoción de cobre y cromo sin materia orgánica

Este ensayo busco corroborar que la remoción de los metales cobre y cromo se había dado por un proceso de coagulación- floculación con el tanino modificado de Acacia (TAM) y no por un efecto de barrido propiciado por los flóculos formados por la materia orgánica en remoción, para esto se usó agua sin materia orgánica. La **figura 11** muestra una comparación entre los porcentajes de remoción de cobre y cromo obtenidos en el ensayo de agua sin materia orgánica y los porcentajes obtenidos en los ensayos iniciales.

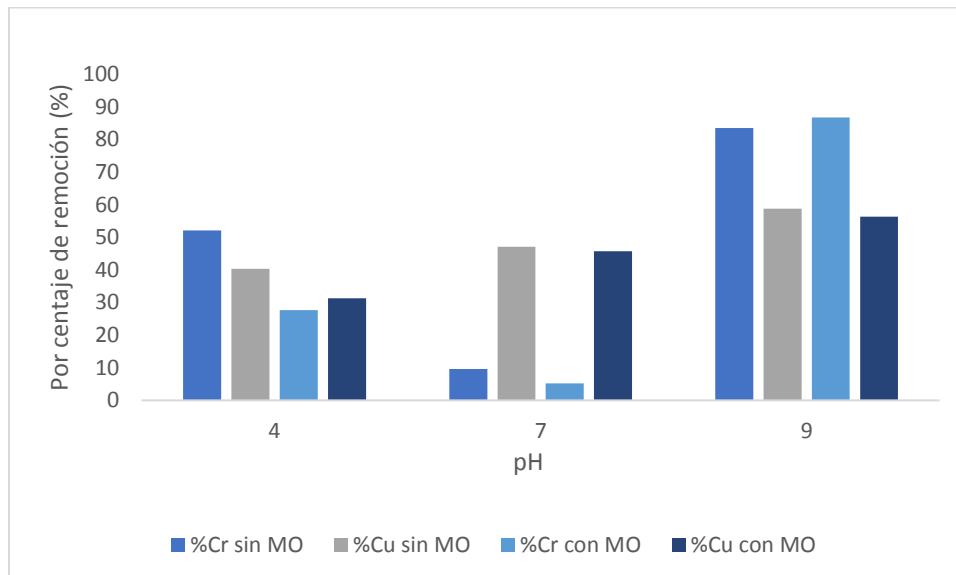


Figura 14 Porcentaje de remoción de los metales cobre y cromo con y sin materia orgánica con una dosis de 3mL de TAM (Solución stock de 50.000 ppm)

La **Figura 14**, muestra que hay mayor porcentaje de remoción de cobre y cromo cuando hay ausencia de materia orgánica, lo cual se puede explicar debido a que el biopolímero TAM tienen afinidad por la materia orgánica, gracias a la carga eléctrica de este. Cuando no hay materia orgánica en el medio acuoso hay más sitios activos en TAM para la unión del metal con el tanino.

10.9 Porcentaje de remoción en presencia de los metales Cu y Cr

La **Tabla 6**, muestra el porcentaje de remoción de cobre y cromo cuando los metales se encuentra en una misma solución, a diferentes pH y tratado con la dosis optima de tanino modificado (3 mL). Se puede evidenciar que hubo remoción de los dos metales a los diferentes pH, pero hay diferencias significativas de remoción de los metales cuando se encuentran en conjunto. En el caso del cromo se evidencia mayor porcentaje de remoción del metal en comparación con los resultados iniciales de este estudio, obteniendo a pH ácido una remoción del 70,9%. Por otra parte, se puede evidenciar que el pH óptimo para la obtención de los porcentajes más alto de remoción de metales cuando se encuentra juntos en una misma solución corresponde a pH alcalino (9). Los porcentajes más representativos de remoción fueron 47,5% de cobre y 81,5% de cromo.

pH /metal	Metal único		Cu + Cr	
	% Cr	% Cu	%Cr	%Cu
4	27,12	31,3	69,86	38,54
7	5,22	45,74	69,55	38,59
9	86,67	56,27	52,25	29,28

Tabla 6 Porcentaje de remoción de cobre y cromo cuando se encuentran simultáneamente en la muestra.

Esta diferencia significativa entre los porcentajes de remoción entre los dos metales, una de las posibles explicaciones es debido a que el cromo posee más estados de coordinación (+6) que el cobre (+2) lo que le da la mayor opción de unión con el biopolímero (TAM).

