# Evaluación de la sábila *(Aloe vera)* y de las semillas de guanábana *(Annona muricata)* como coagulantes naturales para procesos de coagulación en la potabilización del agua de zonas rurales

Kevin Steven Cortés Salgado

Eli Daniela Sánchez Tejada

Unidad Central del Valle del Cauca

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Ambiental

Tuluá Valle

2025

# Evaluación de la sábila *(Aloe vera)* y de las semillas de guanábana *(Annona muricata)* como coagulantes naturales para procesos de coagulación en la potabilización del agua de zonas rurales

Kevin Steven Cortés Salgado

Eli Daniela Sánchez Tejada

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental

Directora

Ing. Sandra Santacoloma Londoño

Magíster en Ingeniería Ambiental

Codirectora

María Eugenia Buitrago González

Magíster en Educación

Unidad Central del Valle del Cauca

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Ambiental

Tuluá Valle

2025

Tabla de Contenido

**Resumen** ..... 12

**Abstract** ..... 14

**Introducción** ..... 16

**Problema** ..... 18

**Antecedentes** ..... 18

**Descripción Del Problema** ..... 22

**Formulación del Problema** ..... 26

**Justificación** ..... 27

**Objetivos** ..... 30

**Objetivo General** ..... 30

**Objetivos Específicos** ..... 30

**Marco Referencial** ..... 31

**Estado Del Arte** ..... 31

**Marco Teórico** ..... 35

**Marco Legal** ..... 45

**Marco Conceptual** ..... 47

**Diseño Metodológico** ..... 51

**Extracción de Propiedades Coagulantes de la Sábila y de las Semillas de Guanábana** ..... 51

**Determinación de Dosis Óptimas de Coagulantes Naturales** ..... 56

***Preparación De Agua Turbia*** ..... 56

***Dosis Óptimas***..... 57

**Análisis del Comportamiento de los Parámetros Fisicoquímicos a Partir de los Extractos de *Aloe Vera* y *Annona Muricata* mediante análisis estadísticos** ..... 61

***Análisis de pH, Conductividad Eléctrica, Alcalinidad, Sólidos Disueltos y Turbiedad*** ..... 61

***Prueba Estadística con MATLAB*** ..... 62

**Resultados y Discusión**..... 66

**Procesamiento de *Aloe Vera* y *Annona Muricata* para su Utilización como Coagulantes Naturales en la Potabilización** ..... 66

**Dosis Óptimas de Coagulantes Naturales Identificadas** ..... 69

***Preparación De Agua Turbia*** ..... 69

***Dosis Óptimas***..... 70

***Síntesis de Datos de Dosis de Coagulantes y Parámetros Finales***..... 74

**Síntesis de los Promedios de Parámetros Fisicoquímicos con los Extractos de *Aloe Vera y Annona Muricata*** ..... 90

*Análisis de pH, Conductividad Eléctrica, Alcalinidad, Sólidos Disueltos y Turbiedad* ..... 90

