



Universidad
Mariana

Estudio de la presencia de subproductos de la desinfección con cloro en aguas tratadas con
coagulantes naturales y sulfato de aluminio.

María Isabel Moncayo Pastas
Sahira Damaris Pantoja Romo
Kareth Yuliana Solarte Murangal

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Civil

San Juan de Pasto

2024

Estudio de la presencia de subproductos de la desinfección con cloro en aguas tratadas con coagulantes naturales y sulfato de aluminio.

María Isabel Moncayo Pastas
Sahira Damaris Pantoja Romo
Kareth Yuliana Solarte Murangal

Informe de investigación para optar al título de: Ingeniero Civil

PhD. Lorena Lucia Salazar Gámez
Asesora

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Civil
San Juan de Pasto
2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son
responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a Dios por su constante guía y apoyo a lo largo de nuestro trabajo de grado. A nuestra directora de tesis Ph.D. Lorena Lucia Salazar Gámez, quien con su experiencia y sabiduría guio este trabajo de investigación de manera excepcional. A todas las personas que participaron en este estudio, su colaboración fue esencial para la realización de este trabajo, muchas gracias por su tiempo y disposición.

Isabel Moncayo, Sahira Pantoja y Karenth Solarte.

Dedicatoria

Ante todo, quiero expresar mi gratitud a Dios, por ser mi guía y fuente de fortaleza en los momentos de dificultad y desesperación, su amor incondicional ha sido mi sostén en cada paso del camino. Con humildad dedico este trabajo a mis padres Ramiro Moncayo y Magali Pastas, quienes han sido un pilar en mi carrera desde el primer día. A ellos les debo todo lo que soy y todo lo que he logrado, cada sacrificio y cada sonrisa que me han brindado ha sido un recordatorio constante de su amor incondicional. Espero que esta dedicación les sirva como un modesto tributo a su inalcanzable dedicación y amor.

A mis hermanas, María José Moncayo, María Camila Moncayo y María Fernanda Moncayo, quienes me han acompañado en este camino, cada desafío que he enfrentado, cada éxito que he celebrado, ustedes han estado ahí, brindándome su apoyo y su sabiduría. Su presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable, y no hay palabras suficientes cuánto significan para mí, que esta dedicación les recuerde siempre que las valoro y las amo.

A mis estimados profesores, con profunda gratitud y respeto, dedico este logro a cada uno de ustedes, cuya dedicación, sabiduría y orientación han sido fundamentales en mi camino hacia la culminación de este trabajo de grado; ustedes han sido modelos para seguir y fuentes de inspiración.

A mis compañeras, quiero expresar mi más sincero agradecimiento por su compañerismo, colaboración y amistad durante las largas horas de trabajo, la dedicación y buen ánimo han contribuido no solo al éxito de nuestro equipo, sino también al crecimiento personal y profesional, gracias por formar parte de este camino.

María Isabel Moncayo Pastas

Dedicatoria

Infinita gratitud hacia Dios por su amor y su bondad, que no tienen fin, me permite sonreír ante este logro de culminar mi carrera como Ingeniera Civil, que son resultado de su ayuda. Gracias por estar presente no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor y buscando lo mejor para mi crecimiento personal. Quiero agradecer y dedicar este paso significativo en mi vida a las personas más importantes, mi madre Idalia Romo, Mujer fuerte y luchadora, que con su amor me ha apoyado y guiado por el buen camino, nunca me alcanzara la vida para agradecer todas y cada una de las cosas que hace y que seguramente continuará haciendo por mí. Mi padre Wilson Pantoja, quien ya no se encuentra físicamente a mi lado, pero cuyo amor y apoyo continúan guiándome cada día. Tu partida dejó un vacío irremplazable en mi vida, pero tu espíritu de lucha y tu ejemplo de perseverancia siguen siendo mi mayor fuente de inspiración. Espero poder honrar tu memoria viviendo una vida llena de éxito y sé que tu legado continuara viviendo a través de trabajo y perseverancia.

A mis primas, Dayana Eraso y María Eraso, a mis tíos Harold Pantoja, Helena Pantoja y Álvaro Eraso quienes han estado a mi lado en cada paso del camino. Su apoyo incondicional y sus palabras de aliento han sido fundamentales para llegar hasta aquí. A mis hermanos Fernando Pantoja y Camila Pantoja, quienes también han sido mi inspiración y mi motivación en este camino. A toda mi familia gracias por sus sabios consejos, por creer en mí y por ayudarme a alcanzar este logro. Este logro también es suyo, y les agradezco de corazón por formar parte de mi vida y de este proceso académico. Los amo.

Finalmente, no menos importante, agradecer a todos los docentes por su dedicación, su experticia, sus conocimientos, su experiencia, su entusiasmo y su colaboración que han sido invaluable, y a mis compañeras que juntas hemos superado obstáculos y celebrados logros. Este trabajo es un reflejo de nuestro esfuerzo conjunto, y estoy gratificada por haber compartido esta experiencia con ustedes. ¡Gracias por ser parte de este viaje!

Sahira Damaris Pantoja Romo

Dedicatoria

En primer lugar, quiero expresar mi profunda gratitud a Dios por haberme permitido completar mi carrera como ingeniera civil. Reconozco plenamente que, sin Su bendición, este logro no habría sido posible. En segundo lugar, deseo extender mi más sincero agradecimiento a mis padres, Geovany Solarte y Diana Murangal. Su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido el pilar fundamental de mi éxito. Les debo todo lo que soy y todo lo que he logrado en la vida. Este logro no solo me pertenece a mí, sino que también es suyo. Gracias por estar siempre a mi lado.

Asimismo, agradezco a mi familia por estar siempre presentes impulsándome a dar lo mejor de mí en cada desafío y celebrando cada logro conmigo. Sé que no habría llegado hasta aquí sin su constante apoyo y confianza en mí.

Quiero expresar mis agradecimientos a nuestra asesora PhD, Lorena Salazar Gámez, por su orientación experta, paciencia y dedicación incansable durante todo el proceso de investigación. De igual manera, deseo expresar mi gratitud a los docentes de la universidad por su sabiduría, enseñanzas y motivación constante, los cuales han enriquecido enormemente mi educación.

Finalmente, quiero dirigir unas palabras de agradecimiento a mis compañeras de trabajo, quienes han sido una fuente constante de apoyo, comprensión y ánimo durante las largas horas de estudio y trabajo. Gracias por compartir esta etapa conmigo.

Karenth Yuliana Solarte Murangal

Contenido

Introducción	13
1. Resumen del proyecto	16
1.2. Formulación del problema	16
1.3. Justificación.....	16
1.4. Objetivos	19
1.4.1. Objetivo general.....	19
1.4.2. Objetivos específicos	19
1.5. Antecedentes	19
1.6. Metodología	23
1.6.1. Descripción de los materiales y métodos por objetivo específico, incluyendo el diseño experimental y las variables	23
2. Presentación de resultados	35
2.1. Productos generados.....	62
3. Conclusiones	63
4. Recomendaciones.....	65
Referencias bibliográficas	67
Anexos.....	72

Índice de Tablas

Tabla 1. Número de ensayos.....	23
Tabla 2. Número de ensayos test de jarras	28
Tabla 3. Diseño experimental.....	29
Tabla 4. Número de ensayos por coagulante.....	30
Tabla 5. Número de ensayos.....	32
Tabla 6. Caracterización del Río Pasto.....	36
Tabla 7. Fuente por parámetro.....	37
Tabla 8. Determinación de dosis óptima M. Oleíferas.....	39
Tabla 9. Determinación de la dosis óptima Yausa	42
Tabla 10. Determinación de dosis óptima S. Aluminio.....	44
Tabla 11. Resultados de % remoción para los tres coagulantes.	46
Tabla 12. Dosis óptima de cloro en M. Oleífera	48
Tabla 13. Dosis óptima de cloro en Yausa	50
Tabla 14. Dosis óptima de cloro S. Aluminio	51
Tabla 15. Resumen de dosis óptima por coagulante	52
Tabla 16. Subproductos generados.....	57
Tabla 17. Cantidad de Trihalometanos Yausa.....	59
Tabla 18. Cantidad de Trihalometanos M. Oleífera.....	59
Tabla 19. Cantidad de Trihalometanos M. Oleífera.....	60
Tabla 20. Cantidad de Trihalometanos M. Oleífera.....	61

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación punto de muestreo.....	15
Figura 2. Clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento y el grado de tratamiento asociado.	25
Figura 3. Preparación de coagulante M. Oleífera.....	27
Figura 4. Preparación de coagulante Yausa (Abutilon insigne Planch).	27
Figura 5. Actividad para determinar la curva de demanda de cloro.....	31
Figura 6. Estándares y valores-guía relativos a los SPD en diferentes países.....	33
Figura 7. Recolección de muestras en el río Pasto.	35
Figura 8. Determinación de dosis óptima con coagulante natural M. Oleífera.	40
Figura 9. Determinación de dosis óptima con coagulante natural Yausa.....	43
Figura 10. Determinación de dosis óptima con coagulante Sulfato de aluminio	45
Figura 11. Promedio de porcentaje de remoción de turbiedad.....	46
Figura 12. Promedio de porcentaje de remoción de color.....	47
Figura 13. Demanda de cloro de M. Oleífera.....	49
Figura 14. Demanda de cloro de Yausa.....	50
Figura 15. Demanda de cloro de S. Aluminio.....	51
Figura 16. Análisis de cromatografía Blanco.....	54
Figura 17. Análisis de cromatografía Yausa.	54
Figura 18. Análisis de cromatografía M. Oleífera.....	55
Figura 19. Análisis de cromatografía de Sulfato de aluminio	56
Figura 20. Concentraciones finales de subproductos.	61

Tabla de ecuaciones

[1] Demanda química de oxígeno	25
[2] Demanda biológica de oxígeno.....	26
[3] Volumen	29
[4] Cloro Residual	311
[5] Concentración	34

Índice de Anexos

Anexo A. Prueba de coliformes totales.	72
Anexo B. Cromatografía del Blanco	74
Anexo C. Cromatografía de coagulantes naturales.	75
Anexo D. Cromatografía del Sulfato de aluminio	77
Anexo E. Materiales y equipos de laboratorio.	78

Introducción

En la sociedad actual, el agua es reconocida como un elemento esencial para la existencia misma. No obstante, su calidad se ve amenazada por la contaminación generada en diversas actividades humanas e industriales. Por consiguiente, es imperativo implementar métodos de tratamiento inicial que contribuyan a mejorar su calidad y la hagan adecuada para el consumo humano (Arias, Hernandez, Castro, & Sanchez, 2017). Dichos procedimientos de purificación del agua involucran varios pasos, entre los que destacan la coagulación y la cloración, esta última fundamental para asegurar que el agua tratada sea segura para el consumo humano. Ante el crecimiento poblacional a nivel global, es crucial velar por la preservación de la salud, y en este sentido, los procesos de tratamiento del agua juegan un papel esencial al garantizar una distribución del recurso de manera segura y limpia.

En Latinoamérica, la disminución del recurso hídrico se ha dado por las altas tasas de deforestación, que afectan de manera directa y significativa las reservas de agua a su vez que genera quebranto de la biodiversidad global debido a la pérdida de cobertura vegetal (Rivas, 2023). En este orden de ideas, el planeta atraviesa una crisis mundial de agua donde “el 50% de la población sufre escasez del recurso al menos un mes al año” y de acuerdo con el pronóstico de la FAO citado en (Ambassadors, 2024), para el año 2025 es probable que 1.800 millones de personas enfrenten escasez absoluta de agua. Teniendo en cuenta la crítica situación, es fundamental tomar acciones para mitigar estos impactos desde la protección y restauración de los bosques y espacios naturales que garanticen la producción y abastecimiento de agua, así como también la implementación de tratamientos convencionales que permitan optimizar la calidad del agua.

El propósito central de esta investigación es evaluar los subproductos de la desinfección del cloro, Trihalometanos (THM's) y ácidos haloacéticos (HAA) en aguas tratadas con Yausa y M. Oleífera como coagulantes naturales y el Sulfato de aluminio como coagulante convencional, es de anotar que “los THM's formados en agua clorada tienen efectos perjudiciales para la salud humana debido a sus riesgos cancerígenos y no cancerígenos” (Priya, Tarafdar, Grupta, & Mishra, 2018) si sus trazos en el agua son elevados y no se controlan de manera adecuada, tal es el caso del Sulfato de aluminio, que es el coagulante convencional más utilizado durante los procesos de

potabilización de agua, que presentan en cantidad subproductos formados por la reacción del cloro con materia orgánica al final del proceso de desinfección, convirtiéndolo en un potente agente para la enfermedad de Alzheimer. (Priya, Tarafdar, Grupta, & Mishra, 2018).

Ahora bien, teniendo en cuenta la caracterización del Río Pasto desarrollada por (Leon Rincón, 2022) afirma que: “el municipio cuenta con 10 puntos de vertimiento que son responsabilidad directa de EMPOPASTO S.A E.SP que provienen directamente del alcantarillado y de los colectores de aguas lluvias, donde se encuentran descargas de metales pesados de manera directa a lo largo del recorrido del cauce de la fuente, lo que significa que la mayoría de estos vertimientos no tienen permiso de la autoridad ambiental competente lo que produce que su información, seguimiento y control sea deficiente” (pp. 56)

Es importante tener en cuenta que la calidad del agua determina el uso del recurso en las actividades desarrolladas por el ser humano, por esto, las condiciones entre usos varían, cuidando las características del agua para el mismo, puesto que, al no tratarse adecuadamente representa un riesgo latente en la salud. (Puente Miranda, Valenzuela García, & Alarcón Herrera, 2023). Entonces, para minimizar el impacto se hace necesario implementar un estudio para tratar el agua, con el fin que mejore la calidad y sirva de abastecimiento para la comunidad que la requiera, llevando a cabo procesos, dentro de los cuales se destacan la coagulación y floculación utilizando sustancias naturales y químicas que permiten mejorar la eficiencia de dichos procedimientos.

Adicional a ello, dada la crisis de agua que atraviesa el planeta en la actualidad, es trascendental el uso de coagulantes naturales para garantizar el acceso al agua a todas las poblaciones, ya sean rurales o urbanas puesto que, “estas opciones de tratamiento se han convertido en una alternativa sostenible (Salazar Gámez, y otros, 2024) que garantizan la salud humana desde el cuidado del agua como recurso vital para el desarrollo de la vida al tiempo que reduce los subproductos de la cloración que son nocivos para el ser humano si se encuentran en grandes cantidades al final del proceso de tratamiento.

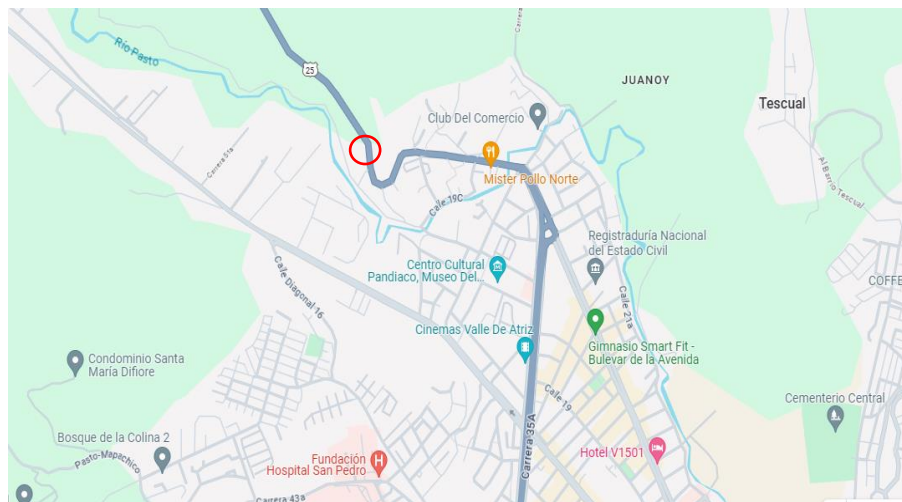
Es relevante tener en cuenta que el lugar de toma de muestras está influenciado por vertimientos tanto domésticos como industriales, que se localizan a una distancia de 100 metros del río Pasto

según el informe de (Corponariño, 2016)Esto subraya la necesidad imperante de tratar el agua para prevenir posibles impactos aguas abajo, especialmente considerando que este cuerpo de agua abastece a las comunidades cercanas.

A lo largo de la investigación, se encontró que, para mitigar los impactos negativos que tiene el agua contaminada y el agua cargada de subproductos post desinfección sobre la salud humana, como los riesgos cancerígenos y de alzhéimer (Priya, Tarafdar, Gupta, & Mishra, 2018) es imprescindible implementar procesos de tratamiento que reduzcan estos riesgos. Entre estos procesos, la coagulación y floculación son destacados, permitiendo la eliminación de impurezas, aunque, si bien es cierto que “los coagulantes tradicionales a base de metales han demostrado ser eficaces, sus inconvenientes, como la producción de lodos químicos y los impactos ambientales adversos, han estimulado la exploración de soluciones alternativas y ecológicas” (Salazar Gámez, y otros, 2024) la alternativa del uso de coagulantes naturales a base de semillas y plantas como *M.Oleífera* y *Yausa*, presentan oportunidades prometedoras para mejorar el tratamiento del agua y al mismo tiempo mitigar los efectos ecológicos adversos, que al ser biodegradables su riesgo contra el medio ambiente es menor dada su baja carga química, garantizando seguridad para la salud de la población. (pp.657-658).