10.10 Remoción de diferentes concentraciones de mercurio

Después de optimizar el proceso de coagulación - floculación con el tanino modificado Acacia (TAM) se realizó un ensayo con las condiciones óptimas de pH (9) y dosis de 3 mL del tanino, para determinar si mediante esta técnica se podían remover altas concentraciones de mercurio. En la **Figura 15**, se evidencia los porcentajes de remoción de mercurio a las concentraciones 0,5ppm, 1ppm, 2,5ppm y 5ppm. Todos los porcentajes fueron superiores al 80% de remoción, el mayor porcentaje se evidencio a la concentración de 5ppm al ser del 97%, siendo así el porcentaje más alto de remoción de todos los metales estudiados y de los parámetros convencionales evaluados.

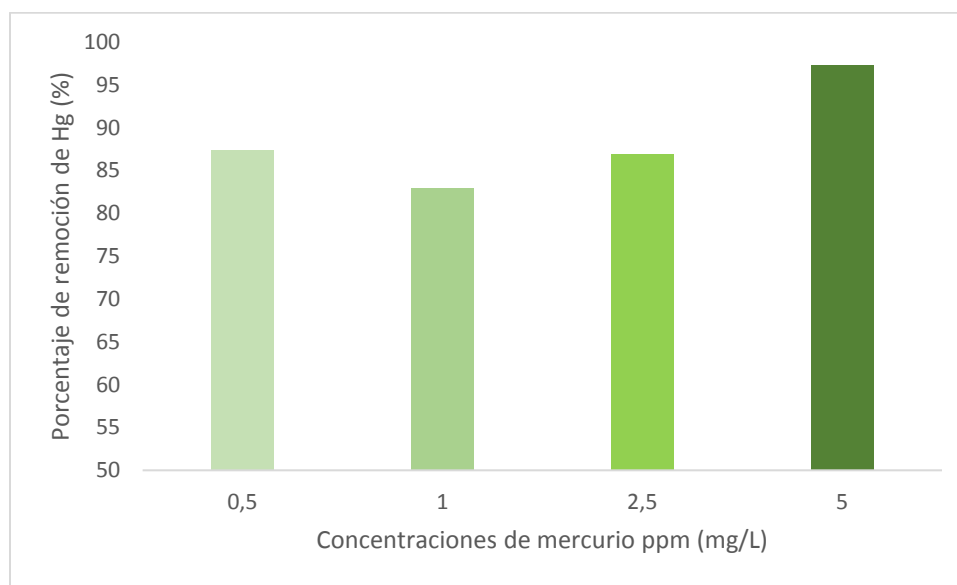


Figura 15 Porcentajes de remoción de mercurio a diferentes concentraciones en condiciones óptimas con TAM

A la concentración inicial fue 5ppm hubo una remoción del 97% de mercurio siendo la concentración final de 0.15ppm. Aunque es un alto porcentaje de remoción, no se logra llevar este parámetro a los valores máximos permisibles decretados en la Resolución 0635 del 2015, donde postulan que el valor máximo permisible en los efluentes debe ser máximo de 0,002ppm. Por lo cual se sugiere un tratamiento secundario con TAM ya que esta técnica

puede ser usada para remover bajas concentraciones de este metal y teniendo en cuenta la posibilidad de que los sitios activos del biopolímero se hayan saturado.

10.11 Actividad antimicrobiana de TAM

En la **Tabla 7** se puede evidenciar los resultados obtenidos mediante la variación del método Kirby-Baur, más específicamente el diámetro de los halos de inhibición producidos por los controles positivos ya que no se evidenciaron halos de inhibición alrededor de los pozos que contenían las diferentes cantidades del tanino (3 mL, 6 mL, 10 mL y 13 mL).

Tabla 7 Diámetro de los halos de inhibición por las diferentes concentraciones de TAM

Concentración del tanino	Diámetro del halo mm	E.Coli Salmonella sp.
150 ppm	-	resistente
300 ppm	-	Resistente
500 ppm	-	Resistente
650 ppm	-	Resistente
Ampicilina (control positivo)	170	sensible
Cloranfenicol (control positivo)	170	sensible
Trimetoprim + Sulfametoxazol (Control-positivo)	240	sensible
Control negativo	-	-

* la inhibición se interpreta como: mayor a 18mm: fuerte, entre 14-18mm: moderada y entre 10-13mm: débil. Si no presenta halo se dice que es resistente y se presenta con (-).