*Prueba Estadística con MATLAB* ..... 100

**Conclusiones** ..... 107

**Recomendaciones** ..... 109

**Referencias Bibliográficas** ..... 111

## Lista de Tablas

**Tabla 1.** Margo legal ..... 45

**Tabla 2.** Concentraciones de la sábila como coagulante natural ..... 52

**Tabla 3.** Cálculo de volúmenes a partir de soluciones a base de sábila ..... 53

**Tabla 4.** Concentraciones de las semillas de guanábana como coagulante natural ..... 55

**Tabla 5.** Procedimiento de mediciones de parámetros fisicoquímicos ..... 57

**Tabla 6.** Hipótesis para análisis de varianza de dos factores con interacción (ANOVA) .... 63

**Tabla 7.** Características iniciales de agua cruda para prueba N° 1 ..... 72

**Tabla 8.** Características iniciales de agua cruda para prueba N° 2 ..... 72

**Tabla 9.** Características iniciales de agua cruda para prueba N° 3 ..... 73

**Tabla 10.** *Características iniciales de agua cruda para prueba N° 4* cruda para ..... 73

**Tabla 11.** antes y después de los parámetros con los coagulantes naturales ..... 91

**Tabla 12.** Efecto de las dosis de la sábila y de las semillas de guanábana sobre la turbiedad del agua ..... 101

**Tabla 13**. Parámetros fisicoquímicos del agua de la vereda Guadualejo ..... 126

**Tabla 14.** Resolución 2115 de 2007 ..... 127

**Tabla 15.** Resultados de la prueba N°1 tras aplicar sábila (Aloe vera) como coagulante . 128

**Tabla 16.** Resultados de la prueba N°2 tras aplicar sábila (Aloe vera) como coagulante . 129

**Tabla 17**. Resultados de la prueba N°3 tras aplicar sábila (Aloe vera) como coagulante 130

**Tabla 18.** Resultados de la prueba N°4 tras aplicar sábila (Aloe vera) como coagulante . 131

**Tabla 19.** Resultados de la prueba N°1 tras aplicar semillas de guanábana (Annona Muricata) como coagulante ..... 132

**Tabla 20.** Resultados de la prueba N°2 tras aplicar semillas de guanábana (Annona Muricata) como coagulante ..... 133

**Tabla 21.** Resultados de la prueba N°3 tras aplicar semillas de guanábana (Annona Muricata) como coagulante ..... 134

**Tabla 22.** Resultados de la prueba N°4 tras aplicar semillas de guanábana (Annona Muricata) como coagulante ..... 135

## Lista de figuras

**Figura 1.** Procedimiento de extracción de pulpa (gel) ..... 66

**Figura 2.** Proceso de selección y preparación de las semillas de guanábana (Annona muricata) ..... 68

**Figura 3.** Proceso de molienda y tamizado de las almendras de guanábana. ..... 68

**Figura 4.** Proceso de secado de las semillas de guanábana en horno y reducción en tamiz 69

**Figura 5.** Muestras de agua tomadas del río Tuluá. ..... 70

**Figura 6.** Antes y después prueba N° 1 (Aloe vera) ..... 75

**Figura 7.** Antes y después prueba N° 2 (Aloe vera)..... 76

**Figura 8.** Antes y después prueba N° 3 (Aloe vera)..... 77

**Figura 9.** Antes y después prueba N° 4 (Aloe vera)..... 78

**Figura 10.** Prueba de jarras utilizando la sábila como coagulante natural ..... 82

**Figura 11.** Antes y después prueba N° 1 (Annona muricata)..... 83

**Figura 12.** Antes y después prueba N° 2 (Annona muricata)..... 84

**Figura 13.** Antes y después prueba N° 3 (Annona muricata)..... 85

**Figura 14.** Antes y después prueba N° 4 (Annona muricata)..... 86

**Figura 15.** Prueba de jarras utilizando las semillas de guanábana como coagulante natural ..... 89

**Figura 16.** Correlación de Pearson para los parámetros analizados utilizando Aloe vera .. 93

**Figura 17.** Correlación de Pearson para los parámetros analizados utilizando Annona muricata..... 96

**Figura 18.** Tabla de valores obtenida del análisis ANOVA de MATLAB..... 101

**Figura 19.** Prueba post-hoc (Tukey)..... 103

**Figura 20.** Efecto principal del coagulante ..... 104

**Figura 21.** Efecto principal de las dosis ..... 105

**Figura 22.** Interacción entre coagulante y dosis..... 105

## Lista de ecuaciones

**Ecuación 1.** Conversión de unidades ..... 51

**Ecuación 2.** Fórmula de dilución ..... 53

**Ecuación 3.** Fórmula de dilución despejada ..... 53

**Ecuación 4.** Conversión de la conductividad eléctrica (CE) a SDT ..... 59

## Apéndices

**Apéndice A.** Características físicas y químicas del agua para consumo humano del acueducto de Guadualejo. ..... 126

**Apéndice B.** Características físicas y químicas máximas permisibles de agua para consumo humano ..... 127

**Apéndice C.** Resultados de pruebas tras aplicar los coagulantes naturales ..... 127

## Resumen

La potabilización del agua en zonas rurales enfrenta retos significativos por el uso de coagulantes químicos como sulfato de aluminio, sulfato ferroso y cloruro férrico, los cuales generan impactos ambientales y riesgos para la salud. Este proyecto evaluó la sábila (*Aloe vera*) y las semillas de guanábana (*Annona muricata*) como coagulantes naturales, analizando parámetros como pH, alcalinidad, conductividad eléctrica, turbidez y sólidos disueltos, para ofrecer una solución más sostenible.

