

**ESTUDIO DE LA PRESENCIA DE SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN CON  
CLORO EN AGUAS TRATADAS CON COAGULANTES NATURALES Y SULFATO DE  
ALUMINIO.**

**(Resumen Analítico)**

***STUDY OF THE PRESENCE OF CHLORINE DISINFECTION BY-PRODUCTS IN  
WATER TREATED WITH NATURAL COAGULANTS AND ALUMINUM SULFATE  
(Analytical Summary)***

**Autores (*Authors*):** MONCAYO PASTAS María Isabel, PANTOJA ROMO Sahira Damaris y SOLARTE MURANGAL Karenth Yuliana.

**Facultad (*Faculty*):** de INGENIERÍA

**Programa (*Program*):** INGENIERÍA CIVIL

**Asesor (*Support*):** PHD. LORENA LUCIA SALAZAR GÁMEZ

**Fecha de terminación del estudio (*End of the research*):** MAYO 2024

**Modalidad de Investigación (*Kind of research*):** Trabajo de Grado

**PALABRAS CLAVE**

M. OLEÍFERA.

YAUSA.

SULFATO DE ALUMINIO.

DESINFECCIÓN.

DOSIS ÓPTIMA.

TRIHALOMETANOS.

ÁCIDOS HALOACÉTICOS.

SALUD HUMANA.

**KEY WORDS**

*M. OLEÍFERA.*

*YAUSA.*

*ALUMINUM SULFATE.*

*DISINFECTION.*

*OPTIMUM DOSAGE.*

*TRIHALOMETHANES.*

*HALOACETIC ACIDS.*

*HUMAN HEALTH.*

**RESUMEN:** 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.

**ABSTRACT:** *The objective of this research was to evaluate the generation of disinfection by-products in water treated with natural and inorganic coagulants. To achieve this purpose, analyses of two natural coagulants, Yausa (*Abutilon insigne* Planch) and M. Oleífera (*Moringa*), together with the inorganic coagulant aluminum sulfate were carried out for comparison purposes. The water samples were collected from the Pasto River, which is in a deficient category according to the POT (Plan de ordenamiento territorial), making it essential to understand how to adequately treat the water for its potabilization and to guarantee the safety and health of the communities that depend on it.*

*The research determined the optimal doses of natural and inorganic coagulants, starting from the coagulation process, with an analysis of the effluent, applying the disinfection process determining optimal doses and evaluating the generation of byproducts such as Trihalomethanes and haloacetic acids, with the objective of understanding their impact on human health and providing sustainable solutions based on nature and clean technologies, such as natural coagulants.*

**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.

**CONCLUSIONS:** *The optimum dose of the coagulant Moringa Oleifera is more effective than the optimum dose of the coagulant Yausa in reducing turbidity and color in the coagulation-flocculation process. With an optimum dosage of 40 mg/L, Moringa Oleifera achieves a 63.1% reduction in turbidity and 43.5% in color, while Yausa with an optimum dosage of 80 mg/L only achieves a 47.75% reduction in turbidity and 31.75% in color.*

*The results obtained for the chlorine dosage reveal a significant difference: while the organic coagulants require a higher amount of chlorine, approximately 3.5 mg/L, the inorganic coagulant only needs about 3.0 mg/L. Although the difference is not large, this may be because organic coagulants may contain more organic matter that reacts with the chlorine, forming disinfection by-products. As a consequence, these by-products may generate a higher chlorine demand for effective disinfection. This observation highlights the importance of considering the chemical nature of coagulants when determining optimal dosages and ensuring the effectiveness of the water disinfection process.*

*The chromatographic results obtained showed the presence of disinfection by-products in the natural coagulant Trihalomethanes and haloacetic acids in the inorganic coagulant. It should be noted that the total concentration of disinfection by-products for the natural coagulant Yausa is lower regardless of the different compounds of Trihalomethanes compared to the inorganic coagulant, since it has only one concentration. In addition, when comparing the results of the sample with water not treated with coagulants and disinfectants, it was observed that no disinfection by-products were detected.*