Como se puede observar en la **Tabla 7** no hubo inhibición da TAM a ninguna concentración para *Escherichia coli* ATCC 25922 ni *Salmonella typhimurium* ATCC 14028 lo que concuerda con la otro estudio donde evaluaron la capacidad antimicrobiana del tanino Acacia ante *S. aureus*, *Escherichia coli*, *Aspergillus niger* y *Candida sp* en el cual el tanino mostros zona de inhibición para bacterias Gram positivas (24,2mm), hongos (11,11mm) y levaduras (10,67mm) (C. dos Santos, Vargas, Fronza, & dos Santos, 2017). Entre los mecanismos de acción de los taninos se encuentra la inhibición de enzimas como poligalacturonasa y la transcriptasa inversa. (Micelial et al., n.d.; Monteiro, De Albuquerque, De Lima Araújo, & Cavalcanti De Amorim, 2005). En el estudio de (Delgado, 2016) se evaluó la concentración de los microorganismos *Escherichia coli* y *Salmonella typhimurium* antes y después del tratamiento de coagulación- floculación con el tanino modificado de Acacia y se evidencio disminución de estos microorganismos, estos resultados se pueden deber a una efecto de barrido o por el pH del agua usada que se estableció alrededor de 8.

11 Conclusiones

El proceso de coagulación floculación con el tanino modificado de Acacia (TAM) remueve los metales cobre (56%), cromo (87%) y mercurio (50%) de aguas residuales industriales y a su vez muestra una eficiencia similar a los coagulantes convencionales para la remoción de parámetros tales como materia orgánica, turbidez y sólidos suspendidos totales.

El pH óptimo en el cual se obtuvieron los mayores porcentajes de remoción de metales, así como de los parámetros fisicoquímicos evaluados, corresponde a pH alcalino (pH=9). El tanino acacia modificado presentó remoción de todos los parámetros fisicoquímicos y metales evaluados a los diferentes pH: ácido (4), neutro (7) y básico (9)

La dosis óptima con la que se evidenciaron los mejores porcentajes de remoción fue la de 3ml a partir de la solución stock de 50.000 ppm de TAM, es decir, la dosis óptima al 1% del tanino modificado Acacia (TAM) en el tratamiento de agua residual industrial.

Se removió el 97% de mercurio cuando este se encuentra en altas concentraciones (5 ppm), mediante la técnica de coagulación -floculación con el tanino modificado de Acacia (TAM) usando 3 mL de la solución stock de 50.000 ppm

El tanino modificado Acacia (TAM) no presentó actividad antimicrobiana ante los microorganismos *Escherichia coli* ATCC 25922 ni *Salmonella typhimurium* ATCC 14028.

12 Recomendaciones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el presente proyecto se sugiere:

- Realizar otros ensayos donde se determinen los porcentajes de remoción de 3 o más metales en una misma solución a diferentes pH y diferentes cantidades del tanino modificado Acacia.
- Evaluar como variante adicional al pH y dosis de coagulante, las velocidades programadas en el test de jarras.
- Determinar el tamaño de los flóculos formados en el proceso de coagulación floculación mediante el uso del tanino modificado de Acacia y así determinar una relación entre el tamaño del floculo y los porcentajes de remoción.
- Determinar las características de los lodos residuales del proceso de coagulación-floculación con TAM para determinar la disposición final adecuada de estos.

13 Bibliografía

- Acosta, Y. L. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúca, XL*, 10–17.
- Amuda, O. S., & Alade, A. (2006). Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater. *Desalination*, 196(1–3), 22–31.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.039>
- Arboleda, J. (1981). Coagulación. In *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua* (Centro Pan, p. 588).
- Area, María C, Ojeda, Sergio A, Barboza, Olga M, Bengoechea, Dora I, & Felissia, F. E. (2010). Tratamientos aplicables para la reducción de la DQO recalcitrante de efluentes de pulpas químico-mecánicas y semi-químicas (revisión). *Revista de Ciencia Y Tecnología*, 13(1851–7587). Retrieved from http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872010000100001
- Arismendi, W. (2016). *EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD FLOCULANTE DE TANINOS MODIFICADOS (QUEBRACHO, ACACIA, CASTAÑO) Y SU APLICACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Barrenchea, A. (n.d.). Ingeniero ambiental. Retrieved August 1, 2017, from <http://www.ingenieroambiental.com/?marco=Libro de Visitas>
- Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., & Dávila-Acedo, M. A. (2011). Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2–3), 1704–1712. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.075>
- Beltrán Heredia, J., & Sánchez Martín, J. (2009). Removing heavy metals from polluted surface water with a tannin-based flocculant agent. *Journal of Hazardous Materials*,