El estudio incluyó la extracción y preparación de los coagulantes naturales, pruebas de jarras para determinar las dosis óptimas, análisis estadísticos mediante correlación de Pearson y análisis de varianza de dos factores (ANOVA). Los resultados de la correlación de Pearson mostraron que la sábila presentó una relación positiva moderada con el pH (R=0,71), acercándolo al rango ideal para agua potable, mientras que las semillas de guanábana mostraron correlaciones positivas fuertes con el pH (R=0,90), la conductividad eléctrica (R=0,86) y los sólidos disueltos (R=0,86).

El análisis ANOVA evidenció diferencias entre los coagulantes en la reducción de turbidez (P=0,031 < 0,05), siendo la sábila más efectiva que las semillas de guanábana. La sábila alcanzó su mejor desempeño con una dosis de 68000 mg/L, mientras que las semillas de guanábana lograron la mayor reducción de turbidez con 13600 mg/L.

Los resultados mostraron un avance significativo en la estabilización de parámetros fisicoquímicos clave, lo cual es un aspecto positivo si se tiene en cuenta que, al complementarse con procesos posteriores como la filtración y la desinfección, se pueden alcanzar condiciones de calidad del agua comparable con otros procesos de potabilización tradicionales.

La sábila *(Aloe vera)* y las semillas de guanábana *(Annona muricata)* son coagulantes naturales viables para el tratamiento del agua en zonas rurales. Los hallazgos indican que estos coagulantes pueden mejorar significativamente ciertos parámetros fisicoquímicos, lo que sugiere su viabilidad como alternativas a los coagulantes químicos tradicionales.

**Palabras clave:** *Aloe vera*, a*nona muricata*, coagulantes naturales, zonas rurales, potabilización y turbiedad

## Abstract

Water purification in rural areas faces significant challenges due to the use of chemical coagulants such as aluminum sulfate, ferrous sulfate, and ferric chloride, which have environmental impacts and health risks. This project evaluated aloe vera (Aloe vera) and soursop seeds (Annona muricata) as natural coagulants, analyzing parameters such as pH, alkalinity, electrical conductivity, turbidity, and dissolved solids, to offer a more sustainable solution.

The study included the extraction and preparation of the natural coagulants, jar tests to determine the optimal doses, statistical analysis using Pearson correlation and two-factor analysis of variance (ANOVA). The results of the Pearson correlation showed that aloe vera had a moderate positive relationship with pH ($R=0.71$), bringing it closer to the ideal range for potable water, while soursop seeds showed strong positive correlations with pH ($R=0.90$), electrical conductivity ($R=0.86$), and dissolved solids ($R=0.86$).

The ANOVA analysis revealed differences between the coagulants in turbidity reduction ($P=0.031 < 0.05$), with aloe vera being more effective than soursop seeds. Aloe vera achieved its best performance with a dose of 68,000 mg/L, while soursop seeds achieved the greatest turbidity reduction with 13,600 mg/L.

The results showed a significant advancement in the stabilization of key physicochemical parameters, which is a positive aspect considering that, when complemented with subsequent processes such as filtration and disinfection, water quality conditions comparable to other traditional water purification processes can be achieved.

Aloe vera (Aloe vera) and soursop seeds (Annona muricata) are viable natural coagulants for water treatment in rural areas. The findings suggest that these coagulants can significantly improve certain physicochemical parameters, indicating their potential as alternatives to traditional chemical coagulants.

Keywords: Aloe vera, Annona muricata, natural coagulants, rural areas, water purification, and turbidity.