Figura 1

Mapa de ubicación punto de muestreo



Fuente: Google maps, 2024.

1. Resumen del proyecto

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la generación de subproductos de desinfección en aguas tratadas con coagulantes naturales e inorgánico. Para lograr este propósito, se llevaron a cabo análisis de dos coagulantes naturales, Yausa (*Abutilon insigne* Planch) y *M. Oleífera* (*Moringa*), junto con el coagulante inorgánico sulfato de aluminio para propósitos de comparación. Las muestras de agua se recolectaron del río Pasto, el cual se encuentra en una categoría deficiente según respecto al POT (Plan de ordenamiento territorial), lo que hace imprescindible entender cómo tratar adecuadamente el agua para su potabilización y garantizar la seguridad y salud de las comunidades que dependen de él.

La investigación determinó las dosis óptimas de los coagulantes naturales e inorgánicos, a partir del proceso de coagulación, con un análisis del efluente, aplicando el proceso de desinfección determinando dosis óptima y evaluando la generación de subproductos como los Trihalometanos y los ácidos haloacéticos, con el objetivo de comprender su impacto en la salud humana y dar soluciones sostenibles basadas en la naturaleza y en tecnologías limpias, como los coagulantes naturales.

Palabras claves: *M. Oleífera*, Yausa, Sulfato de aluminio, Desinfección, Dosis óptima, Trihalometanos, Ácidos haloacéticos, Salud humana.

1.2. Formulación del problema

¿Existe diferencia en la generación de subproductos de desinfección en aguas tratadas con un coagulante inorgánico (sulfato de aluminio) y con coagulantes naturales (*Yausa* y *Oleífera*)?

1.3. Justificación

La desinfección del agua en la actualidad se la ha realizado de manera usual, con la finalidad de eliminar aquellos microorganismos como son los virus, bacterias, hongos y parásitos, dado que, estos son capaces de provocar enfermedades a los seres humanos. Para llevarse a cabo la

potabilización del agua se utilizan diferentes desinfectantes como cloro, yodo y permanganato potásico, pero, el que prevalece es el cloro y sus compuestos. (Rodríguez, Rodríguez, Serodes, & Sadiq, 2007)

Actualmente, en el proceso de coagulación se emplean dos tipos de coagulantes: químicos y naturales. Los coagulantes químicos, además de actuar como floculantes, tienen la capacidad de formar compuestos complejos hidratados cuando se diluyen. Entre los más comúnmente utilizados se encuentran el Sulfato de aluminio, el sulfato férrico, el sulfato ferroso, el cloruro férrico y el aluminato de sodio. Sin embargo, estos compuestos presentan desventajas para la salud humana y el medio ambiente. Debido a su notable resistencia a la biodegradación en el suelo y el agua, estos residuos forman conglomerados de lodos que persisten en el medio ambiente, con niveles significativos de toxicidad. Esta toxicidad elevada puede causar enfermedades como el Alzheimer, problemas estomacales, daños en el sistema nervioso, e incluso efectos cancerígenos a largo plazo. (Vijayaraghavan, Sivakumar, & Vimal Kumar, 2011)

La presencia de materia orgánica natural (NOM) en fuentes hídricas representa una problemática crucial debido a los posibles subproductos generados de la cloración que pueden tener impactos en la salud. Por ello se ve la necesidad de desarrollar soluciones efectivas para eliminar la NOM, puesto que su presencia puede dar lugar a la formación de subproductos de desinfección, lo que conlleva riesgos potenciales para la salud pública (Dayarathne, Angove, Aryal, Abuel-Naga, & Mainali, 2021)

En consecuencia, los coagulantes naturales se han convertido en una fuente alternativa para el tratamiento de aguas, dado su mayor contenido de carbohidratos y proteínas solubles en agua. Además, en Colombia se pueden encontrar fácilmente las materias primas utilizadas como coagulantes, lo que reduce considerablemente los costos asociados (Bravo, 2015). Sin embargo, al reaccionar con agentes desinfectantes como el cloro, estos coagulantes naturales pueden generar efectos adversos, como el sabor desagradable del agua tratada o efectos más significativos, como la oxidación de la materia orgánica durante los procesos de oxidación avanzada aplicados en la regeneración de aguas provenientes de depuradoras. Esta oxidación durante la desinfección puede generar compuestos carcinógenos conocidos como Trihalometanos y ácidos haloacéticos (Lázaro, 2008). Estos compuestos no deseados se forman únicamente cuando los precursores orgánicos y el

Cloro Residual Libre (CRL) están presentes simultáneamente durante un período prolongado. Una vez que se han formado, resulta difícil eliminarlos del agua. Por esta razón, es de suma importancia tomar medidas preventivas para evitar su formación, puesto que se ha notado que cuanto mayor es la exposición promedio a los Trihalometanos (THM's) a lo largo de la vida, mayor es el riesgo de desarrollar cáncer de vejiga urinaria, lo que sugiere una relación directa entre la cantidad de exposición y la probabilidad de padecer la enfermedad. Además, se han investigado los posibles defectos en recién nacidos de madres expuestas a estos subproductos de la cloración para determinar si existe una relación entre la exposición y los problemas de salud en los neonatos (Sanchez, 2008).

El coagulante natural que más está siendo empleado en el tratamiento de agua es el generado por el proceso de transformación de la semilla de la planta *M. Oleífera*, este reconoce como uno de los árboles más versátiles del mundo debido a su capacidad para resistir la sequía, sus propiedades nutricionales, su capacidad como fertilizante para el suelo, su uso medicinal y su eficacia como coagulante del agua (Arias, Hernandez, Castro, & Sanchez, 2017). La *M. Oleífera* como coagulante natural ofrece una opción viable, rentable y segura para el proceso de potabilización. (Feria, Bermúdez, & Estrada Tordecilla, 2014)

La Yausa (*Abutilon Insigne Planch*) es una planta mucilaginososa que crece de forma silvestre. Ha demostrado resultados sobresalientes en la eliminación de turbidez en la clarificación del jugo de caña de azúcar. Además, debido a su fácil disponibilidad, podría ser implementada a nivel regional para satisfacer las necesidades de cobertura en el país, especialmente en las zonas rurales (Quezada, Quezada, & Gallardo, 2016).

Por lo anteriormente mencionado, esta investigación se centró en evaluar la generación de subproductos de la desinfección con cloro en aguas tratadas con Yausa (*Abutilon Insigne Planch*) y *M. Oleífera* como coagulantes naturales y comparar con sulfato de aluminio como coagulante químico, debido a la importancia de conocer si hay diferencias en generación de subproductos con cada uno de los coagulantes antes mencionados, además de conocer las eficiencias de los mismos en aguas altamente contaminadas.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la presencia de subproductos de la desinfección con cloro en aguas tratadas con coagulantes naturales (Yausa y Oleífera) frente a un coagulante inorgánico (Sulfato de aluminio).

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la dosis óptima mediante el ensayo de jarras para los tres coagulantes.
- Obtener la curva de demanda de cloro en aguas tratadas con los tres coagulantes.
- Analizar la generación de los subproductos de desinfección, principalmente en los Trihalometanos y ácidos haloacéticos, con los tres coagulantes.

1.5.Antecedentes

A continuación, se da a conocer un análisis de los conceptos encontrados en diferentes fuentes de datos como los artículos indexados, tesis, entre otros, en el cual se encuentra información relevante como base para el desarrollo de la investigación.

El documento (Corponariño, 2016), propone un enfoque integral para la gestión y ordenamiento del cauce principal de este río. Su contenido aborda aspectos fundamentales como la conservación ambiental, la gestión del agua, la mitigación de riesgos, el desarrollo urbano y rural, y la participación comunitaria. Este documento adquiere una relevancia significativa debido a que detalla las comunidades ubicadas aguas abajo del punto de captación del río Pasto.

El trabajo de grado de la Universidad Mariana (Benavides & Delgado, 2019), habla de la evaluación de la Yausa como coagulante natural en el tratamiento de agua para consumo humano buscando alternativas naturales y eficientes en procesos de potabilización, lo que se obtuvo una eficiencia de remoción en turbiedad de 70.44% y remoción de color de 72.11% en el que permite

observar que si sirve como coagulante natural puesto que disminuye los parámetros fisicoquímicos del agua a mejores condiciones.

En el trabajo de grado de la Universidad Mariana se presentó un estudio acerca de la M. Oleífera (Melo, Realpe, & Rosales, 2023), que habla de la evaluación de materia orgánica y coliformes presentes en el río Pasto, donde presenta una dosis óptima del coagulante a 40 ml/L que elimina un 12.39% de DQO, mientras que la dosis óptima de Sulfato de aluminio a 30 ml/L es un 20 % más eficiente en la eliminación de DBO. Así mismo, muestran una eficiencia de remoción de microorganismos patógenos, en el que la M. Oleífera alcanza un 31.67% y el Sulfato de aluminio 35.03%, se ve que la diferencia no es mucha, pero se aprecia el aporte que tuvo la M. Oleífera.

Según el trabajo de grado de la Universidad Mariana (Munares, Ceballos, & Zambrano, 2022), habla del comportamiento del coagulante Yausa en los parámetros de demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno en un proceso de potabilización del agua, debido a que estos miden el grado de contaminación del agua y su relación determina el grado de biodegradabilidad, con una eficiencia de remoción con respecto a la demanda biológica de oxígeno fue de 16.08% y de la demanda química de oxígeno es de 20.01%. Se logra identificar que a pesar de que la Yausa sirve para la remoción de partículas coloidales permitiendo que los niveles de Turbiedad y Color disminuyan, no sirve para la eliminación de materia orgánica presente en el agua si no que por lo contrario la aumenta, y a si mismo haga que se presente una baja Biodegradabilidad que está por debajo de 0.2.

Según el equipo de comunicación (Aconsa, 2021), habla que los principales parámetros de calidad del agua de consumo humano que deben ser monitoreados son: pH, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales y cloro residual en el que se miden utilizando técnicas de laboratorio especializadas y las autoridades reguladoras establecen límites máximos permitidos para cada uno de ellos, es importante garantizar que se cumplan estos requisitos de calidad del agua potable para proteger la salud pública.

En el artículo (Rodríguez, Rodríguez, Serodes, & Sadiq, 2007), habla de los subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación, en el que la

desinfección del agua es un proceso importante para garantizar la seguridad del agua al eliminar los microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades. Sin embargo, la desinfección también puede producir subproductos no deseados, como los Trihalometanos y los ácidos haloacéticos, entre otros, que pueden causar efectos nocivos para la salud humana, como son el cáncer, daño del hígado, riñón, sistema nervioso y efectos sobre la reproducción y desarrollo.

En el artículo (Quirós, 2005) desinfección del agua con cloro y cloraminas, explica que el punto de ruptura del cloro es el punto en el proceso de desinfección del agua en el que el cloro reacciona completamente con la materia orgánica presente en el agua. Se utiliza como una herramienta para determinar la cantidad de cloro necesaria para la desinfección adecuada del agua. El punto de ruptura se mide en el laboratorio midiendo la cantidad de cloro residual en el agua después de cada adición de cloro y es importante tener en cuenta que un alto punto de ruptura puede indicar una alta carga de materia orgánica en el agua, lo que puede aumentar la formación de subproductos de la desinfección.

Por parte de (Mena, 2007), la desinfección del agua: Sistemas utilizados en el instituto costarricense de abastecimiento de agua y alcantarillado, en el cual, destaca la importancia de la desinfección como tratamiento final del agua, proporcionando una breve descripción del proceso y abordando los subproductos de la cloración. Se mencionan los resultados de dos investigaciones realizadas en Estados Unidos sobre los efectos secundarios del consumo de cloro. Además, se ofrece una breve descripción de otras tecnologías de desinfección, centrándose en las más utilizadas por las instituciones y acueductos rurales.

Según la investigación (Alegre Calvo, 2021), en su tesis doctoral titulada "*Trihalometanos en aguas de consumo humano y efectos en la salud, tratamientos alternativos de desinfección*" de la Universitat Politècnica de València, se destaca que la desinfección del agua mediante el uso de cloro, como método estándar de tratamiento, ha tenido un impacto significativo en la reducción de la mortalidad por enfermedades infecciosas, representando uno de los mayores avances en la salud pública. Sin embargo, se señala que el cloro, además de ejercer una acción desinfectante residual, produce subproductos de desinfección (SPD) al reaccionar con la materia orgánica natural presente en el agua. Más de 700 subproductos han sido identificados, y entre los más estudiados se

encuentran los Trihalometanos (THM's), los ácidos haloacéticos (HAA), los haloacetnitrilos y las halocetonas ha sido identificada en el agua tratada con cloro, lo que destaca la importancia de evaluar y gestionar estos contaminantes para proteger la salud pública.

La formación de subproductos de desinfección depende de varios factores, como el tipo de desinfectante utilizado, las condiciones de la fuente de agua, la temperatura y la duración de un proceso de desinfección, por lo que investigación (Vásquez & Santos, 2021) analizó la presencia de Trihalometanos totales como subproducto de la desinfección en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano. Evalúa los niveles de THM's, sus posibles efectos en la salud como problemas en el sistema nervioso, riesgo de cáncer y efectos negativos reproductivos, también propone medidas para minimizar su presencia como optimizar el proceso de desinfección y monitoreo regular para medir los niveles de THM's, según los estándares y valores guía relativos a los SPD en diferentes países, que incluye la comparación de valores para agua potable de Australia, Nueva Zelanda y Reino Unido.

Según la publicación del (EPA, 2001), titulada "EPA 816-F-09-004", se establece un límite máximo de contaminación de 60 µg/L en agua potable para los subproductos halogenados potencialmente tóxicos, como los ácidos haloacéticos. Así también para la concentración de Trihalometanos totales de 80 µg/L. Estos compuestos orgánicos halogenados, se generan durante el proceso de desinfección del agua mediante la reacción entre la materia orgánica disuelta en el agua cruda y el cloro utilizado para su desinfección.

La Directiva Marco del Agua (Europea, 2000), establece normas rigurosas para garantizar la calidad del agua potable y proteger la salud pública. Dentro de esta normativa, se aborda específicamente la presencia de subproductos de desinfección, como los Trihalometanos (THM's) y los ácidos haloacéticos (HAAs), los cuales pueden generarse durante el proceso de desinfección del agua con cloro. Los THM'S'S y HAAs representan preocupaciones particulares debido a su potencial para causar efectos adversos para la salud a largo plazo, como un aumento en el riesgo de cáncer. Por lo tanto, la DMA establece límites máximos permitidos para estos subproductos en el agua potable, tales como 100 µg/L para la suma de los cuatro THM's y 50 µg/L para la suma de

los cuatro HAAs. Estos límites son fundamentales para proteger la salud pública y garantizar que el agua potable en toda la Unión Europea cumpla con los estándares de calidad establecidos.

1.6. Metodología

1.6.1. Descripción de los materiales y métodos por objetivo específico, incluyendo el diseño experimental y las variables

Objetivo 1. Determinar la dosis óptima mediante el ensayo de jarras para los tres coagulantes.

Parámetros físicos:

Para la determinación de parámetros físicos en el laboratorio, se requiere una variedad de materiales e insumos. Esto incluye equipos de medición como pH-metro, conductímetro, termómetro, oxímetro, turbidímetro, colorímetro, espectrofotómetro (UV-vis), balanza analítica, neveras y cronómetro, así como herramientas estándar de laboratorio como matraces, probetas, pipetas, embudos (T/R), tubos de ensayo, cajas Petri y buretas. Además, se utilizan reactivos químicos, patrones de calibración, material de filtración. El agua destilada o desionizada también es fundamental como solvente.

En la Tabla 1 se proporciona una descripción detallada del número de ensayos llevados a cabo en el proceso de muestreo para este trabajo de grado. Se presentan tanto los ensayos realizados en el campo como en el laboratorio.

Tabla 1

Número de ensayos

Parámetro	Método	Número de muestra	Número de repeticiones
pH	NTC – 3651	4	3
DQO	NTC – 3629	4	3

Parámetro	Método	Número de muestra	Número de repeticiones
DBO	NTC – 3630	4	3
SST	NTC – 897	4	3
ST	NTC – 897	4	3
Grasas y aceites	NTC – 3362	4	3
Turbiedad	NTC – 4707	4	3
Conductividad eléctrica	NTC – 4531	4	3
Coliformes totales	NTC – 4772	1	1
Total			97

Por otra parte, la Resolución 2115 de 2007 establece parámetros fisicoquímicos para evaluar la calidad del agua y con base a ello se ejecutó la caracterización fisicoquímica y microbiológicas de las muestras extraídas del río Pasto.

Para saber cuál es el proceso correcto de tratamiento de agua que se debe utilizar para la fuente hidráulica de Pasto y saber en qué estado es dicha fuente, se utilizó el reglamento técnico del sector de agua potable como se muestra en la Figura 2, en donde muestra los niveles de calidad de las fuentes hídricas.

De igual forma, se tuvo en cuenta la Guía para determinación de Coliformes totales y fecales (*Escherichia coli*) de aguas mediante la técnica de sustrato definido, colilert por método de Número más probable. (IDEAM, 2007).

Figura 2

Clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento y el grado de tratamiento asociado

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 – 4	>4
Máximo diario mg/L			1 – 3	3 - 4	4 – 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 – 50	50 - 500	500 – 5000	>5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	>=4	>=4	>=4	<4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 – 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	<2	2 - 40	40 – 150	>= 150
Color verdadero (UPC)			<10	10 -20	20 – 40	>= 40
Gusto y olor		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 – 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	<1.2	<1.2	<1.2	>1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación+ Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Fuente: M.B.P.I – TITULO.