165(1–3), 1215–1218. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.09.104>

- Benavente, M., Sjoren, A., & Martinez, J. (2007). Remoción de mercurio de efluentes mineros por biosorción : un caso de estudio en la ciudad de La Libertad , Chontales , Nicaragua. *Nexo*, 20(2), 47–55.
- Bernal R., M., & Guzmán, M. (1984). El Antibiograma de discos. Normalización de la técnica de Kirby-bauer. *Biomédica*, 4(3–4), 112.
<https://doi.org/10.7705/biomedica.v4i3-4.1891>
- Black, W., & Nations, U. (2010). New coagulant agents from tannin extracts : Preliminary optimisation studies, 162, 1019–1025. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.07.011>
- Cardenas, Y. Tratamiento de agua coagulación y floculación, Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico 44 (2000). Lima.
- Carolin, C. F., Kumar, P. S., Saravanan, A., Joshiba, G. J., & Naushad, M. (2017). Efficient Techniques for the Removal of Toxic Heavy Metals from Aquatic Environment: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(March), 2782–2799.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.05.029>
- Chemistry, P. (2009). Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent, 249, 353–358. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.01.039>
- Delgado, C. (2016). *Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos de floculantes naturales y químicos en 3 tipos de agua residual pre y post tratamiento*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Departamento de Salud y Servicio Humanos, A. (2016). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Retrieved September 13, 2017, from https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.html
- dos Santos, C., Vargas, Á., Fronza, N., & dos Santos, J. H. Z. (2017). Structural, textural and morphological characteristics of tannins from *Acacia mearnsii* encapsulated using sol-gel methods: Applications as antimicrobial agents. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 151, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2016.11.041>

- Ebeling, J. M., Rishel, K. L., & Sibrell, P. L. (2005). Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aquacultural effluents. *Aquacultural Engineering*, 33(4), 235–249. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.02.001>
- Flaten, T. P. (2001). Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. *Brain Research Bulletin*, 55(2), 187–196. [https://doi.org/10.1016/S0361-9230\(01\)00459-2](https://doi.org/10.1016/S0361-9230(01)00459-2)
- Fu, F., & Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407–418. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>
- Gallo Maia, G. M. (2010). Curtiembres, una problemática ignorada. In K. Fabiola (Ed.), *Proyectos Jóvenes de investigación y Comunicación* (pp. 13–17). Buenos Aires.
- Greenpeace. (2011). Greenpeace denuncia contaminación del agua y deslizamientos de tierra por la minería en Tasco. Retrieved October 15, 2017, from <http://www.greenpeace.org/colombia/es/Noticias/Greenpeace-denuncia-contaminacion-del-agua-y-deslizamientos-de-tierra-por-la-mineria-en-Tasco/>
- Guillermo, P. (n.d.). Espectrometría de absorción atómica. Retrieved July 9, 2017, from http://www.espectrometria.com/espectrometra_de_absorcin_atmica
- Gustavo, L. (n.d.). El cobre y el ambiente. In S. Hernan (Ed.), *COBRE: Salud, Medio Ambiente y Nuevas Tecnologías* (pp. 58–70). Santiago de Chile.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción De La Turbidez Del Agua Usando Coagulantes Naturales: Una Revisión Reduction of Water Turbidity Using Natural Coagulants: a Review. *U.D.C.A Act. & Div. Cient*, 16(1), 253–262. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a29.pdf>
- Hameed, Y. T., Idris, A., Hussain, S. A., & Abdullah, N. (2016). A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater: Chemical composition, performance assessment compared to Polyaluminum chloride, and application in a pilot plant. *Journal of Environmental Management*, 184, 494–503.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.033>