# Introducción

La acumulación de residuos de coagulantes químicos (como sulfato de aluminio, sulfato ferroso, cloruro férrico, entre otros.) en el agua potable y en los lodos generados durante el proceso de potabilización representa un desafío ambiental y de salud pública. Este problema se ha asociado con los altos volúmenes de coagulante químico utilizados para remover turbiedad y color en aguas crudas, lo que ha generado una creciente preocupación por los impactos que estos residuos pueden tener en los ecosistemas acuáticos y en las comunidades que dependen de estas fuentes hídricas.

En este contexto, surge la necesidad de explorar alternativas a los coagulantes químicos tradicionales, utilizados en la potabilización del agua. Esta investigación tiene como objetivo determinar la eficacia de dos coagulantes naturales, sábila *(Aloe vera)* y semillas de guanábana *(Annona muricata)*, en el mejoramiento de parámetros fisicoquímicos como pH, alcalinidad, turbiedad, conductividad eléctrica y sólidos disueltos. La elección de estas especies vegetales responde tanto a su disponibilidad en regiones rurales como a sus propiedades coagulantes, las cuales podrían ofrecer una solución más sostenible frente a los desafíos actuales del tratamiento de agua.

El estudio comprende tres etapas principales: la extracción y preparación de los coagulantes naturales, su aplicación en pruebas de jarras para evaluar su desempeño, y el análisis estadístico de los resultados obtenidos. Este enfoque permite identificar las dosis óptimas y determinar la efectividad de cada coagulante en condiciones controladas.

Además, se analizará el impacto potencial de estas alternativas en la calidad del agua tratada, evaluando su viabilidad para reemplazar parcial o totalmente a los coagulantes químicos.

Este estudio se enfoca exclusivamente en la evaluación de parámetros fisicoquímicos del agua, por lo que no abarca análisis microbiológicos ni pruebas sobre la estabilidad de los coagulantes en distintas condiciones ambientales. Además, la implementación a gran escala de estos coagulantes naturales podría verse afectada por la disponibilidad de recursos para su extracción y preparación, lo que resalta la importancia de realizar investigaciones adicionales para determinar su viabilidad técnica y económica.

Este proyecto de grado busca ofrecer soluciones prácticas y sostenibles que reduzcan la dependencia de coagulantes químicos, al tiempo que fortalezcan los procesos de potabilización en comunidades rurales, con un enfoque en la protección del medio ambiente y la mejora de la calidad de vida.

# Problema

## Antecedentes

El recurso hídrico es una fuente limitada de vida para todas las personas en el mundo debido a la distribución desigual que hay en todo el planeta y el aumento de la presión sobre este recurso vital (Silva, 2023). La tierra tiene 1.386 millones de kilómetros cúbicos de agua, donde el 3% es dulce. De este porcentaje, una parte está en los casquetes polares y de forma subterránea, el resto se ubica en ríos, lagos y pantanos, resultando solo un 0,77% para el consumo humano (Romero, 2021).

Cabe resaltar que el crecimiento poblacional y la búsqueda de mejora en la calidad de vida de las personas, ha traído consigo una saturación del uso de las fuentes hídricas superficiales. El estado actual señala que para el año 2050, 1.800 millones de personas vivirán en escasez, y dos tercios de las personas del mundo vivirán en escasez de agua moderada (Damkjaer y Taylor, 2017).

El acceso limitado al agua de buena calidad para el consumo humano, trae consigo problemas de salud y uno de los principales es la diarrea. Esta irregularidad en el cuerpo humano es la causa de muertes de niños entre 1 y 5 años, siendo grupos sociales aislados los más vulnerables a esto (Ryan et al., 2017). Asimismo, se conoce que el agua en malas condiciones y con los parámetros fisicoquímicos indeseados, desencadena trastornos de la salud en vejiga, riñones, hígado entre otros, principalmente en países en vía de desarrollo (Srivastav y Kaur, 2020).

Como reacción a estas condiciones de exigüidad, se ha avanzado en técnicas para el mantenimiento y tratamiento del agua y de esta forma permitir el uso accesible y seguro.