Para el cálculo de la demanda química de oxígeno DQO, se empleó la siguiente ecuación:

$$DQO = \frac{(VB - VM) * 8000 * M}{Vm} \quad [1]$$

VB: Volumen de blanco o solución acondicionadora 4.5 mL.

VM: Volumen de FAS empleado o sulfato ferroso amoniacal en mL.

Vm: Volumen de la muestra de agua 2.5 mL.

M: Concentración de FAS.

Para el cálculo de la demanda biológica de oxígeno DBO, se empleó la siguiente ecuación:

$$DBO = \frac{(ODi_{M1} - ODf_{M2}) - (OD_{B1} - OD_{B2})}{m} * 300 \quad [2]$$

ODi_{M1} : Oxígeno disuelto inicial

ODf_{M2} : Oxígeno disuelto a los cinco días

OD_{B1} : Oxígeno disuelto blanco inicial

OD_{B2} : Oxígeno disuelto blanco a los cinco días

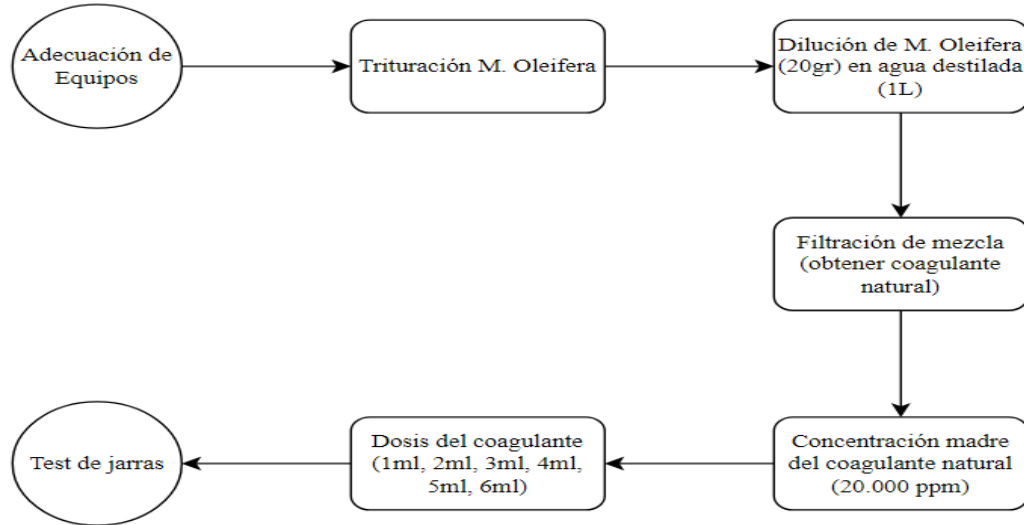
m: Volumen de la muestra (L)

Preparación de coagulantes naturales. Se utilizó un procedimiento detallado, descrito en las Figuras 3 y 4, para preparar los coagulantes naturales (M. Oleífera y Yausa), utilizando equipos como un molino de cuchillas, balanzas analíticas y agitadores magnéticos. Además, el coagulante inorgánico (Sulfato de aluminio tipo B) se preparó previamente con una concentración madre de 5000 ppm.

M. oleífera. El diagrama de flujo, representado en la Figura 3, detalla el proceso de preparación de un coagulante natural, el cual es un componente crucial en varios procesos de tratamiento de agua.

Figura 3

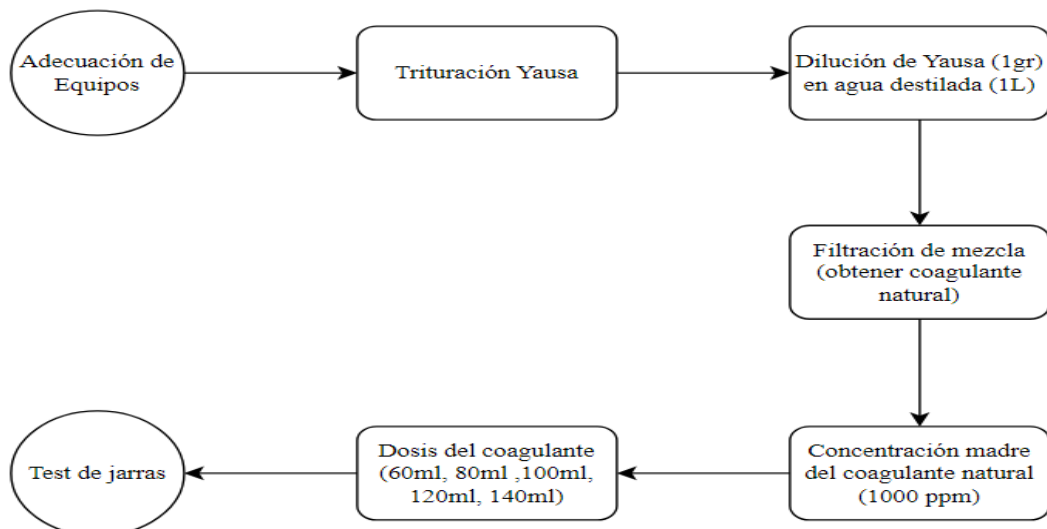
Preparación de coagulante M. Oleífera



Yausa (Abutilon Insigne Planch). Mediante el diagrama representado en la Figura 4, se detalla de manera clara y concisa cada etapa del proceso, desde la selección de materiales hasta el producto finalizado, listo para su aplicación en el tratamiento de aguas residuales.

Figura 4

Preparación de coagulante Yausa (Abutilon insignie Planch)



Prueba de Jarras. Para obtener la dosis óptima de coagulantes naturales (M. Oleífera y Yausa) y químico (S. Aluminio), se tomó una muestra de agua del río Pasto de los cuales se utilizó diferentes cantidades agua con un volumen final de 2 L para cada jarra. Este procedimiento se repitió cuatro veces.

Considerando los lineamientos de la NTC 3903, se empleó un agitador de posición múltiple con una velocidad variable continua de 20 rpm a 150 rpm. El procedimiento comenzó con una velocidad de 120 rpm para una mezcla instantánea, seguida por la adición de la dosis de coagulante a cada jarra y una mezcla de un minuto. Posteriormente, se redujo la velocidad al mínimo para mantener la suspensión uniforme de los flóculos y se procedió a una mezcla lenta durante 20 minutos. Después de este tiempo, se retiraron las paletas del equipo y se observó la sedimentación de las partículas, evidenciándose flóculos en el fondo del vaso de precipitado después de 15 minutos, momento en el que se registró la temperatura. Se tomó una muestra directamente desde la llave del equipo de cada vaso en un beaker y se midieron los parámetros de turbiedad y color. Este procedimiento se repitió cuatro veces con cuatro muestras diferentes. La Tabla 2 resume el procedimiento mencionado, estableciendo los parámetros para el test de jarras.

Tabla 2

Número de ensayos test de jarras

Parámetro	Número de muestra	Número de repeticiones
Turbiedad	4	4
Color	4	4
<i>M. Oleífera</i>	4	4
Yausa	4	4
Sulfato de aluminio	4	4

Para llevar a cabo la presente investigación se tomaron cuatro muestras con dosis entre 10 y 100 ml de cada uno de los coagulantes utilizados (M. Oleífera, Yausa y Sulfato de aluminio) con el fin de establecer la dosis óptima de coagulante mediante un test de jarras, cabe aclarar, que para la prueba de Yausa se incrementó la dosis para obtener un punto de quiebre claro que permitió establecer la dosis óptima de este, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3

Diseño experimental

Tipo de coagulante	Dosis de coagulante (mL) en las muestras					
	1	2	3	4	5	6
M. Oleífera en la dosis: 2000 mg/l + 1 mol NaCl = 20000 ppm	10	20	30	40	50	60
Sulfato de aluminio 5000 ppm	10	20	30	40	50	60
Yausa 1000 ppm	10	20	40	60	80	100

Es importante mencionar que para determinar el volumen se empleó la siguiente ecuación:

$$V = \frac{D * M}{Cm} \quad [3]$$

V: Volumen.

D: Dosificación.

Cm: Concentración madre.

M: Muestra.

Objetivo 2. Obtener la curva de demanda de cloro en aguas tratadas con los tres coagulantes.

Determinación de la demanda de cloro en la muestra de agua del río Pasto. Con el propósito

de obtener la curva de demanda de cloro en aguas con presencia de coagulantes orgánicos e inorgánicos, se llevaron a cabo diferentes pruebas químicas como se indica en la Tabla 4, siguiendo el procedimiento detallado en la Figura 5, con el fin de medir tanto la cantidad de cloro agregado como el cloro residual presente en la muestra de agua con el coagulante natural y su dosis óptima.

Para la determinación de la demanda de cloro se emplearon los siguientes materiales de laboratorio: Pipeta graduada, frascos de 200 ml, cronometro, aros metálicos y soportes universales.

Tabla 4

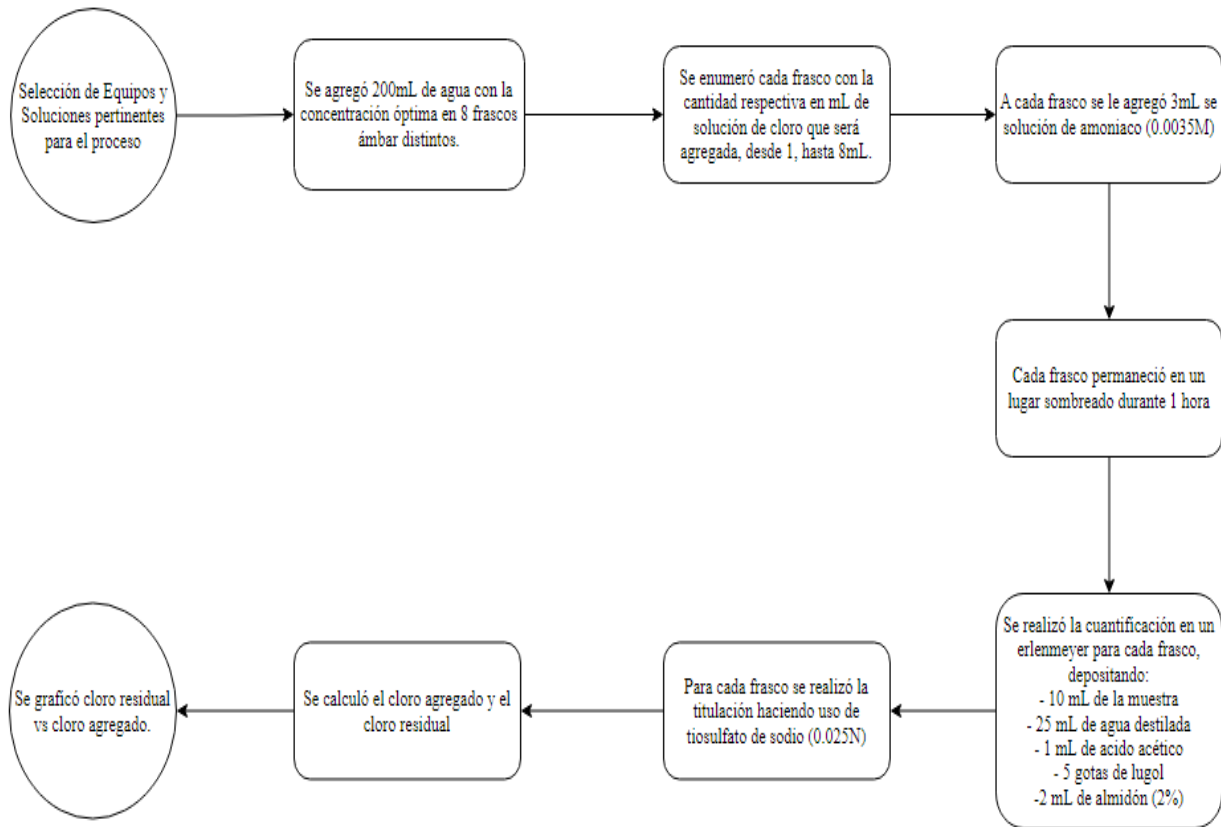
Número de ensayos por coagulante

Coagulantes	No. Muestras	Volumen (ml)	No. De repeticiones	Reposo (h)	Solución madre de cloro (ppm)
M Oleífera	8	200	3	1	100
Yausa	8	200	3	1	100
Sulfato de aluminio	8	200	3	1	100

Para llevar a cabo el procedimiento de determinación de la curva de demanda de cloro, se utiliza el método yodométrico 4500-Cl B (Eaton et. al, 2020), tal como se describe en la Figura 5.

Figura 5

Actividad para determinar la curva de demanda de cloro



Cabe resaltar, que para encontrar el cloro residual se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Cloro residual total disponible} = \frac{(A \pm B) * N * 35450}{\text{mL muestra}} \quad [4]$$

A: Volumen gastado de tiosulfato (mL)

B: Volumen gastado de tiosulfato de sodio en el blanco (mL)

N: Normalidad del tiosulfato de sodio

35450: Masa del cloro

mL: muestra

Objetivo 3. Analizar el comportamiento en el agua con presencia de los subproductos de desinfección, principalmente en los Trihalometanos y ácidos haloacéticos, con los tres coagulantes.

Determinación de los subproductos (Trihalometanos y Ácidos haloacéticos). Para la determinación de subproductos se tuvo en cuenta el método 6232 C de cromatografía de gases (GCMS), en el que se empleó los siguientes equipos y materiales como cromatógrafo de gases con su respectiva columna cromatográfica, gases portadores como nitrógeno o helio, estándares de referencia para calibración, disolventes como hexano o metanol, viales de muestra limpios, jeringas y agujas para inyección precisa, y software de análisis especializado.

Para el desarrollo del objetivo 3, se utilizó el volumen óptimo de los coagulantes del objetivo 1, así también, el volumen óptimo del cloro según el objetivo 2, para determinar la generación de los subproductos se llevó a cabo el siguiente número de ensayos, como se muestra en la Tabla 5.

En el proceso de alcanzar el objetivo establecido, se seleccionaron cuidadosamente muestras que contenían la dosis óptima de coagulantes, así como la cantidad adecuada de desinfectante, donde se buscaba evaluar la presencia de subproductos en el agua tratada.

Tabla 5

Número de ensayos

Coagulante	Método	Número de muestra	Número de repeticiones
M.Oleífera	6232 de cromatografía de gases	1	1
Yausa		1	1
Sulfato de Aluminio		1	1
Blanco		1	1
Total		4	

Se tomaron cuatro muestras como se muestra en la Tabla 5 para analizar los subproductos, debido a que, se había alcanzado la dosis óptima tanto de los coagulantes como del cloro. Cada muestra fue analizada por separado para evaluar los subproductos resultantes de cada tratamiento.

En la Figura 6 proporciona un resumen de los valores límite y recomendaciones sobre sustancias químicas en las fuentes hídricas, según diferentes organismos reguladores y de salud pública. Es importante tener en cuenta que estos valores pueden variar entre países y organismos, y que su cumplimiento es obligatorio o recomendable según la legislación y normativa local.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha publicado valores guía para algunos SPD en el agua, como el THM'S (trihalometanos), AHA (ácidos hidroxiacéticos), acetonitrilos, cloritos, hidrato de cloral, formaldehídos y cloruro de cianógeno. Sin embargo, estos valores guía no tienen reconocimiento oficial en Estados Unidos y Canadá. La EPA ha establecido un nivel máximo de contaminación de 0,08 mg/l para el total de los THM'S y ha fijado metas para el máximo nivel de contaminación para cada uno de los THM'S.

Figura 6

Estándares y valores-guía relativos a los SPD en diferentes países

Compuesto	Acrónimo	WHO (1993)	US EPA (2001)	Canadá (2001)	Aus-NZ (2000)	UK (2000)
Tribromometano (bromoformo)	TBM	0,100	0,000 ³			
Total trihalometanos	TTHM	$\sum_{i=1}^3 \frac{\text{THM}}{\text{WHO}} = 1$	0,080	0,100 ²	0,250	0,100
Ácido cloroacético					0,1500	
Ácido dicloroacético	DCAA	0,050			0,1000	
Ácido tricloroacético	TCAA	0,100			0,1000	
Ácidos haloacéticos	AHA5		0,060	²		

Fuente: La EPA (1999b)

Para saber la concentración de los subproductos generados se utiliza el método de estandarización por comparación de áreas, es una técnica analítica utilizada en cromatografía de gases para determinar la concentración de analitos en una muestra desconocida. En este método, se utiliza un patrón interno, como el 9-cloroantraceno, para calibrar el sistema y determinar la respuesta del detector.

La muestra desconocida y el patrón interno se inyectan en el sistema de cromatografía de gases y se separan en columnas capilares. La detección de los analitos y el patrón interno se realiza mediante un detector de respuesta universal, como el detector de ionización de llama (FID).

La cantidad de analito en la muestra desconocida se determina comparando el área del pico del analito con el área del pico del patrón interno. La relación entre el área del pico del analito y el área del pico del patrón interno se utiliza para calcular la concentración del analito en la muestra desconocida, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración} = \frac{A_1}{A_i} * C_p \quad [5]$$

Donde:

Concentración: Concentración desconocida del analito en la muestra

A1: Área del pico del analito en la muestra desconocida

Ai: Área del pico del patrón interno

Cp. Concentración conocida del patrón interno

Este método es ampliamente utilizado en análisis de rutina, porque es simple, rápido y preciso. Además, no requiere la preparación de estándares de calibración, lo que reduce el tiempo y el costo del análisis.