- Hanna. (2012). COD and Multiparameter Bench Manual, 1–136. Retrieved from <http://www.hannainst.com/usa/prods2.cfm?id=008001&ProdCode=HI 83099>
- Lee, C. S., Robinson, J., & Chong, M. F. (2014). ARTICLE IN PRESS A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 2(May), 489–508. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.04.010>
- Lenntech, B. (n.d.-a). Lenntech cobre. Retrieved July 8, 2017, from <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm>
- Lenntech, B. (n.d.-b). Lenntech Cromo. Retrieved September 15, 2017, from <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm>
- Lenntech, B. (n.d.-c). Lenntech mercurio. Retrieved August 19, 2017, from <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/hg.htm>
- Mangini, s; Prendes, P; Amsler, H; Huespe, J. (2003). Importancia de la floculación en la sedimentación de la carga de lavado en el ambiente del río Paraná. *Ingeniería Hidráulica En México*, 18(0186–4076), 55–70.
- Micelial, C., Fitopatogenos, D. E. H., A, V. G. R., Martínez, R. M., Mario, L. V., Rafael, V. R., ... Correo, M. (n.d.). Evaluación del efecto de concentrados de taninos sobre el crecimiento micelial de hongos fitopatogenos.
- Milestone. (2013). DMA-80. Retrieved October 12, 2017, from <https://milestonesrl.com/es/mercurio/dma-80/características.html#a1>
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, M. (2015). Resolución 0631.
- Mohammed, H., Sadeek, S., Mahmoud, A. R., & Zaky, D. (2016). Comparison of AAS, EDXRF, ICP-MS and INAA performance for determination of selected heavy metals in HFO ashes. *Microchemical Journal*, 128, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.04.002>
- Monteiro, J. M., De Albuquerque, U. P., De Lima Araújo, E., & Cavalcanti De Amorim, E.

- L. (2005). Taninos: Uma abordagem da química à ecologia. *Quimica Nova*, 28(5), 892–896. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000500029>
- Morales, Diana, R. K. (2008). *Determinacion de la capacidad de remoción de cadmio, plomo y níquel por hongos de podredumbre blanca inmovilizados*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Navarro, N. (2015). Ingeniería y Servicios Ambientales. Retrieved October 3, 2017, from <http://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/prueba-de-jarras>
- Özacar, M., & Şengil, I. A. (2003). Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 229(1–3), 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2003.07.006>
- Rangel Cordova, A. A., Isarain Chávez, E., & Maldonado Vega, M. (2015). Caracterización y recuperación de sales de cromo hexavalente de un pasivo ambiental. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 31(4), 427–437.
- Reyes, E. C. M. (2016). *EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO POR COAGULACIÓN PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CEMENTOS ARGOS S.A. PLANTA RÍOCLARO, MUNICIPIO DE SONSÓN – ANTIOQUIA, PARA FINES DE REÚSO*. UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD.
- Rice, E. W., Baird, R. B., & Eaton, A. D. (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton, editors.
- Rubio, D. I. C., Calderón, R. A. M., Gualtero, A. P., Acosta, D. R., & Rojas, I. J. S. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Revista Ingeniería Y Región*, 13(1), 73–90.
- Santander, M., Tapia, P., Pávez, O., Valderrama, L., & Guzmán, D. (2009). Remoción de partículas adsorbentes de iones cobre por flotación Jet. *Revista de Metalurgia*, 45(5), 365–374. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.0845>
- Santos, D., Tanac, G., Fernando, W., Universidade, F., Grande, R., Production, B. I., ...

- View, E. (2016). Desarrollo de productos a partir de *Acacia mearnsii* : un proceso sostenible en la industria del curtido, (April).
- Schinus, D. E. L., María, L., Martínez, J., Nancy, L., González, A., & Badell, B. (1996). Actividad Antimicrobiana, *1*(3), 37–39.
- Taroco, R., Seija, V., & Vignoli, R. (2006). Métodos de estudio de la sensibilidad antibiótica. *Temas de Bacteriología Y Virología Médica*, (Cim), 663–672. Retrieved from <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/BacteCEFA36.pdf>
- Universidad, P., Bogotá, J., Ingeniería, F. De, & Geofísico, I. (2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS : IMPLICACIONES EN SALUD , AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA Heavy metals contamination : implications for health and food safety, *16*, 66–77.
- Vargas, L. (2004). Coagulación. In *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I* (p. 597). Lima.
- World Wide Fund for Nature. (n.d.). Agua, riqueza para la gente y la naturaleza. Retrieved October 10, 2017, from http://www.wwf.org.co/que_hacemos/agua/
- Ying, X., & Fang, Z. (2006). Experimental research on heavy metal wastewater treatment with dipropyl dithiophosphate. *Journal of Hazardous Materials*, *137*(3), 1636–1642. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.04.055>
- You, L., Song, L., Wang, A., Lu, F., & Zhang, Q. (2017). Fabrication of a Cationic Polysaccharide for High Performance Flocculation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *520*, 841–849. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.02.078>