La coagulación, es una de las técnicas más antiguas y que se mantienen vigentes en la actualidad en plantas de tratamiento de agua de países en vía de desarrollo por su facilidad, efectividad y sus beneficios en cuanto a costos (Ang y Mohammad, 2020). Esto ha llevado a que se indague a mayor profundidad nuevos coagulantes de tipo natural y de fácil obtención, pero con características costo-efectivas superiores.

En este contexto, la búsqueda de alternativas sostenibles y económicamente viables para el tratamiento del agua, ha llevado a explorar coagulantes naturales como la penca de sábila, las semillas de guanábana, entre otras. La sábila, también conocida como *Aloe vera*, ha demostrado tener propiedades coagulantes en investigaciones recientes (Benalia et al., 2021). Por otro lado, las semillas de guanábana, ricas en compuestos bioactivos, han mostrado un gran potencial como agente coagulante (Massa, 2019).

Según Benjumea et al., 2021 en el estudio sobre la evaluación de la eficiencia de extractos naturales en el proceso de coagulación floculación de aguas crudas, con fines de potabilización, se demostró que con extracto de sábila se obtuvo una eliminación de la turbidez del 85% en el agua cruda con dosis bajas de coagulante. En esta investigación también se analizó que, a mayor cantidad de extracto de sábila, se obtendrán mejores resultados en remoción de la turbidez, lo que indica que adicionar más extracto podría mostrar resultados de supresión de hasta un 90%.

Alvarado y Vanegas (2021) en su trabajo de investigación acerca de la actividad coagulante de la semilla de guanábana (*Annona muricata*) en aguas de la cuenca media del rio Bogotá, buscaban evaluar la eficiencia de esta alternativa natural a partir de la práctica de volúmenes reducidos. Los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de remoción de

turbidez fueron del 76% con el extracto que fue preparado con agua destilada, debido a la alta polaridad del agua que permite diluir otras sustancias, por la divergencia de electronegatividad entre el oxígeno y el hidrogeno.

Massa (2019) en su investigación sobre el uso de semillas de Guanábana como coagulante-floculante en el tratamiento de aguas residuales domésticas, se puede destacar que la semilla de guanábana demostró tener un efecto mediano en sus propiedades como coagulante natural, con la mayor remoción de partículas causantes de turbidez alcanzada a una concentración de 0,8 g/500ml de agua residual. Igualmente se determinó que la concentración más eficaz de la semilla de guanábana como floculante fue de 0,8 g/500ml, logrando una remoción del 54,78% de turbidez en el agua residual. También se observó que el proceso de remoción de la turbidez se llevó a cabo en un medio ligeramente básico, con valores de pH oscilando entre 8,92 y 7,58.

Existen otras alternativas de coagulantes naturales como la conocida *Moringa Oleífera Lam* (MOL), que es una de las más investigadas y que mayor resultado ha dado a nivel mundial en cuanto a la presencia de activos con propiedades coagulantes (Gutiérrez, 2022). A partir de allí se han estudiado las distintas formas de obtención de las propiedades activas coagulantes de la MOL. Principalmente se usan las semillas para el tratamiento de agua dado que no resultan toxicas, no interfieren en parámetros del agua como el pH o conductividad y los lodos que se producen al tratar el agua con esta alternativa no son dañinos y se generan en pequeñas cantidades (Castillo, 2023).

Ramesh y Kumar (2019), hicieron una investigación acerca de la efectividad de la semilla de la MOL tomando en cuenta parámetros como el color, turbidez, olor y pH y así mismo observaron la eficacia de esta alternativa como coagulante primario para estanques,

grifos y lagos de zonas rurales en la India. Utilizaron 25 mg/L de coagulante durante 75 minutos y obtuvieron que, a mayor cantidad de coagulante usado, mejor será el resultado.