2. Presentación de resultados

Objetivo 1. Determinar la dosis óptima mediante el ensayo de jarras para los tres coagulantes.

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua del río Pasto. Se realizó una revisión bibliográfica de las normas pertinentes para caracterizar los parámetros de pH, DQO, DBO, SST, grasas y aceites, turbiedad, conductividad eléctrica y coliformes totales y fecales (*Escherichia coli*). Estos parámetros se aplicaron en triplicado para analizar muestras tomadas del río Pasto. Las muestras de agua del río Pasto se recolectaron en el sector del Polvorín, ubicado al norte de la ciudad, y fueron analizadas en el laboratorio de Alvernia de la Universidad Mariana.

Figura 7

Recolección de muestras en el río Pasto



Se llevaron a cabo ensayos de laboratorio en cuatro muestras de agua recolectadas en un mismo punto del río Pasto, a las que se denominaron Muestra 1 (M1), Muestra 2 (M2), Muestra 3 (M3) y Muestra 4 (M4). Se tomaron muestras en diferentes fechas, con el objetivo de evaluar la variabilidad de los parámetros analizados en el tiempo. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 6, donde se destaca el promedio de las cuatro muestras (Prom).

Tabla 6*Caracterización del Río Pasto*

Parámetros	Unidad	M1 30/Agos	M2 15/Sep	M3 13/Oct	M4 02/Nov	Prom	Desviación estándar
pH	Unidades de pH	8.51	7.49	7.65	7.65	7.8	0.46
Color aparente	PCU	560	552	565	578	563.8	10.90
Color real	PCU	264	283	275	280	275.5	8.35
Turbiedad	NTU	41.2	44.3	43.8	44.1	43.4	1.45
Conductividad	$\mu S/cm$	1420	1422	1415	1415	1418.0	3.56
Temperatura	°C	14.3	15.2	14.9	14.9	14.8	0.38
SST	mg/L	241	256	251	245	248.3	6.60
Oxígeno disuelto	mg/L	5.2	4.7	4.9	4.9	4.9	0.21
DBO	mg/L	45.9	46.7	45.2	44.8	45.7	0.83
DQO	mg/L	235.2	237.5	236.4	232.7	235.5	2.06
Grasas y aceite	mg/L	849.1	865.4	850.1	862.2	856.7	8.31
Coliformes Totales	NMP	>2419.6	>2419.6	>2419.6	>2419.6		

Para los parámetros fisicoquímicos y biológicos de acuerdo con la normativa técnica colombiana MBPI título C, tabla C.2.1. en la Figura 2, en términos generales identifican al río Pasto como una fuente muy deficiente de acuerdo con sus altos porcentajes de DQO y turbiedad, siendo necesario tratamientos específicos para este tipo de aguas, el RAS recomienda como tratamientos: pretratamiento, coagulación, sedimentación, filtración lenta y desinfección. En la Tabla 7 se muestra un resumen del resultado por cada parámetro físico.

Tabla 7

Fuente por parámetro

Parámetro	Fuente
Turbiedad	Deficiente
Oxígeno disuelto	Deficiente
Color verdadero	Muy deficiente
DBO	Muy deficiente

Se analizó de la siguiente manera:

Temperatura. La muestra *in situ* se obtuvo un promedio de 14.8°C. Este parámetro es fundamental debido a que afecta a los procesos físicos, químicos y biológicos involucrados en el transporte del agua, por lo que condiciona la calidad del agua suministrada, modificando la concentración de saturación en oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas.

Turbiedad. Dentro del análisis realizado a las aguas del río Pasto en su muestra de caracterización se tiene un promedio con el valor de 43.4 NTU ubicada en el rango 40 – 150 definiéndose como una fuente deficiente.

Oxígeno disuelto. Se presenta descargas de productos químicos empleados para la agricultura y descargas provenientes de desechos de animales y personas, obteniendo un nivel de 4.9 mg/L, según el RAS 2000 – título C, se ubica en un grado de aceptable, regular y deficiente, siendo este ≥ 4 .

Color verdadero. De la muestra captada se obtuvo 275.5 PCU, ubicada en el rango ≥ 40 definiéndose como una fuente muy deficiente. El color del agua se debe a la presencia de materia orgánica natural, como pueden ser las sustancias húmicas o ciertos metales como hierro, manganeso o cobre, que se encuentra disuelta o en suspensión.

DBO. Debido a las condiciones climáticas de la temporada de lluvias en la ciudad y a su paso por zonas urbanas, se registró un valor de 45.7 mg/L, superando el límite establecido de 6 mg/l

según lo indicado en RAS2000 título C. Por consiguiente, se puede considerar esta fuente como altamente deficiente, lo que sugiere la necesidad de aplicar un tratamiento convencional que incluya pretratamiento, coagulación, sedimentación, filtración y tratamientos específicos.

DQO. En este parámetro, se registró una concentración de 235.5 mg/L de oxígeno disuelto en el cauce final del río Pasto, indicando la cantidad necesaria para oxidar la materia orgánica presente. Estas altas concentraciones se deben a la carga contaminante en el cauce analizado. Según la Resolución 2115 de 2007, no establece un el límite máximo permisible para aguas destinadas para su potabilización.

SST. En la toma de muestra realizada en la captación, se determinó una concentración de sólidos suspendidos totales (SST) de 248,3 mg/L. Este valor se encuentra por debajo del límite máximo permitido, el cual es de 300 mg/L, según las normativas establecidas. La presencia de SST en el agua se atribuye a la erosión y sedimentación generada por la actividad humana en el entorno del punto de captación, situado en la zona norte de la ciudad de Pasto. La concentración de SST en el agua puede tener efectos negativos en la calidad del agua y en los ecosistemas acuáticos, por lo que es importante monitorear y controlar este parámetro en las aguas superficiales.

Grasas. Este parámetro es típico en las aguas domésticas depositados sin algún cuidado o tratamiento al cauce principal del río Pasto, donde estos compuestos pueden ser solubles o insolubles en el agua, y su presencia puede causar numerosos problemas en los sistemas de tratamiento de agua (Talbot, 2016). Dentro de este parámetro obtenemos un valor equivalente a 856.7 mg/L.

Coliformes. La detección de más de 2419.6 NMP de coliformes totales en la muestra analizada indica una elevada concentración de estos microorganismos, lo que sugiere la presencia de materia fecal. Esto puede conllevar a problemas de salud pública relacionados con enfermedades gastrointestinales y malestares generales parecidos a los de una gripe, con síntomas típicos como fiebre, calambres abdominales y diarrea. Es importante destacar que estos síntomas son más comunes en niños y adultos mayores (Benavides & Delgado, 2019) por lo tanto, es esencial que el

proceso de cloración sea riguroso para asegurar la eliminación de estos microorganismos y proteger la vida de las comunidades que dependen de esta fuente de agua.

Test de jarras

La Tabla 8 muestra los resultados obtenidos en la prueba de jarras para el coagulante a base de *M. Oleíferas* que se llevó a cabo en cuatro pruebas para determinar la dosis óptima de coagulante teniendo en cuenta los valores iniciales de la Tabla 7 de turbiedad (NTU) y color (UPC) donde se observa la disminución significativa de estos valores.

Tabla 8

Determinación de dosis óptima M. Oleíferas

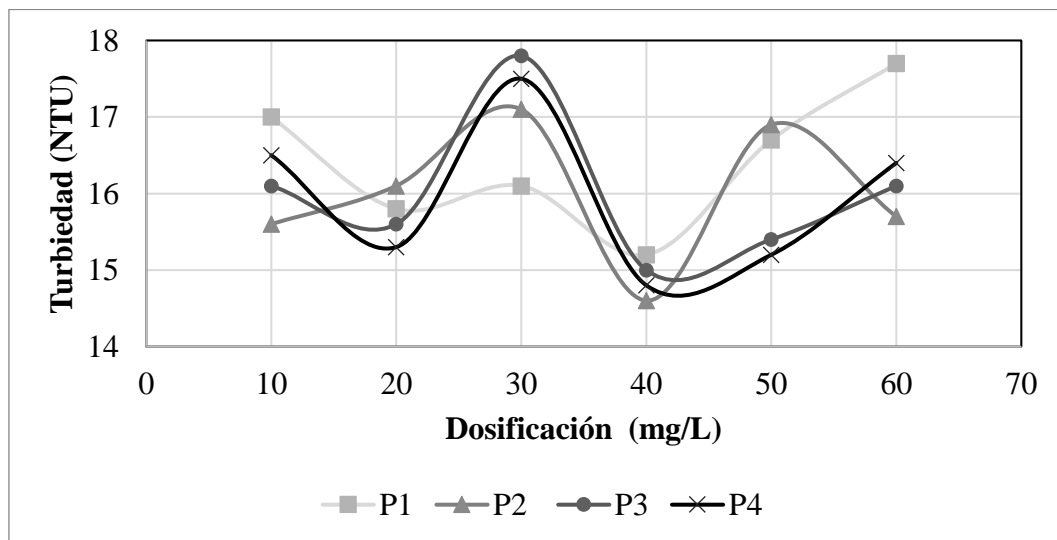
Pruebas	Dosificación (mg/L)	Volumen (ml)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)	Color inicial (UPC)	Color Final (UPC)
P1	10	1	22.0	17	345	344
	20	2	22.0	15.8	345	328
	30	3	22.0	16.1	345	312
	40	4	22.0	15.2	345	343
	50	5	22.0	16.7	345	313
	60	6	22.0	17.7	345	315
	P2	10	1	22.0	15.6	345
20		2	22.0	16.1	345	343
30		3	22.0	17.1	345	312
40		4	22.0	14.6	345	318
50		5	22.0	16.9	345	321
60		6	22.0	15.7	345	323
P3	10	1	22.0	16.1	345	331
	20	2	22.0	16	345	340

Pruebas	Dosificación (mg/L)	Volumen (ml)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)	Color inicial (UPC)	Color Final (UPC)
	30	3	22.0	17.8	345	316
	40	4	22.0	15	345	309
	50	5	22.0	15.4	345	319
	60	6	22.0	16.1	345	312
P4	10	1	22.0	16.5	345	334
	20	2	22.0	15.3	345	345
	30	3	22.0	17.5	345	310
	40	4	22.0	14.5	345	307
	50	5	22.0	15.2	345	318
	60	6	22.0	16.4	345	308

La Figura 8 plasma el resultado de las tres pruebas de test de jarras para *M. Oleífera*

Figura 8.

Determinación de dosis óptima con coagulante natural M. Oleífera.



En este orden de ideas, de la Tabla 9 se obtiene que la dosis óptima de coagulante de *M. Oleífera* es de 40 mg/L dado que, en este punto se observa la reducción considerable de la turbiedad tomando como referencia el punto inicial que corresponde a 41.2 NTU y al final del proceso del test se obtienen resultados de 15.2, 14.6, 15 y 14.5 NTU en las cuatro muestras lo cual indica que este coagulante funciona en la eliminación de turbiedad facilitando el proceso de potabilización y posterior desinfección para que el agua sea óptima para consumo humano.

Se considera que este coagulante presenta un rendimiento eficiente durante el proceso que se observa en la reducción de la turbiedad que es el parámetro de interés ya que, con una dosis de 40 mg/L se redujo la turbiedad de 126 NTU a 64,8 NTU, y con 50 mg/L se redujo de 126 NTU a 65,3 NTU.

Por otra parte, ((Carañi & Leon Lopez, 2023)Acevedo 2019) citado en (Carañi & Leon Lopez, 2023) obtuvo la reducción de turbiedad con 4mg/L de coagulante natural de *M. Oleífera*, pasando de 15,3 NTU inicial a solamente 9,3 NTU; concluyendo así que el coagulante natural presenta una óptima reducción de turbiedad en agua cruda, siendo para esta investigación una dosis óptima de 30 mg/L se logró la reducción de turbiedad de 43,4 NTU a 15 NTU.

Por otra parte, la Tabla 9 reúne los resultados obtenidos para el test de jarras del coagulante natural a base de Yausa realizado en cuatro pruebas para determinar la dosis óptima del mismo mediante la observación de la remoción de turbiedad y color en cada una de las pruebas, nuevamente, tomando como punto de partida los datos iniciales consignados en la Tabla 7.

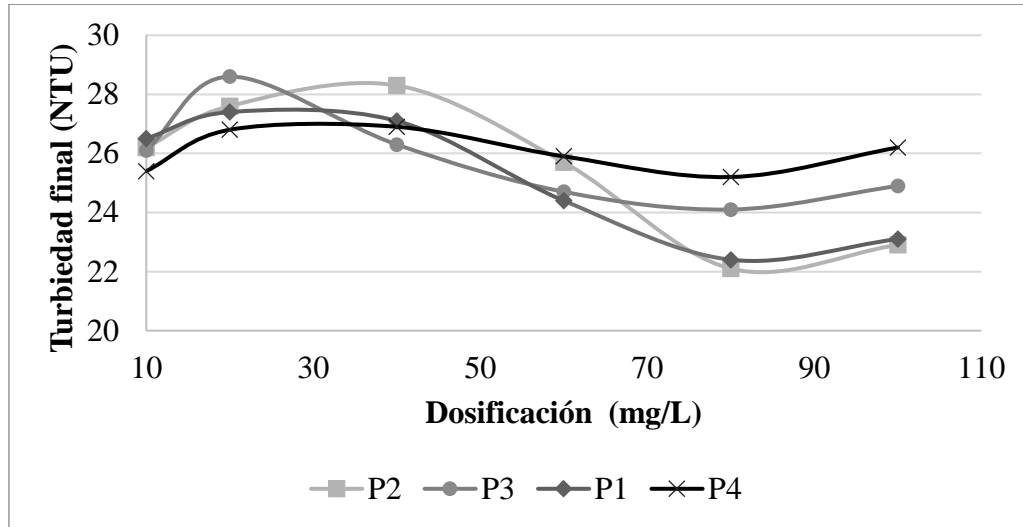
Tabla 9

Determinación de la dosis óptima Yausa

Prueba	Dosificación (mg/L)	Volumen (ml)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad final (NTU)	Color inicial (UPC)	Color final (UPC)
P1	10	40	22.0	27,4	345	445
	20	60	22.0	24,9	345	452
	40	80	22.0	27,1	345	467
	60	100	22.0	27,4	345	467
	80	150	22.0	24,4	345	448
	100	140	22.0	25,4	345	448
P2	10	40	22.0	27,6	345	439
	20	60	22.0	26,3	345	462
	40	80	22.0	28,3	345	468
	60	100	22.0	24,7	345	458
	80	120	22.0	25,7	345	448
	100	140	22.0	22,7	345	433
P3	10	40	22.0	28,6	345	443
	20	60	22.0	28,3	345	451
	40	80	22.0	27,1	345	465
	60	100	22.0	27,2	345	453
	80	120	22.0	24,7	345	460
	100	140	22.0	24,2	345	459
P4	10	40	22.0	26,8	345	445
	20	60	22.0	26,6	345	449
	40	80	22.0	26,9	345	470
	60	100	22.0	26,2	345	460
	80	120	22.0	25,9	345	463
	100	140	22.0	25,4	345	458

Figura 9

Determinación de dosis óptima con coagulante natural Yausa



A partir de la Tabla 9 se obtuvo que la dosis óptima del coagulante en mención fue de 80 mg/L en las cuatro pruebas realizadas teniendo en cuenta la reducción significativa de turbiedad y color en cada una de las pruebas, tomando como valor inicial, rangos de 44.2 NTU para turbiedad y 563.8 UPC de color, siendo los resultados finales de 25.9 NTU y 454.6 UPC, de este modo, el coagulante remueve cerca del 48% de turbiedad en el agua, pero no es eficiente puesto que la dosis óptima para ejecutar dicha remoción es muy alta. La Figura 9 plasma la relación de las cuatro pruebas realizadas en el test de jarras donde se evidencia la dosis óptima del coagulante natural a base de Yausa (80mg/L).

Sin embargo, al comparar los resultados obtenidos en esta investigación con los de (Solis Silvan, Laines Canepa, & Hernandez Barajas, 2012) se observó que “para agua cruda superficial, fue necesaria una dosis óptima de 30 mg/L de Yausa para remover el 97.9% de la turbiedad, tomando como valor inicial 70 NTU”. Esto difiere de este estudio puesto que (Solis Silvan, Laines Canepa, & Hernandez Barajas, 2012) utilizaron la Yausa combinada con Sulfato de aluminio, logrando así resultados más eficientes dado que, en esta investigación la dosis óptima de Yausa fue de 80 mg/L lo cual indica que se requiere una cantidad elevada de coagulante para conseguir la coagulación.