*The water treated with the coagulants Yausa and M. Oleifera generated trihalomethanes and the coagulant aluminum sulfate showed haloacetic acids that exceed the limits allowed according to the standards and guideline values for disinfection by-products (DAP) in different countries. These compounds, identified as carcinogenic, are present in water treated for human consumption, Trichloromethane being the main compound.*

*Initial results confirm that the water source is very poor by SAN 2000 standards, highlighting the urgency of addressing water contamination and taking immediate action to improve water quality. Pretreatment followed by appropriate coagulation treatment is recommended, in addition to an advanced disinfection process. This approach can be effective in removing complex organic contaminants present in the water, converting them into safer and less harmful products.*

*The results of the microbiological analysis of the Pasto River water reveal high fecal contamination, evidenced by elevated concentrations of total and fecal coliforms (*Escherichia coli*), exceeding the safe levels established by the IDEXX Quanti-Tray*

*2000 method. This contamination represents a risk to public health; therefore, environmentally friendly wastewater treatment plants should be considered.*

*In water sources, although most of the added hypochlorite reacts with existing organic matter, the shape of the curves evidences the existence of these reactions of formation and destruction of chloramines. In addition, the slope of the curve after the breakpoint, being significantly less than one (1), indicates that hypochlorite continues to react with the organic matter present in the gray water, suggesting a persistent demand for chlorine.*

**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.

***RECOMMENDATIONS:*** *It is necessary to regularly monitor and evaluate water quality to ensure its safety and to comply with the limits established by local and international standards and regulations. It is important to mention that these compounds, generated as by-products of water disinfection, possess cytotoxic, genotoxic, mutagenic, carcinogenic and teratogenic properties, and can alter cellular metabolism and energy homeostasis.*

*We suggest the implementation of predictive modeling in the future, which involves the development of mathematical or computational models capable of predicting the formation of by-products as a function of treatment variables (such as pH, temperature, type of coagulant, chlorine dosage, etc.). These models would represent valuable tools to optimize processes and avoid excessive by-product generation.*

*The high levels of total and fecal coliforms (Escherichia coli) in the microbiological analysis of the Pasto River water indicate fecal contamination, representing a risk to public health. It is recommended that chlorination with sodium hypochlorite be implemented to disinfect the water and reduce the risk of waterborne diseases. It is essential to regularly monitor the effectiveness of chlorination and take measures to control contamination.*

*It is recommended to control point discharges around the water source of the Pasto*

*River because the high quantity of microorganisms present in the water source requires the implementation of conduction systems that separate and transfer contaminants to appropriate places for their treatment, thus avoiding their exposure to the population. Therefore, it is crucial to carry out campaigns that highlight the relevance of water quality in the spread of diseases, promoting both adequate water storage in homes and appropriate hygienic practices.*

*The detection of elevated concentrations of Trihalomethanes and haloacetic acids above established limits can pose a significant long-term public health risk, including the potential for increased cancer risk. Therefore, it is of utmost importance to take immediate action to address this situation, including the need to reduce chlorine treatment of water from the Pasto River.*

*The importance of monitoring and controlling the generation of by-products in water treatment, especially in relation to coagulants, is highlighted. The findings of this study are consistent with previous studies and underscore the need to continue investigating ways to minimize the formation of disinfection byproducts in water treatment.*

*To carry out the methodology effectively, it is crucial to take into account environmental considerations and ensure compliance with all regulations related to water treatment research. In addition, it is essential to perform validation of results, which implies considering the possibility of carrying out validation tests, such as replication of experiments or comparison of results with similar studies performed by other researchers.*

*The results obtained in objective 3 suggest that the use of the natural coagulant Yausa can be a safer and more sustainable alternative to the use of inorganic coagulants such as aluminum sulfate. However, it is necessary to continue researching and optimizing the use of natural coagulants to further reduce the concentrations of disinfection by-products (DAP), or to investigate other disinfection processes that reduce the generation of by-products, because it is crucial to address the contamination of the Pasto river water source.*