La *Opuntia ficus-indica* (OFI) o más conocida como Tuna o Nopal, resulta como el género más investigado para el tratamiento de aguas. El mucilago, es la parte responsable de los efectos coagulantes. Este carbohidrato es complejo y su estructura es gelatinosa, normalmente se encuentran en la parte externa e interna de los cactus, además presentan una alta competencia de retener el agua (Saravanakumar et al., 2015).

En la Universidad Nacional de Perú, Inga, 2019, llevó a cabo una investigación acerca de la mitigación de los coliformes totales y turbiedad del agua del río Cunas, tomando como principal fuente coagulante las pencas de OFI. En uno de los ensayos realizados, se obtuvo una disminución del 89% de los coliformes totales y una remoción de turbidez del 89,69% con dosis de 5mg/L y 60mg/L respectivamente.

Mestanza, (2022), realizó una comparación de la eficiencia de coagulación del *Aloe vera* y la *Opuntia ficus-indica* en el distrito de Cumba, provincia de Utcubamba, Perú. Este análisis se realizó en la quebrada de Piatana, la cual inicialmente presentaba una turbiedad de 115 NTU. Se usó el método de la prueba de jarras para el desarrollo del análisis y poder determinar la opción de mayor eficiencia. El Nopal por su parte, arrojó resultado de remoción de turbiedad del 90,5% con pH alcalino y una dosis de 350 mg/L; en ese mismo estudio, la penca de sábila logró una remoción del 95,5% con pH ácido y una dosis de 300 mg/L. Se desarrolló un análisis estadístico a partir de la prueba de T-Student la cual demostró que la penca de sábila es la mejor opción para remoción de turbidez en condiciones ácidas.

La elección de coagulantes naturales no solo responde a la necesidad de mitigar la escasez de agua potable, sino también a la creciente conciencia ambiental y la búsqueda de métodos más sostenibles para el tratamiento del agua. Además, se ha observado que el uso de coagulantes naturales puede reducir la formación de subproductos tóxicos durante el proceso de potabilización, lo que contribuye a la seguridad del suministro de agua (Castellanos, 2017).

A pesar de los avances en la investigación sobre coagulantes naturales, su aplicación práctica y efectividad en diferentes contextos aún requiere una evaluación más profunda. Este proyecto busca abordar esta brecha investigativa al explorar la eficacia de la sábila y las semillas de guanábana como coagulantes naturales en el tratamiento de agua para consumo humano.

## Descripción Del Problema

El agua potable es un recurso fundamental para la vida y el desarrollo humano; sin embargo, el acceso a este recurso se ha convertido en un desafío a nivel mundial, ya que la alta tasa de crecimiento demográfico influye en el aumento de la demanda de agua potable.

Actualmente, el acceso a agua potable en las zonas rurales en todo el mundo es limitado, ya que el 44% del total de la población a nivel mundial vive en zonas rurales, y el 80 % de las personas que habitan en estas áreas no tienen acceso garantizado a un consumo seguro de agua potable (Arrojo Agudo, 2022).

A pesar de que América Latina es considerada como una región rica en agua, 34 millones de personas que habitan en Latinoamérica todavía no tienen acceso a ella. Las

zonas rurales se encuentran en situaciones aún más precarias donde 21 millones de personas que habitan estas zonas no tienen acceso a agua potable (CAF, 2019).

Colombia posee la mitad de los páramos del mundo, por lo cual es considerado como el motor productor de agua; sin embargo, el país aún enfrenta problemas con el abastecimiento de agua potable a las zonas rurales. El agua que se consume en gran parte de las comunidades rurales en Colombia no cumple con los parámetros establecidos en la normatividad que garantizan que sea segura para el consumo humano, además de que en ocasiones las fuentes de agua son ríos y nacimientos que pueden estar contaminados con microorganismos patógenos y otros agentes peligrosos para la salud de las personas (Ruiz et al., 2022); Esta situación representa un riesgo para los residentes que la consumen sin tratamiento previo. Según cifras del 2023 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, al menos 3 millones de personas que habitan en zonas rurales de Colombia no cuentan con acceso a los servicios básicos de agua potable.

La falta de infraestructura, la baja inversión en servicios básicos, la calidad del agua y la desigualdad socioeconómica han sido los principales detractores de un acceso seguro de agua potable (Saravia et al., 2022).