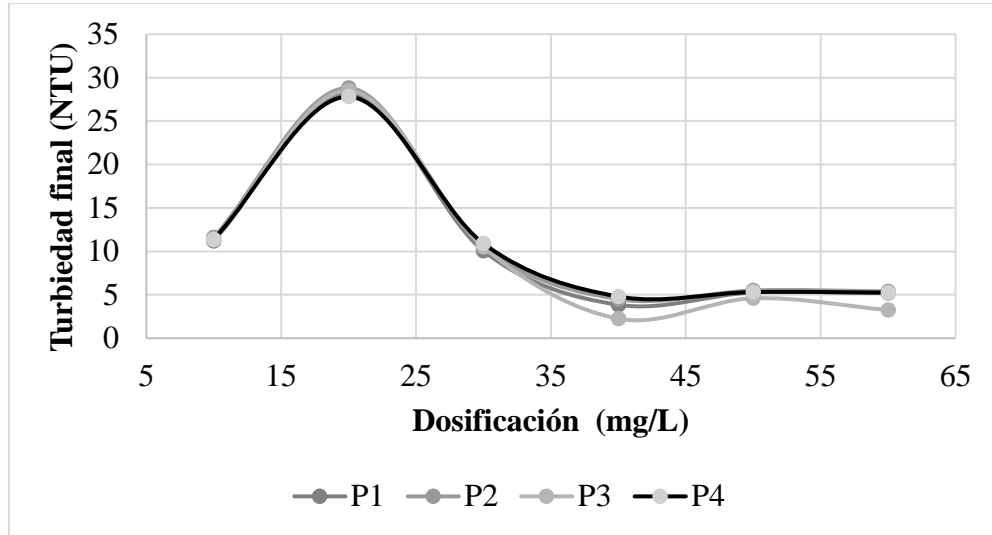
Tabla 10

Determinación de dosis óptima S. Aluminio

Pruebas	Dosificación (mg/l)	Volumen (ml)	Turbiedad (NTU)	Color (UPC)
P1	10	4	11.2	163
	20	8	28.2	412
	30	12	10.06	126
	40	16	3.85	82
	50	20	5.28	75
	60	24	5.20	72
P2	10	4	11.6	183
	20	8	28.8	405
	30	12	10.54	133
	40	16	4.5	79
	50	20	5.5	66
	60	24	5.40	62
P3	10	4	11.3	182
	20	8	28.5	410
	30	12	10.5	135
	40	16	5.25	82
	50	20	4.6	67
	60	24	3.95	64
P4	10	4	11.4	189
	20	8	27.8	412
	30	12	10.9	138
	40	16	4.8	85
	50	20	5.32	68
	60	24	5.25	59

Figura 10

Determinación de dosis óptima con coagulante Sulfato de aluminio



La Tabla 10 presenta los resultados del test de jarras realizado en cuatro pruebas utilizando el coagulante convencional de Sulfato de aluminio. Se determinó que la dosis óptima de coagulante fue de 40 mg/L, lo que se refleja en una notable reducción de los valores de turbidez en las muestras. La turbidez inicial de 80 NTU disminuyó a un promedio de 4.6 NTU, lo que indica un proceso eficaz de coagulación y floculación durante el test de jarras. Esta dosis óptima representa una remoción promedio del 90% de turbidez, asegurando la eficacia del proceso.

((Velasquez Cachay, 2022)Murrieta 2017) citado en (Velasquez Cachay, 2022) en su estudio realizado con la finalidad de comprobar el beneficio y la eficacia de los procesos coagulación y floculación, como parte fisicoquímica en el tratamiento de agua obtuvo una disminución de 537 NTU a 4.85 NTU equivalente al 99.09% de remoción total con una dosis óptima de 6ml de sulfato de aluminio a través de una prueba de jarras, lo cual coincide con esta investigación porque se logró un porcentaje de remoción del 90% de turbiedad con 40mg/L de coagulante.

Porcentaje de remoción de turbiedad y color. (Martínez Huaira, 2023) durante el test de jarras, se somete a la muestra de agua a la variación de las dosis de coagulante con el fin de determinar la dosis óptima que permita sedimentar la mayor cantidad de partículas coloidales, obteniendo como

resultado la clarificación del agua. Con base a ello se calculó el porcentaje de remoción de turbiedad y color una vez concluido el test de jarras, como se plasma en la Tabla 11.

Tabla 11

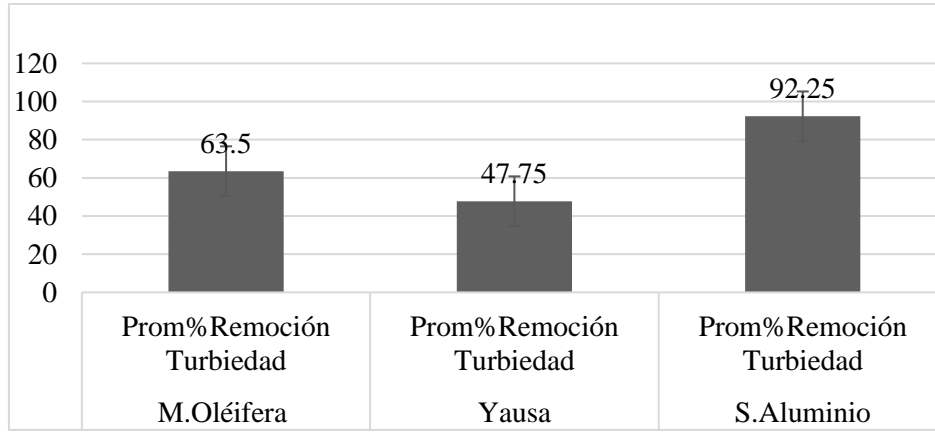
Resultados de % remoción para los tres coagulantes

	M. Oleífera						Yausa						S. Aluminio					
	P1	P2	P3	P4	Prom	Desviación	P1	P2	P3	P4	Prom	Desviación	P1	P2	P3	P4	Prom	Desviación
% Remoción Turbiedad	63	65	64	62	63,5	1,29	49	50	45	47	47,75	2,22	91	90	93	95	92,25	2,22
% Remoción Color	44	43	45	42	43,5	1,29	32	31	30	34	31,75	1,71	88	89	87	86	87,5	1,29

En este orden de ideas, de la Tabla 11 se infiere que el coagulante con mayor eficiencia en la remoción de turbiedad para las cuatro muestras evaluadas en el test de jarras para cada uno de los coagulantes fue el Sulfato de aluminio con un porcentaje promedio de 92.25%, seguido por el coagulante natural de M. Oleífera con un promedio de 63.5% y finalmente para el coagulante natural a base de Yausa con un porcentaje promedio de 47.75%, de esta manera, el coagulante químico es el más eficiente para remover turbiedad dentro de un proceso de potabilización de agua en su fase de coagulación y floculación.

Figura 11

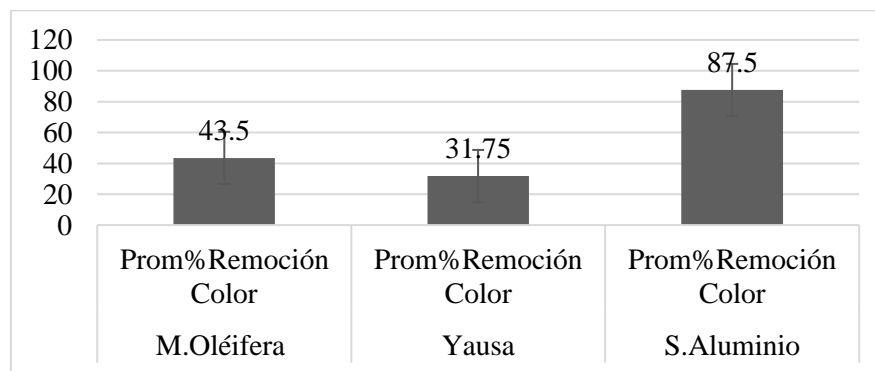
Promedio de porcentaje de remoción de turbiedad



La Figura 11 muestra el promedio de la remoción de turbiedad para los tres coagulantes (*M. Oleíferas*, Yausa y S. Aluminio) donde se evidencia que el Sulfato de aluminio es el coagulante que alcanzó mayores porcentajes de remoción con un promedio de 92,25% y la Figura 12 muestra la remoción de color para los tres coagulantes con un promedio de 87,5%.

Figura 12

Promedio de porcentaje de remoción de color



De acuerdo con (Meza-Leones, 2018) el coagulante natural a base de *M. Oleífera* tiene un porcentaje de remoción de turbidez entre 75-90% para turbiedad inicial de 200 NTU; para este estudio, se tuvo que la turbiedad inicial se encontró en 40 NTU y porcentaje de remoción de 63.5%

lo cual coincide con el rango de Meza-Leones, esto se debe a la baja toxicidad del coagulante en reacción con el agua por ello, es una buena opción para reemplazar el coagulante convencional químico. Al reducir la turbiedad, los niveles de color disminuyen proporcionalmente.

De acuerdo con la investigación de (Carañi & Leon Lopez, 2023) “M. Oleífera con dosis de 2 g/L logro una reducción del 96,8 %”, demostrando que la M. Oleífera tuvo una mayor eficiencia en el tratamiento, lo cual coincide con esta investigación en cuanto a la eficiencia del coagulante. La Figura 8 plasma el resultado de las tres pruebas de test de jarras para M. Oleífera y se concluye que la dosis óptima para este coagulante fue de 40mg/L.

Objetivo 2. Obtener la curva de demanda de cloro en aguas tratadas con los tres coagulantes.

Cálculo de la demanda de cloro.

Dosis óptima de cloro con muestra del rio Pasto con los coagulantes orgánicos e inorgánicos.

Para conocer los datos registrados en las Tablas 12, 13 y 14, se llevó a cabo el procedimiento descrito en la Figura 5. Cabe resaltar, que para el cálculo del cloro residual se empleó la Ecuación [4].

Tabla 12

Dosis óptima de cloro en M. Oleífera

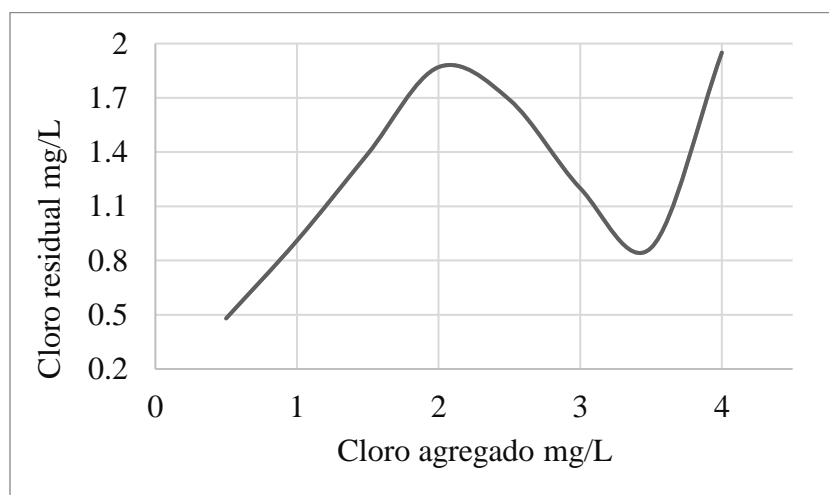
Muestra	Volumen de cloro (mL)	Cloro agregado (mg/L)	Volumen que se gastó Tiosulfato de sodio (mL).	Cloro residual (mg/L)	Demanda
Blanco	0	-	-	0	0
1	1	0.5	0.11	0.48	0.02
2	2	1.0	0.21	0.91	0.09
3	3	1.5	0.32	1.39	0.11
4	4	2.0	0.43	1.87	0.13
5	5	2.5	0.39	1.69	0.81

Muestra	Volumen de cloro (mL)	Cloro agregado (mg/L)	Volumen que se gastó Tiosulfato de sodio (mL).	Cloro residual (mg/L)	Demanda
6	6	3.0	0.30	1.30	1.7
7	7	3.5	0.20	0.87	2.63
8	8	4.0	0.45	1.95	2.03

Nota: Los datos de cloro agregado serán los mismos para los coagulantes orgánicos e inorgánicos puesto que el volumen de cloro y la cantidad de muestra es la misma.

Figura 13

Demanda de cloro de M. Oleífera



Nota: Los datos de la Tabla 12 y Figura 13 indican que el coagulante natural M. Oleífera muestra un punto de quiebre a una concentración de 3,5 mg/L de cloro agregado, lo que indica que su volumen óptimo de cloro es 7 ml.

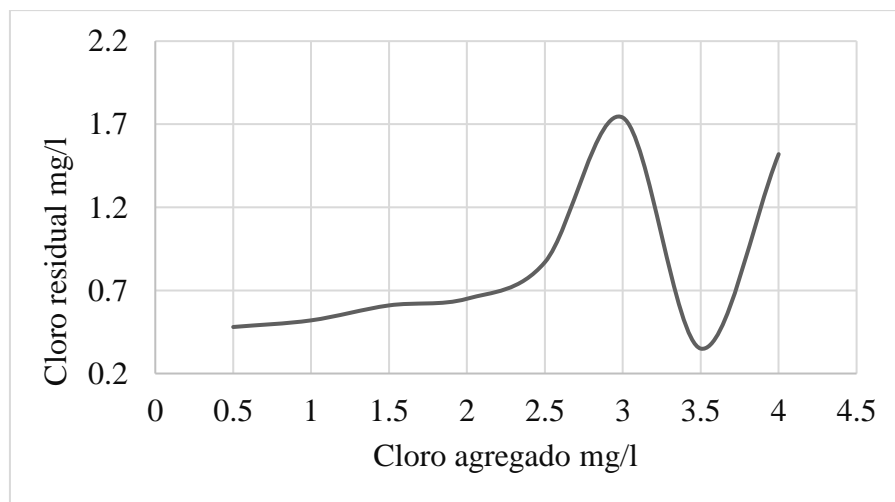
Tabla 13

Dosis óptima de cloro en Yausa

Muestra.	Volumen de cloro (ml)	Cloro agregado (mg/L)	Volumen que se gastó de Tiosulfato de sodio (ml).	Cloro residual (mg/L)	Demanda
Blanco	0	-	-	0	0
T1	1	0.5	0.11	0.48	0.02
T2	2	1.0	0.12	0.52	0.48
T3	3	1.5	0.14	0.61	0.89
T4	4	2.0	0.15	0.65	1.35
T5	5	2.5	0.20	0.87	1.13
T6	6	3.0	0.40	1.74	0.76
T7	7	3.5	0.08	0.35	2.65
T8	8	4.0	0.35	1.52	1.98

Figura 14

Demanda de cloro de Yausa



Nota: La información proporcionada en la Figura 14 revelan que el coagulante natural Yausa alcanza un punto de quiebre a una concentración de 3.5 mg/L de cloro agregado. Esto implica que el volumen óptimo de cloro sea 7ml.

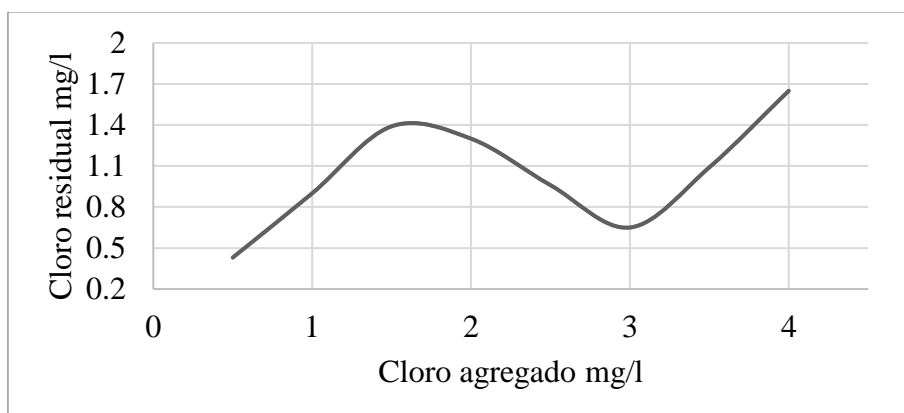
Tabla 14

Dosis óptima de cloro S. Aluminio

Muestra.	Volumen de cloro (ml)	Cloro agregado (mg/L)	Volumen que se gastó de Tiosulfato de sodio (ml).	Cloro residual (mg/L)	Demanda
Blanco	0	-	-	0	0
T1	1	0.5	0.10	0.43	0.07
T2	2	1.0	0.25	0.9	0.1
T3	3	1.5	0.32	1.39	0.11
T4	4	2.0	0.30	1.30	0.7
T5	5	2.5	0.22	0.96	1.54
T6	6	3.0	0.15	0.65	1.85
T7	7	3.5	0.25	1.09	1.91
T8	8	4.0	0.35	1.65	1.85

Figura 15

Demanda de cloro S. Aluminio



Nota: La información proporcionada en la Figura 15 revela que el coagulante inorgánico Sulfato de Aluminio alcanza un punto de quiebre a una concentración de 3.0 mg/L de cloro agregado, lo que indica que su volumen óptimo es de 6ml.

Utilizando los resultados obtenidos de cada coagulante de las Tablas 12, 13 y 14, se realizó la curva de demanda de cloro para los coagulantes orgánicos (M. Oleífera y Yausa) y el coagulante inorgánico (Sulfato de aluminio), como se puede apreciar en las Figuras 13, 14 y 15. En ellas se observa que el punto de quiebre para los coagulantes naturales es el mismo, mientras que para el coagulante inorgánico es diferente. Por consiguiente, la dosis óptima de cloro necesario para el coagulante inorgánico es distinto al de los coagulantes naturales, tal como se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15

Resumen de dosis óptima por coagulante

Tipo de Coagulante	Concentración de cloro (mg/L)	Volumen óptimo de cloro (mL)
M. Oleífera	3.5	7
Yausa	3.5	7
Sulfato de aluminio	3	6

Por otra parte, de las Figuras 13, 14 y 15, se observa que inicialmente, a medida que se agrega cloro al agua, la eficacia de la desinfección aumenta en proporción a la cantidad de cloro agregado. Sin embargo, llega un punto en el que, a pesar de seguir agregando cloro, la eficacia de la desinfección ya no aumenta o incluso comienza a disminuir y es ahí donde se genera el punto de quiebre que puede ser causado por diferentes factores, como la presencia de una cantidad excesiva de materia orgánica en el agua, la formación subproductos de la desinfección o la presencia de microorganismos resistentes al cloro. Además, los valores del cloro residual libre son considerados aceptables, dado que, deben estar comprendidos entre 0,3 y 2,0 mg/L, según lo estipulado en la Resolución 2115 del año 2007 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2007).

Teniendo en cuenta la metodología sobre la curva de demanda de cloro descrita en el trabajo de grado titulado “Establecer la demanda de cloro en el acueducto tribunas Córcega de la ciudad de Pereira” de Castañeda y Bernal (Castañeda & Bernal, 2008), se puede llevar a cabo el análisis de las figuras 13, 14 y 15 donde se revela un proceso de desinfección en el cual el comportamiento del cloro se divide en tres etapas distintas para cada coagulante evaluado. En la primera fase, se observa una relación directa entre la cantidad de cloro agregado y su interacción con la materia orgánica, generando compuestos nitrogenados. Esta reacción inicial conduce a la aparición de cloro residual, identificado mediante una curva ascendente. Sin embargo, esta concentración inicial no corresponde al cloro activo, sino a cloraminas, conocidas como cloro combinado, las cuales poseen un limitado poder desinfectante y un característico olor fuerte. Desde el punto máximo de cada curva hasta el punto de quiebre, se evidencia un consumo de cloro en la destrucción de los compuestos generados en la fase anterior. A partir del punto de quiebre, el cloro introducido se encuentra disponible para cumplir su función desinfectante a lo largo de la red. La medición del cloro a partir del punto de quiebre engloba tanto el cloro residual como el cloro combinado, constituyendo el cloro total. Este análisis resalta la importancia de comprender las distintas fases del proceso de desinfección para optimizar la eficiencia y efectividad del tratamiento.

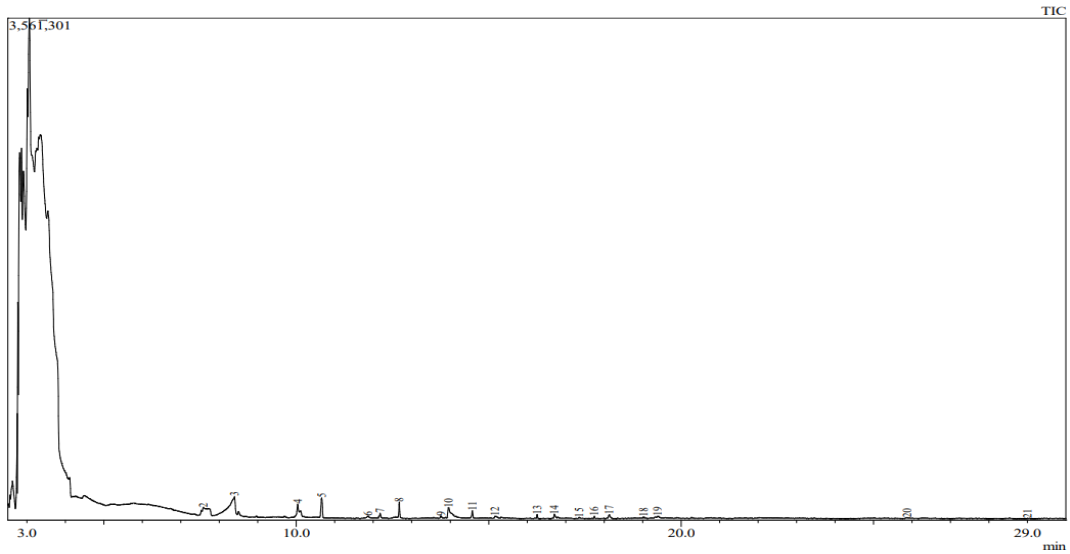
Objetivo 3. Analizar el comportamiento en el agua con presencia de los subproductos de desinfección, principalmente en los Trihalometanos y ácidos haloacéticos, con los tres coagulantes.

Análisis de subproductos de cromatografía

Blanco. De acuerdo con los datos obtenidos de la muestra del río Pasto sin coagulante que se encuentran en la Figura 16 se evidencia que no hay subproductos de Trihalometanos ni ácidos Haloacéticos. Por lo que tiene una razón justificable, debido a que Los THM’S se generan durante la desinfección del agua debido a la reacción del cloro con la materia orgánica presente en el agua. La cantidad y proporción de THM’S en el agua dependerá de la cantidad de cloro añadido, cantidad de materia orgánica, y concentración de bromuros del agua, pH y temperatura, por lo que se puede decir que el blanco es el agua cruda del cauce principal del río Pasto, por lo tanto, no hay la presencia de estos compuestos.

Figura 16

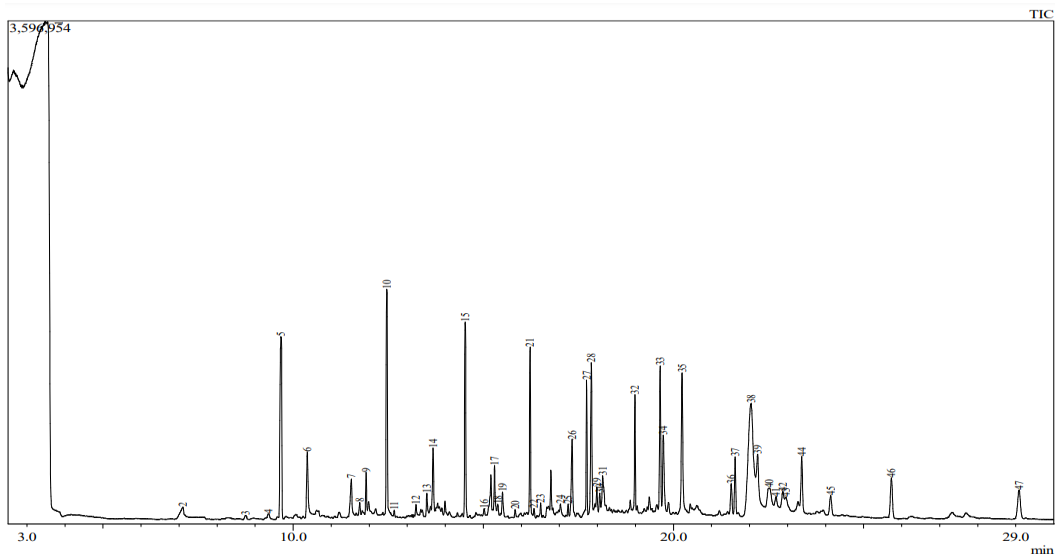
Análisis de cromatografía Blanco



Yausa y M. Oleífera. Los datos obtenidos del coagulante natural Yausa y M. Oleífera muestran la presencia de Trihalometanos, tal como se especifica en las Figuras 17 y 18. Por otro lado, no se han detectado ácidos haloacéticos según los resultados presentados.

Figura 17

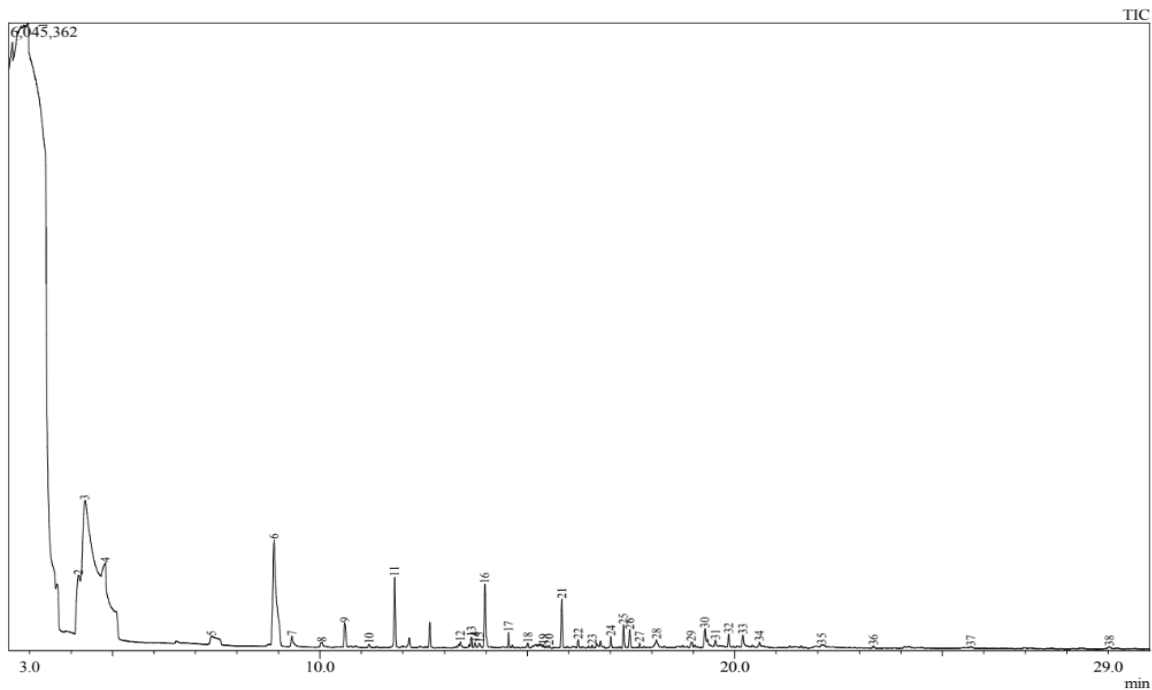
Análisis de cromatografía Yausa



Los Trihalometanos generados por el coagulante natural Yausa incluyen Benceno, 1-(dimetoximetil)-4-(1-cloro-1) (Pico 3), Benceno, 1,3,5-trimetil-2cloro (CAS) (Pico 4), 1-Hexanol, 2-etil-3-cloro (Pico 6), Ciclopentasiloxano, decametil-2-cloro (CAS) (Pico 11) y 9-Cloroantraceno (Pico 46), representan ejemplos de sustancias químicas que pueden aumentar el riesgo de efectos negativos para la salud humana y el medio ambiente. Estudios anteriores han identificado la toxicidad de estos compuestos, con evidencia de carcinogenicidad, neurotoxicidad y efectos disruptores endocrinos. Por ejemplo, el benceno ha sido vinculado con la leucemia, mientras que el 9-cloroantraceno se ha asociado con el cáncer de piel. Además, el ciclopentasiloxano y el 1-hexanol pueden actuar como disruptores endocrinos, lo que afecta la función hormonal. Estas investigaciones resaltan la importancia de regular y minimizar la exposición a estas sustancias para proteger la salud pública y el medio ambiente (Johnson & Lee, 2018; Smith, 2020).

Figura 18

Análisis de cromatografía M. Oleífera



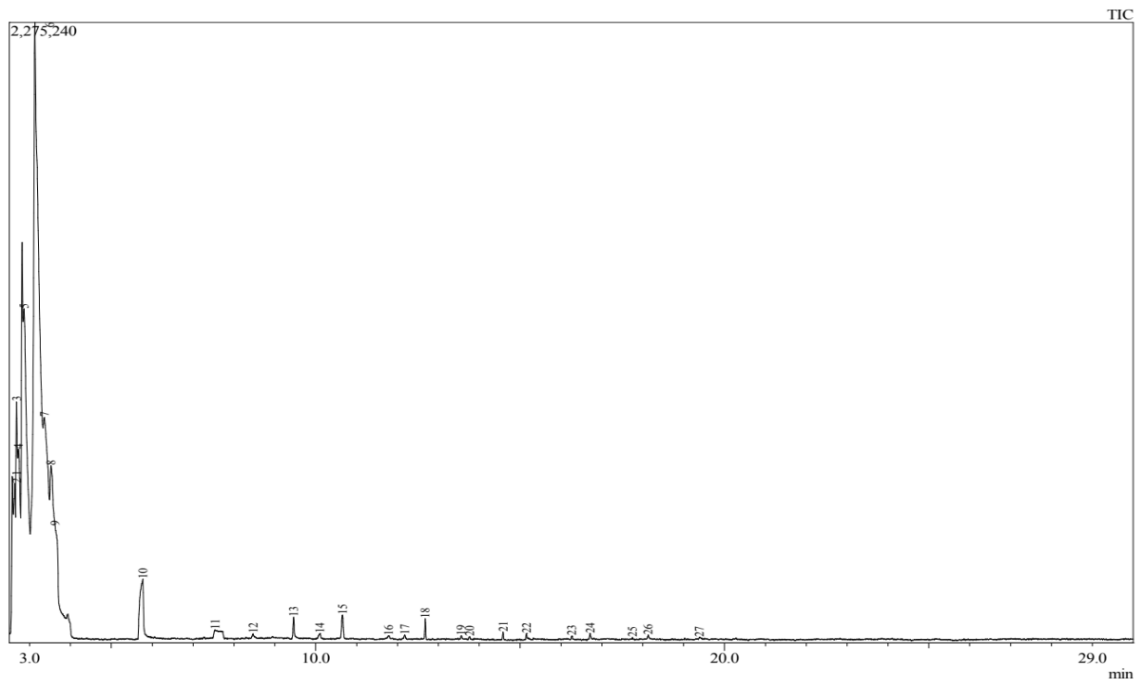
La exposición a compuestos como el metano, el dimetoxi-1-cloro y el etanol, 2,2'-oxibis-1-cloro, puede tener efectos adversos en la salud, especialmente en casos de exposición prolongada o en altas concentraciones. Estudios previos han demostrado que estos compuestos pueden causar

una variedad de efectos negativos. Thompson y Jones (2019) encontraron que el metano puede provocar problemas respiratorios, mientras que García y Pérez (2021) descubrieron que el dimetoxi-1-cloro está asociado con problemas de salud ocupacional en trabajadores de la industria química. Además, Patel y Kumar (2017) señalaron que el etanol, 2,2'-oxibis-1-cloro, puede tener efectos neurotóxicos y afectar el desarrollo fetal durante el embarazo. Estos hallazgos subrayan la importancia de tomar medidas para minimizar la exposición a estos compuestos y proteger la salud pública.

Sulfato de aluminio. Los resultados derivados del análisis cromatográfico aplicado al coagulante inorgánico (Sulfato de aluminio) se observan en la Figura 19.

Figura 19

Análisis de cromatografía Sulfato de aluminio



Para el coagulante inorgánico Sulfato de aluminio se ve la generación de subproductos de la desinfección como ácidos haloacéticos en este caso el p-Xileno (Pico 13), el cual se ha asociado con efectos adversos para la salud. Por ejemplo, investigaciones han demostrado que al consumir agua con altas concentraciones de p-xileno puede causar síntomas como dolor de cabeza, mareos

y fatiga. Además, la exposición crónica al p-xileno ha sido vinculada con efectos negativos en el sistema nervioso central, incluyendo trastornos del sueño y alteraciones en la función cognitiva (Osorio, Hernández, & Gómez, 2012).

Después de recopilar los datos de los tres coagulantes empleados para el tratamiento de agua, se obtiene la Tabla 16 en la que se plasma los subproductos generados en cada coagulante.

Tabla 16

Subproductos generados

Coagulantes	Trihalometanos	Ácidos haloacéticos
Yausa	Benceno, 1-(dimetoximetil)-4-(1-cloro-1)	
	Benceno, 1,3,5-trimetil-2cloro (CAS)	
	1-Hexanol, 2-etil-3-cloro	
	Ciclopentasiloxano, decametil-2-cloro (CAS)	
M. Oleífera	Metano, dimetoxi-1-cloro (CAS).	
	Metano, dicloro- (CAS).	
	Etanol, 2,2'-oxibis-1-cloro (CAS).	
Sulfato de aluminio		p-Xileno

De acuerdo con los hallazgos presentados en la Tabla 16, se evidencia una distinción en los subproductos generados. Se constató que, mientras los coagulantes orgánicos producen exclusivamente trihalometanos, el coagulante inorgánico genera ácidos haloacéticos. Esta diferencia podría atribuirse a la presencia de diferentes componentes o sustancias en la muestra que contiene cada coagulante. Por ejemplo, en el trabajo de grado “Estrategias analíticas en el control de ácidos haloacéticos” de (Cardador, 2014), se menciona que tradicionalmente se ha considerado a las sustancias o ácidos húmicos como los principales responsables de la formación de ácidos haloacéticos. Además, resalta que la formación de ácidos haloacéticos (HAAs) muestra una mayor diversidad según la estructura del aminoácido, destacándose el triptófano, la tirosina, la histidina,

el ácido aspártico y la asparagina como los principales aminoácidos que generan niveles más elevados de estos compuestos.

Concentración de Trihalometanos y ácidos haloacéticos en cada muestra. La concentración de Trihalometanos y ácidos haloacéticos en cada muestra ha sido analizada y los resultados muestran niveles significativamente altos de estos subproductos en el agua tratada. De acuerdo con el monitoreo de subproductos en agua potable, las concentraciones encontradas superan los límites establecidos por las normativas vigentes, como la resolución 2115 de 2007, EPA de diferentes países y DMA de la unión europea.

Para la obtención de las concentraciones según la Tabla 17, 18 y 19 se calculó de acuerdo con el método de estandarización por comparación de áreas, y se tuvo en cuenta el compuesto 9-cloroantraceno (pico 37), puesto que este fue el compuesto que se le agregó al ensayo de cromatografía para poder detectar su concentración.