En Colombia en 1992 solo el 10% de los habitantes en zonas rurales con acceso a acueducto recibía agua potable, en 2002 el 12%, y en 2013 el 18%. Estos datos sugieren que, a lo largo de las décadas, ha habido un lento avance en la mejora del acceso al agua potable en áreas rurales, lo que indica que aún existe una falta significativa de acceso a este servicio básico en algunas regiones del país. (Moreno, 2020)

La problemática del acceso limitado al agua potable en las zonas rurales y los impactos que genera el uso de coagulantes químicos ha impulsado la búsqueda de soluciones efectivas y sostenibles para garantizar su potabilización.

La coagulación es un proceso fundamental en el tratamiento del agua para eliminar partículas suspendidas y turbidez. El sulfato de aluminio, sulfato ferroso y cloruro férrico son coagulantes químicos comunes, usados para tratamiento de agua, pero se busca reducir su uso debido a que apenas satisface las necesidades y puede tener impactos ambientales. Por lo tanto, se resalta la importancia de los coagulantes naturales por su capacidad de atraer y enlazar partículas suspendidas en el agua, formando flóculos que facilitan su posterior separación física (Oré et al., 2023).

Se cree que el aluminio es un elemento altamente neurotóxico y hace cavilar sobre una de las posibles causas de la enfermedad del Alzheimer (EA). Esta EA tiene como síntoma principal degenerar la memoria a corto plazo y las habilidades intelectuales, trae consigo síntomas secundarios como la ansiedad y la depresión, además no existe un tratamiento que atienda por completo esta enfermedad y lleva a las personas al detrimento de su salud. Cabe resaltar que la EA se puede ver influenciada por distintos factores de tipo genético e incluso del mismo entorno donde habita la persona, y dentro de este se encuentra la exposición prolongada al aluminio, pero aún no se ha demostrado la relación directa que existe entre la EA y el aluminio (Kawahara et al., 2021).

Se considera que una ingesta aceptable de aluminio es de 1mg/kg peso corporal (Alasfar y Isaifan, 2021). A pesar de esto, una persona puede llegar a ingerir 10 mg de aluminio, teniendo en cuenta que este valor puede cambiar considerablemente según el lugar donde habite (Ayaz e Inan, 2018). Por otro lado, el pH en las clases químicas del

aluminio tiene un gran impacto, donde rangos entre 6 y 8 dentro de la escala del pH son sumamente reactantes.

El sulfato de Aluminio ($Al_2 (SO_4)_3$) a pesar de ser un elemento nocivo para las personas, llegando a ocasionar irritaciones, lesiones en la mucosa e incluso generar hemorragias, es el elemento que más se usa por bajos costos de obtención y un fácil manejo y operación. Este elemento se encuentra en distintas presentaciones ya sea líquido o sólido, y en diferentes concentraciones de alúmina, que representa la parte coagulante del sulfato de aluminio (Pérez, 2017). Su uso trae consigo algunos inconvenientes tales como la generación de grandes volúmenes de lodos, cambios drásticos en los valores del pH los cuales se deben ajustar posteriormente para que el tratamiento del agua sea eficiente, y a esto se le suma que cuando se utiliza un exceso del coagulante, queda aluminio residual en el agua tratada. Otros estudios han mostrado que la presencia del aluminio en la solución no permite una correcta desestabilización de las cargas coloidales, ocasionando un fenómeno llamado post-floculación que interfiere directamente en el aspecto del resultado final del agua tratada (Cogollo, 2010).

Es por ello que integrar el uso de coagulantes naturales en los sistemas de potabilización de agua en zonas rurales no sólo podría ofrecer una solución accesible y económica, sino que también estaría alineado con los principios de sostenibilidad y el objetivo de proporcionar acceso a agua limpia y segura para todos, como se plantea en los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## Formulación del Problema

De acuerdo con lo expuesto, se plantea la siguiente pregunta problema:

¿Qué tan eficientes pueden ser la sábila *(Aloe vera)* y las semillas de guanábana *(Annona muricata)* como coagulantes naturales para procesos de coagulación en la potabilización del agua de zonas rurales?