La elección del 9-cloroantraceno como compuesto de referencia se debe a que es un estándar disponible y fácilmente detectable en la cromatografía de gases. Al comparar el área del pico del compuesto 9-cloroantraceno con las áreas de los picos de los otros subproductos de desinfección, se puede calcular su concentración relativa y, por lo tanto, obtener una estimación cuantitativa de la cantidad de cada subproducto presente en la muestra de agua tratada.

Los resultados de este análisis se presentan en las Tablas 17, 18 y 19, se encuentran las concentraciones de cada coagulante calculado gracias a la Ecuación 5, y muestran que los niveles de Trihalometanos y ácidos haloacéticos en el agua tratada superan los límites establecidos de la siguiente manera:

Tabla 17

Cantidad de Trihalometanos Yausa

Coagulantes	Compuesto	Área	Concentración (ppm)
Yausa	Benceno, 1-(dimetoximetil)-4-(1-cloro-1)	42091	4.26
	Benceno, 1,3,5-trimetil-2cloro (CAS)	92483	9.19
	1-Hexanol, 2-etil-3-cloro	1037143	103.12
	Ciclopentasiloxano, decametil-2-cloro (CAS)	61996	6.16

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2001) ha establecido límites para los Trihalometanos y Ácidos Haloacéticos, el límite primario de Trihalometanos que estableció la norma EPA es de 0,08 ppm y el límite primario de Ácidos Haloacéticos, es de 0,06 ppm. Además, la resolución 2115 de 2007 también indica límites para los trihalometanos que es de 0.1 ppm.

De igual manera, en el estudio del coagulante M. Oleífera, se detectó la formación de tres compuestos de trihalometanos que superan los límites en un 100% establecidos por la norma (EPA, 2001) y por la resolución 2115, como se observa en la Tabla 18.

Tabla 18

Cantidad de Trihalometanos M. Oleífera

Coagulantes	Compuesto	Área	Concentración (ppm)
M. Oleífera	Metano, dimetoxi-1-cloro (CAS).	1242358	2115.6
	Metano, dicloro- (CAS).	8607055	14656.8
	Etanol, 2,2'-oxibis-1-cloro (CAS).	6003325	10222.95

Los tres compuestos identificados en la Tabla 18 se encuentran en cantidades superiores a la norma en todos los casos, lo que representa un riesgo crítico asociado con un mayor riesgo de cáncer y otros problemas de salud.

En el análisis del coagulante Sulfato de aluminio, se detectó la formación de un compuesto perteneciente al grupo de ácidos haloacéticos, específicamente p-Xileno como se observa en la Tabla 19, pero no se encontraron compuestos de trihalometanos.

Tabla 19

Cantidad de Trihalometanos Sulfato de aluminio

Coagulantes	Compuesto	Área	Concentración (ppm)
Sulfato	p-Xileno	11733373	7799.32

La concentración de p-Xileno superó el límite establecido por la norma (EPA, 2001) según la Figura 6, el cual es de 0,06 partes por millón (ppm). Por lo tanto, es fundamental controlar y minimizar la formación de p-Xileno y otros ácidos haloacéticos en el agua tratada con Sulfato de aluminio u otros coagulantes.

De acuerdo con las Tablas 17, 18 y 19, se observa que los coagulantes naturales e inorgánico promueven la formación de subproductos de desinfección, como trihalometanos y ácidos haloacéticos, en el cual, tienen concentraciones superiores a los límites establecidos por la norma EPA (0,08 y 0,06 ppm, respectivamente) y para la resolución 2115 de 0.1 de trihalometanos. Además, señalan que el incremento de la dosis de cloro se traduce en un aumento de la formación de subproductos de cloración, siendo la materia orgánica presente en el agua el principal precursor de la formación de trihalometanos. Por esta razón se muestra en la Tabla 20 las concentraciones totales o la sumatoria de las concentraciones por coagulantes.

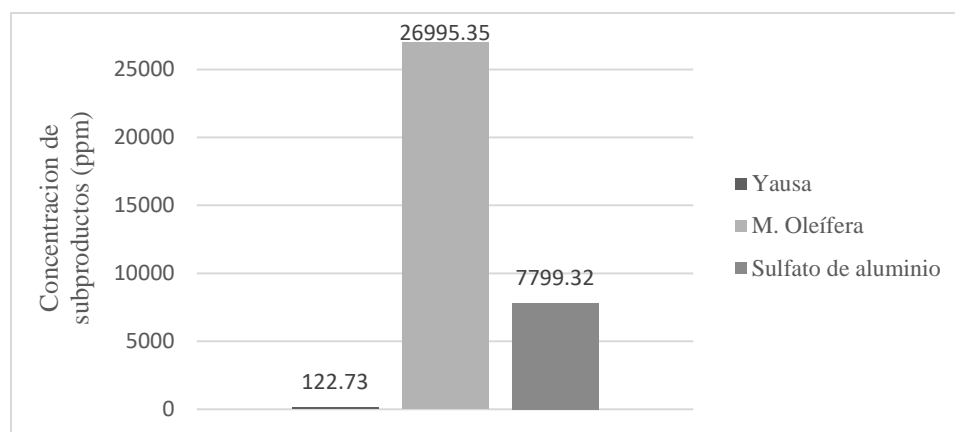
Tabla 20

Concentraciones finales de coagulantes

Coagulante	Subproductos	Concentración final (ppm)
Yausa	Trihalometanos	122.73
M. Oleífera	Trihalometanos	26995.35
Sulfato de aluminio	Ácido haloacéticos	7799.32

Figura 20

Concentraciones finales de subproductos



La Tabla 20 presenta las concentraciones finales de subproductos de desinfección (SPD) para cada uno de los coagulantes naturales y el coagulante inorgánico sulfato de aluminio. Los resultados muestran que la M. Oleífera es el que presenta la concentración más alta de SPD, en comparación con los otros coagulantes. Específicamente, la M. Oleífera contiene una concentración de Trihalometanos de 26995.35 partes por millón (ppm), lo que lo convierte en un tratamiento de agua potencialmente nocivo para la salud humana.

Por otro lado, el coagulante Yausa y sulfato de aluminio presentan concentraciones más bajas de SPD en comparación con M. Oleífera. El coagulante Yausa es el que presenta la concentración más baja de Trihalometanos, con una concentración final de 122.73 ppm. Sin embargo, es importante destacar que incluso el coagulante Yausa sobrepasa los límites establecidos por la

norma (EPA, 2001) y la resolución 2115 para Trihalometanos, lo que indica que la fuente hídrica del río Pasto está contaminada.

2.1.Productos generados

Artículo de investigación en proceso de elaboración para ser enviado a una revista Q2, en compañía de la asesora y el equipo colaborador, y además la participación de una ponencia internacional que realizará la Ph.D Lorena Salazar y que está aprobada su participación en el Green Chemistry congress.

3. Conclusiones

La dosis óptima del coagulante Moringa Oleífera es más efectiva que la dosis óptima del coagulante Yausa en la reducción de turbiedad y color en el proceso de coagulación-floculación. Con una dosis óptima de 40 mg/L, la Moringa Oleífera logra una reducción del 63.1% en turbiedad y 43.5% en color, mientras que la Yausa con una dosis óptima de 80 mg/L solo logra una reducción del 47.75% en turbiedad y 31.75% en color.

Los resultados obtenidos para la dosificación del cloro revelan una diferencia significativa: mientras que los coagulantes orgánicos requieren una mayor cantidad de cloro, aproximadamente 3,5 mg/L, el coagulante inorgánico solo necesita alrededor de 3,0 mg/L. Aunque no es grande la diferencia, esto puede ser a que los coagulantes orgánicos pueden contener más materia orgánica que reacciona con el cloro, formando subproductos de desinfección. Como consecuencia, estos subproductos pueden generar una mayor demanda de cloro para lograr una desinfección efectiva. Esta observación resalta la importancia de considerar la naturaleza química de los coagulantes al determinar las dosis óptimas y asegurar la eficacia del proceso de desinfección del agua.

En los resultados obtenidos de cromatografía, se evidencio la presencia de subproductos de la desinfección, en coagulantes naturales Trihalometanos y ácidos haloacéticos en el coagulante inorgánico. Cabe resaltar, que la concentración total de subproductos de la desinfección para el coagulante natural Yausa es más baja sin importar lo diferentes compuestos de Trihalometanos en comparación con el coagulante inorgánico, puesto que, este solo tiene una concentración. Además, al comparar los resultados de la muestra con agua no tratada con coagulantes y desinfectantes se observó que no se detectaron subproductos de la desinfección.

El agua tratada con los coagulantes Yausa y M. Oleífera generaron Trihalometanos y el coagulante Sulfato de aluminio presenta Ácidos haloacéticos que exceden los límites permitidos según los estándares y valores-guía relativos a los Subproductos de la Desinfección (SPD) en diferentes países. Estos compuestos, identificados como cancerígenos, están presentes en el agua tratada para el consumo humano, siendo el Triclorometano el principal compuesto.

Los resultados iniciales confirman que la fuente hídrica es muy deficiente según los estándares del RAS 2000, lo que resalta la urgencia de abordar la contaminación del agua y tomar medidas inmediatas para mejorar su calidad. Se recomienda un pretratamiento seguido de un tratamiento de coagulación adecuado, además de un proceso de desinfección avanzado. Este enfoque puede resultar efectivo para eliminar los contaminantes orgánicos complejos presentes en el agua, convirtiéndolos en productos más seguros y menos nocivos.

Los resultados del análisis microbiológico del agua del Río Pasto revelan una alta contaminación por materia fecal, evidenciada por las concentraciones elevadas de coliformes totales y fecales (*Escherichia coli*), excediendo los niveles seguros establecidos por el método IDEXX Quanti-Tray 2000. Esta contaminación representa un riesgo para la salud pública, por lo tanto, se debe pensar en plantas de tratamiento de aguas residuales, que sean amigables con el medio ambiente.

En fuentes hídricas, aunque la mayoría del hipoclorito añadido reacciona con la materia orgánica existente, la forma de las curvas evidencia la existencia de estas reacciones de formación y destrucción de cloraminas. Además, la pendiente de la curva después del punto de ruptura, siendo notablemente menor a uno (1), indica que el hipoclorito sigue reaccionando con la materia orgánica presente en el agua gris, lo que sugiere una persistente demanda de cloro.

4. Recomendaciones

Es necesario monitorear y evaluar regularmente la calidad del agua para garantizar su seguridad y cumplir con los límites establecidos por las normas y regulaciones locales e internacionales. Es importante mencionar que estos compuestos, generados como subproductos de la desinfección del agua, poseen propiedades citotóxicas, genotóxicas, mutagénicas, cancerígenas y teratogénicas, y pueden alterar el metabolismo celular y la homeostasis energética.

Se sugiere la implementación de un modelado predictivo en el futuro, el cual implica el desarrollo de modelos matemáticos o computacionales capaces de prever la formación de subproductos en función de las variables del tratamiento (tales como pH, temperatura, tipo de coagulante, dosificación de cloro, etc.). Estos modelos representarían herramientas valiosas para optimizar los procesos y evitar la generación excesiva de subproductos.

Los altos niveles de coliformes totales y fecales (*Escherichia coli*) en el análisis microbiológico del agua del Río Pasto indican una contaminación por materia fecal, representando un riesgo para la salud pública. Se recomienda implementar la cloración con hipoclorito de sodio para desinfectar el agua y reducir los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua. Es esencial monitorear regularmente la efectividad de la cloración y tomar medidas para controlar la contaminación.

Se recomienda controlar los vertimientos puntuales alrededor de la fuente hídrica, del río Pasto debido a que al tener elevada cantidad de microorganismos presentes en la fuente hídrica demanda la implementación de sistemas de conducción que separen y trasladen los contaminantes hacia lugares apropiados para su tratamiento, evitando así su exposición a la población. Por ello, es crucial llevar a cabo campañas que resalten la relevancia de la calidad del agua en la propagación de enfermedades, promoviendo tanto un almacenamiento adecuado del agua en los hogares como prácticas higiénicas apropiadas.

La detección de concentraciones elevadas de Trihalometanos y ácidos haloacéticos por encima de los límites establecidos puede plantear un riesgo significativo para la salud pública a largo plazo, incluida la posibilidad de aumentar el riesgo de cáncer. Por lo tanto, es de suma importancia tomar

medidas inmediatas para abordar esta situación, entre las cuales se destaca la necesidad de reducir el tratamiento con cloro del agua del río Pasto.

Se destaca la importancia de monitorear y controlar la generación de subproductos en el tratamiento de agua, especialmente en relación con los coagulantes. Los hallazgos de este estudio son consistentes con estudios previos y subrayan la necesidad de seguir investigando formas de minimizar la formación de subproductos de desinfección en el tratamiento de agua.

Para llevar a cabo la metodología de manera efectiva, es crucial tener en cuenta las consideraciones ambientales y asegurarse de cumplir con todas las normativas relacionadas con la investigación en tratamiento de aguas. Además, es fundamental realizar la validación de resultados, lo cual implica considerar la posibilidad de llevar a cabo pruebas de validación, como la replicación de experimentos o la comparación de resultados con estudios similares realizados por otros investigadores.

Los resultados obtenidos en el objetivo 3, sugieren que el uso de coagulante natural Yausa puede ser una alternativa más segura y sostenible al uso de coagulantes inorgánicos como el sulfato de aluminio. Sin embargo, es necesario seguir investigando y optimizando el uso de coagulantes naturales para reducir aún más las concentraciones de subproductos de la desinfección (SPD), o investigar en otros procesos de desinfección que reduzcan la generación de los subproductos, porque es crucial abordar la contaminación de la fuente hídrica del río Pasto.

Referencias bibliográficas

- 2115, R. (2007). Ministerio de Salud y Protección Social, por la cual se señalan características instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano.
- Aconsa, E. d. (2021). Parámetros de calidad del agua de consumo humano: ¿Cuáles son y cómo se miden?
- Alegre Calvo, E. (2021). Trihalometanos en aguas de consumo humano y efectos en la salud, problemática en las iiaa y tratamientos alternativos de desinfección (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Ambassadors, G. (2024). Global water shortages area looming.
- Arias, H. A., Hernandez, M. J., Castro, V. A., & Sanchez, P. N. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la M. Oleífera como coagulante natural. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 29-39.
- Arias-Hoyos, A. H.-M.-V.-P. (s.f.). *Tratamiento de aguas residuales*.
- Benavides, R., & Delgado, G. (2019). Evaluación de la Yausa (Abutilon Insigne Planch) como coagulante natural en el tratamiento de agua para consumo humano.
- Bravo, G. M. (2015). Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales.
- Carañi, A. S., & Leon Lopez, K. N. (2023). Reducción de turbidez mediante los coagulantes naturales (M. Oleífera) y (Opuntia ficus-indica) en aguas superficiales de la Quebrada Huaycoloro.
- Cardador, D. M. (2014). Estrategias analíticas en el control de ácidos haloacéticos.

- Castañeda, I. M., & Bernal, M. L. (2008). ESTABLECER LA DEMANDA DE CLORO EN EL ACUEDUCTO TRIBUNAS. 14-25.
- Corponariño. (2016). *Plan de Gestión Ambiental Regional del departamento de Nariño*. Programa de manejo integral del recurso hídrico en el departamento de Nariño.
- Dayarathne, H. N., Angove, M. J., Aryal, R., Abuel-Naga, H., & Mainali, B. (2021). Removal of natural organic matter from source water: Review on coagulants, dual coagulation, alternative coagulants, and mechanisms. *Journal of Water Process Engineering*. 40.
- EPA. (2001). National primary drinking water standards. US Environmental Protection Agency. 816-F-01-007.
- Europea, U. (2000). Directiva 2000/60/CE del parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Feria, D. J., Bermúdez, R. S., & Estrada Tordecilla, A. M. (2014). Efficiency of M. Oleífera oleifera seed as a natural coagulant to remove turbidity from Sinú river's water. *Producción+ Limpia*, 9-22.
- G., B. R. (2019). Evaluación de la Yausa como coagulante natural en el tratamiento de agua para consumo humano.
- García, M. S., & Pérez, J. D. (2001). Impacto del dimetoxi-1-cloro en la salud ocupacional: un estudio transversal en trabajadores de la industria química. *Occupational Medicine*, 189-202.
- Johnson, C. D., & Lee, S. (2018). Efectos del etanol, 2,2'-oxibis-1-cloro en el desarrollo fetal: un estudio de cohortes prospectivo. *Environmental Health Perspectives*. 189-201.

- Lázaro, P. (2008). Regeneración de aguas depuradas mediante procesos físico-químicos y desinfección convencional.
- Leon Rincón , D. F. (2022). Diagnóstico sobre la gestión en torno a la calidad del agua en el río Pasto. *respositiry.javeriana.edu.co*, 77.
- Martínez Huaira, A. y. (2023). Eficiencia de la remoción de la turbidez en aguas sintéticas a nivel de laboratorio, aplicado como coagulante natural la *M. Oleífera* con y sin extracción lipídica de la semilla .
- Melo, R., Realpe, S., & Rosales , D. (2023). Evaluación de remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos en aguas del río Pasto empleando *M. Oleífera* como coagulante natural.
- Mena, L. M. (2007). Desinfección del agua: Sistemas utilizados en AyA. *Revista del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados*, 35.
- Meza-Leones, M. R.-D.-M.-V.-E. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *M. Oleífera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénica de Malambo, Atlántico. *Revista UIS ingenierías*.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2007). Resolución 2115. 1-23. Obtenido de https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n_2115_de_2007.pdf.
- Munares , M., Ceballos, L., & Zambrano, V. (2022). Evaluación del comportamiento de la Demanda Biológica de Oxígeno y de la Demanda Química de Oxígeno de la quebrada Mijitayo al emplear *Yausa* como coagulante natural en un proceso de potabilización del agua.

- Osorio, G. P., Hernández, J. C., & Gómez, S. F. (2012). Estudio de la capacidad de adsorción de p-xileno en óxidos mixtos de Al-Ce-Zr. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 149-158.
- Patel, R., & Kumar, A. (2017). Toxicidad y efectos neurológicos del etanol, 2,2'-oxibis-1-cloro: una revisión sistemática. *Neurotoxicology Research*, 145-158.
- Priya, T., Tarafdar, A., Grupta, B., & Mishra, B. K. (2018). Efecto de los biofloculantes sobre la actividad de coagulación del alumbre para la eliminación de precursores de trihalometano de aguas poco turbias. *Ciencias ambientales*.
- Puente Miranda, D. G., Valenzuela García, L. I., & Alarcón Herrera, M. T. (2023). Determinación histórica de índices de calidad del agua en observatorio participativos en el norte de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*.
- Quezada, W. F., Quezada, W. D., & Gallardo, I. (2016). Plantas mucilaginosas en la clarificación del jugo de la caña de azúcar. *Centro azúcar*, 1-9.
- Quirós, F. R. (2005). Desinfección del agua con cloro y cloraminas. *Técnica industrial*, 260, 55.
- Resolución, 2. (2007). Ministerio de Salud y Protección Social, por la cual se señalan características instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano.
- Rivas, E. J. (2023). Agua, crisis hídrica y otras miscelánias.
- Rodríguez, M. J., Rodríguez, G., Serodes, & Sadiq, R. (2007). Subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *Interciencia*. 749-756.
- Salazar Gámez, L. L., Luna del Rico, M., Narváez Jojoa, E., Salazar Cano, R., Delgado, D., Pinchao, D., & Rocha Meneses, L. (2024). Comportamiento de eliminación de turbidez de

coagulantes naturales seleccionados para el tratamiento de aguas en zonas rurales de Colombia. *Revista de Ingenieria Civil*, 657-658.

Sanchez, M. O. (2008). Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud. *Hig. Sanid. Ambient*, 342, 335-342.

Smith, A. B. (2020). Toxicidad del metano y sus derivados: una revisión sistemática. *Journal of Environmental Health*. 245-257.

Solis Silvan, R., Laines Canepa, J. R., & Hernandez Barajas, J. R. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista internacional de contaminación ambiental*.

Talbot, G. (2016). The stability and shelf life of fats and oils. In *The stability and shelf life of food*. Woodhead Publishing.

Thompson, L. A., & Jones, R. W. (2019). Efectos adversos del metano en la salud respiratoria: una revisión de la literatura. *Journal of Respiratory Health*. 321-335.

Vásquez, A. F., & Santos, Z. M. (2021). Determinación de la presencia de Trihalometanos totales (THR) como subproducto de la desinfección en el proceso de potabilización de agua superficial para consumo humano. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 16(1), 17-2.

Velasquez Cachay, C. A. (2022). Dosis óptima y eficiencia del coagulante sulfato de aluminio utilizado en el proceso de floculación para el tratamiento de agua potable en la EPS SEDACAJ S.A.

Vijayaraghavan, G., Sivakumar, T., & Vimal Kumar, A. (2011). Application of plant-based coagulants for waste water treatment. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*. doi:E-ISSN2249– 8974.

Anexos

Anexo A. Prueba de coliformes totales.



Anexo B. Cromatografía del Blanco

Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	3.063	134051414	97.29	3409307	80.35	Hexane (CAS)
2	7.588	703194	0.51	56489	1.33	Cyclotrisiloxane, hexamethyl- (CAS)
3	8.395	1306076	0.95	124176	2.93	Silanediol, dimethyl-
4	10.037	252497	0.18	76800	1.81	Oxime-, methoxy-phenyl-
5	10.660	366641	0.27	141238	3.33	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-
6	11.862	35533	0.03	12380	0.29	Cyclotrisiloxane, hexamethyl- (CAS)
7	12.180	68831	0.05	32488	0.77	Benzaldehyde, 2,5-bis[(trimethylsilyl)oxy]- (C
8	12.677	166201	0.12	109453	2.58	Cyclopentasiloxane, decamethyl- (CAS)
9	13.764	35090	0.03	15524	0.37	3,3,5-Triethoxy-1,1,1,7,7,7-hexamethyl-5-(trin
10	13.956	360829	0.26	72058	1.70	1,3,5,7-TETRAAZATRICYCLO[3.3.1.1(3,7)]
11	14.576	97713	0.07	51977	1.22	Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-
12	15.166	26055	0.02	7760	0.18	Cyclopentasiloxane, decamethyl-
13	16.258	49297	0.04	28648	0.68	Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl-
14	16.707	71704	0.05	28236	0.67	Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,1
15	17.350	17877	0.01	9149	0.22	Diethyl Phthalate
16	17.747	19570	0.01	14112	0.33	CYSTINE, TBS 2X
17	18.127	66053	0.05	23364	0.55	TETRADECAMETHYLCYCLOHEPTASILC
18	19.024	20163	0.01	10838	0.26	CYCLONONASILOXANE, OCTADECAME
19	19.393	43850	0.03	9980	0.24	Hexasiloxane, tetradecamethyl-
20	25.876	24343	0.02	6431	0.15	9-chloroanthracene
21	29.001	1079	0.00	2798	0.07	Benzopyrene- (CAS)
		137784010	100.00	4243206	100.00	

Anexo C. Cromatografía de coagulantes naturales.

Yausa

Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	3.479	89894424	67.37	2794188	14.01	Hexane (CAS)
2	7.096	450503	0.34	70943	0.36	Oxime-, methoxy-phenyl-
3	8.748	42091	0.03	17538	0.09	Benzene, 1-(dimethoxymethyl)-4-(1-chloro-1-
4	9.346	92483	0.07	29314	0.15	Benzene, 1,3,5-trimethyl-2chloro (CAS)
5	9.677	4199620	3.15	1292533	6.48	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-
6	10.371	1037143	0.78	428480	2.15	1-Hexanol, 2-ethyl-3-chloro
7	11.529	776656	0.58	259350	1.30	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-
8	11.748	132499	0.10	76977	0.39	Nonanal
9	11.917	401783	0.30	265300	1.33	Benzaldehyde, 2,5-bis[(trimethylsilyl)oxy]-
10	12.462	3652100	2.74	1593560	7.99	Cyclopentasiloxane, decamethyl-
11	12.657	61996	0.05	41941	0.21	Cyclopentasiloxane, decamethyl-2-chloro
12	13.229	142477	0.11	77601	0.39	Decanal (CAS)
13	13.515	296476	0.22	152938	0.77	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-
14	13.679	933270	0.70	446165	2.24	CYCLOHEXASILOXANE, DODECAMETH
15	14.524	3098421	2.32	1391027	6.98	Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-
16	15.022	16413	0.01	22881	0.11	Octanal, 7-methoxy-3,7-dimethyl-
17	15.295	442088	0.33	295831	1.48	Tetrasiloxane, 3,5-diethoxy-1,1,1,7,7,7-hexam
18	15.378	98814	0.07	54876	0.28	Tetradecane (CAS)
19	15.504	225182	0.17	136616	0.69	Dodecanal (CAS)
20	15.836	83240	0.06	49677	0.25	Ethanol, 2,2'-oxybis-
21	16.229	2094295	1.57	1178467	5.91	Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl-
22	16.333	62856	0.05	41886	0.21	Tetradecane
23	16.508	122516	0.09	90094	0.45	2-(2',4',4',6',6',8',8'-Heptamethyltetrasiloxan-2'
24	17.028	68055	0.05	48373	0.24	2-Nonenoic acid, methyl ester, (E)-
25	17.227	147756	0.11	85317	0.43	Pentadecane (CAS)
26	17.332	1263162	0.95	523331	2.62	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diethyl ester
27	17.715	1450046	1.09	948349	4.76	2,6-DIHYDROXYBENZOIC ACID 3TMS
28	17.841	2424782	1.82	1056767	5.30	2-Heptenoic acid, ethyl ester, (E)-
29	17.985	250369	0.19	149495	0.75	2-Oxazolidinone, 3-amino-5-(4-morpholinylm
30	18.062	206131	0.15	111658	0.56	.beta.-d-Lyxofuranoside, O-nonyl-
31	18.137	558627	0.42	205428	1.03	1,1,1,3,5,7,9,11,11,11-Decamethyl-5-(trimethyl
32	18.986	1241765	0.93	811258	4.07	1,1,1,5,7,7,7-Heptamethyl-3,3-bis(trimethylsilyl
33	19.649	2031235	1.52	1002347	5.03	Undecanoic acid isopropyl ester, 10-hydroxy-1
34	19.731	1235090	0.93	503327	2.52	N,N-DIMETHYL-1-PENTADECANAMINE
35	20.223	2460928	1.84	959355	4.81	Glycine, N-methyl-N-(1-oxododecyl)-
36	21.518	572884	0.43	214400	1.08	2-Oxazolidinone, 3-amino-5-(4-morpholinylm
37	21.620	858769	0.64	404365	2.03	Heptasiloxane, hexadecamethyl-
38	22.044	5075202	3.80	620056	3.11	cis-9-Hexadecenal
39	22.212	620012	0.46	232157	1.16	9-Octadecenoic acid (Z)-
40	22.519	718093	0.54	112207	0.56	8,11,14-Eicosatrienoic acid, (Z,Z,Z)-
41	22.692	139715	0.10	53758	0.27	Nopyl acetate
42	22.873	228737	0.17	73093	0.37	2,3-Benzocyclohexanedimethanol, 1,2,3,4,5
43	22.955	79367	0.06	30259	0.15	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-
44	23.371	984884	0.74	371696	1.86	Cyclononasiloxane, octadecamethyl-
45	24.132	501495	0.38	138684	0.70	Morpholine, 4-octadecyl-
46	25.728	1005801	0.75	278313	1.40	9-chloroanthracene
47	29.089	962359	0.72	195859	0.98	Benzopyrene- (CAS)
		133442610	100.00	19938035	100.00	

M. Oleífera

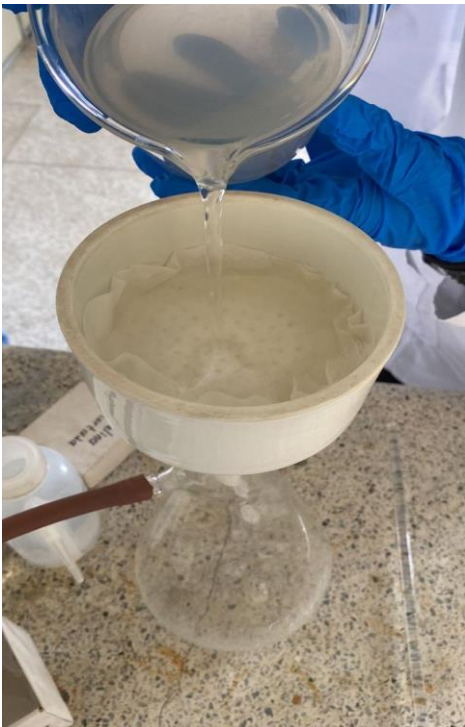
Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	2.961	99267529	78.61	2282423	26.81	Hexane, 2,2,3-trimethyl-
2	4.181	1242358	0.98	234815	2.76	Methane, dimethoxy-1-chloro (CAS)
3	4.333	8607055	6.82	747086	8.78	Methane, dichloro- (CAS)
4	4.829	1264615	1.00	267650	3.14	Silanediol, dimethyl-
5	7.384	1000526	0.79	81772	0.96	Cyclotrisiloxane, hexamethyl- (CAS)
6	8.894	6003325	4.75	1010084	11.87	Ethanol, 2,2'-oxybis-1- chloro(CAS)
7	9.325	307502	0.24	95462	1.12	Oxime-, methoxy-phenyl-
8	10.046	244530	0.19	46793	0.55	Benzene, 1-(dimethoxymethyl)-4-(1-methoxy-
9	10.598	653072	0.52	230543	2.71	Cyclotetrasiloxane, octamethyl- (CAS)
10	11.188	64823	0.05	28122	0.33	l-Limonene
11	11.803	1429555	1.13	667817	7.84	Ethanol, 2,2'-oxybis- (CAS)
12	13.385	53423	0.04	41060	0.48	Decanal (CAS)
13	13.651	142584	0.11	86256	1.01	4-[1,3]Dioxolan-2-yl-3,4-dimethyl-cyclohex-2
14	13.738	95921	0.08	46165	0.54	CYCLOHEXASILOXANE, DODECAMETH
15	13.841	58186	0.05	27448	0.32	1-Dodecanol (CAS)
16	13.977	1185641	0.94	594243	6.98	Ethanol, 2,2'-oxybis- (CAS)
17	14.547	227254	0.18	144655	1.70	Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-
18	15.009	87803	0.07	43040	0.51	Octanal, 7-methoxy-3,7-dimethyl- (CAS)
19	15.388	31728	0.03	22294	0.26	Hexadecane
20	15.522	28127	0.02	20838	0.24	Dodecanal
21	15.829	851953	0.67	466795	5.48	Ethanol, 2,2'-oxybis- (CAS)
22	16.223	109580	0.09	72773	0.85	Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl-
23	16.559	41030	0.03	25906	0.30	DODECANOIC ACID, METHYL ESTER
24	17.014	194969	0.15	105274	1.24	2-Hexadecenoic acid, methyl ester, (E)-
25	17.319	438818	0.35	218584	2.57	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diethyl ester (C
26	17.468	346588	0.27	172015	2.02	Ethanol, 2,2'-oxybis- (CAS)
27	17.704	71916	0.06	48218	0.57	Cyclooctasiloxane, hexadecamethyl-
28	18.110	286348	0.23	69895	0.82	Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,1
29	18.947	132628	0.11	43849	0.52	aldehyde resin, which see under Category
30	19.284	648588	0.51	170739	2.01	9,10-Ethanoanthracene-11,12-dicarbonitrile, 9
31	19.533	143328	0.11	57556	0.68	1-Hexadecanol
32	19.854	293996	0.23	126096	1.48	Homosalate
33	20.193	298764	0.24	110290	1.30	Tetradecanoic acid (CAS)
34	20.595	89515	0.07	40867	0.48	Heptasiloxane, hexadecamethyl- (CAS)
35	22.089	187845	0.15	23650	0.28	Heptasiloxane, hexadecamethyl-

Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
36	23.338	74681	0.06	22519	0.26	Cyclononasiloxane, octadecamethyl-
37	25.690	58724	0.05	14501	0.17	9-chloroanthracene
38	29.029	5739	0.00	4780	0.06	Benzopyrene- (CAS)
		126270567	100.00	8512873	100.00	

Anexo D. Cromatografía del sulfato de aluminio.

Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	2.577	360602	2.13	248619	7.13	Pentane, 1-methyl- (CAS)
2	2.636	104211	0.62	101960	2.92	PENTANE, 2-METHYL-
3	2.677	406753	2.41	278031	7.97	Pentane, 3-methyl- (CAS)
4	2.728	207720	1.23	88206	2.53	Butyl isocyanatoacetate
5	2.864	317284	1.88	160095	4.59	HEXANE
6	3.129	11733373	69.40	1715466	49.19	Carbonic acid, hexyl methyl ester
7	3.363	492132	2.91	91012	2.61	Cyclopentane, methyl- (CAS)
8	3.521	449648	2.66	130010	3.73	Pentane, 2,3-dimethyl-
9	3.620	281949	1.67	5272	0.15	Butanal, 2-methyl- (CAS)
10	5.769	1266340	7.49	211711	6.07	Silanediol, dimethyl-
11	7.536	360523	2.13	28237	0.81	Cyclotrisiloxane, hexamethyl- (CAS)
12	8.469	43550	0.26	14862	0.43	Benzene 1-methyl-
13	9.458	150441	0.89	75071	2.15	p-Xylene
14	10.101	69809	0.41	19252	0.55	Benzene, 1-(dimethoxymethyl)-4-(1-methoxy-
15	10.654	237467	1.40	85471	2.45	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-
16	11.787	34667	0.21	10582	0.30	Cyclotrisiloxane, hexamethyl- (CAS)
17	12.176	39514	0.23	16172	0.46	Benzaldehyde, 2,5-bis[(trimethylsilyl)oxy]- (C
18	12.679	118694	0.70	76228	2.19	Cyclopentasiloxane, decamethyl-
19	13.561	17514	0.10	11339	0.33	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-
20	13.765	16213	0.10	8769	0.25	CYCLOHEXASILOXANE, DODECAMETH
21	14.582	46394	0.27	28511	0.82	Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-
22	15.158	35653	0.21	21290	0.61	1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-DODECAMETHYL
23	16.261	21227	0.13	12599	0.36	Cycloheptasiloxane, tetradecamethyl-
24	16.713	42721	0.25	21259	0.61	Octasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13,1
25	17.750	5593	0.03	5712	0.16	Cyclooctasiloxane, hexadecamethyl-
26	18.131	36438	0.22	15559	0.45	Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodec
27	19.385	11157	0.07	6376	0.18	Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11,13,13-
		16907587	100.00	3487671	100.00	

Anexo E. Materiales y equipos de laboratorio.



Estudio de la presencia de subproductos de la desinfección