## Justificación

Este proyecto tiene como objetivo evaluar dos coagulantes naturales de origen vegetal, la sábila y las semillas de guanábana, para determinar su capacidad de mejorar los parámetros fisicoquímicos del agua en zonas rurales. Se analizaron aspectos como el pH, la conductividad eléctrica, la alcalinidad, la turbidez y los sólidos disueltos, con el fin de mejorar la calidad del agua de manera económica y respetuosa con el medio ambiente y la salud de la población.

La necesidad de adoptar estas alternativas radica en sus costos más bajos en comparación con los coagulantes químicos. Además, la elección de la guanábana y la sábila como coagulantes se basa en su disponibilidad y adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales. Por ejemplo, la guanábana crece en climas tropicales, cálidos y húmedos en altitudes menores a 1.000 msnm (Catalogo virtual de flora del Valle de Aburrá, 2014), mientras que la sábila puede crecer a diferentes alturas y adaptarse a una variedad de climas y regiones del país (Nazarit y Vargas, 2019*)*. Estas características hacen que ambos coagulantes sean viables y prometedores para su uso en diversas comunidades rurales, contribuyendo así a una gestión sostenible del agua.

La disponibilidad local de sábila y semillas de guanábana en algunas zonas rurales reduce los gastos de adquisición y transporte, lo que resulta particularmente beneficioso en áreas rurales con limitado acceso a infraestructuras y suministros modernos.

En los procesos de coagulación del agua se utilizan productos químicos sintéticos como el sulfato de aluminio que pueden generar residuos dañinos para el medio ambiente, ya que en su descomposición puede liberar subproductos químicos no deseables

contaminando fuentes de agua superficiales y subterráneas, afectando así a los ecosistemas acuáticos y a la biodiversidad local (Ospina y Cardona, 2020). Por otra parte, los lodos producidos mediante la utilización de coagulantes naturales son fácilmente degradables, carecen de toxicidad y se generan en cantidades menores en comparación con los coagulantes convencionales; esto simplifica su disposición final y, al mismo tiempo, conlleva a una reducción en los costos asociados con la recolección y disposición de lodos (Corado, 2020). Además, los coagulantes naturales no influyen significativamente en la disminución del pH del agua tratada, eliminando la necesidad de incurrir en costos adicionales para neutralizar el pH, un proceso comúnmente requerido cuando se utilizan coagulantes químicos cuyas reacciones en el agua suelen acompañarse de una reducción del pH y la consiguiente neutralización (Castellanos, 2017).

La utilización de coagulantes naturales, como la sábila y las semillas de guanábana, ofrecen una alternativa segura, lo cual es relevante en zonas rurales, donde el acceso a atención médica y la detección temprana de enfermedades pueden ser limitados. Estas áreas suelen carecer de infraestructura médica adecuada, incluyendo hospitales, clínicas y personal médico capacitado (OCDE, 2022), además algunos de los habitantes de estas zonas viven lejos de instalaciones médicas y carecen de medios de transporte para movilizarse hasta la zona.

Esta situación se agrava por la falta de recursos económicos en estas comunidades, lo que limita la capacidad de las personas para buscar atención médica fuera de sus regiones locales (Ministerio de Salud y Protección Social, 2018). En ese sentido, la utilización de coagulantes naturales para el tratamiento de agua, no solo proporciona una alternativa segura para garantizar el suministro de agua potable, sino que también esta

medida se convierte en una estrategia integral para mejorar la salud pública en las zonas rurales al abordar tanto la escasez de agua potable como la limitada accesibilidad a la atención médica.

# Objetivos

## Objetivo General

Evaluar el uso de la sábila *(Aloe vera)* y de las semillas de guanábana *(Annona muricata)* como coagulantes naturales en el proceso de coagulación para la potabilización del agua en zonas rurales.

## Objetivos Específicos

- Procesar *Aloe vera* y *Annona muricata* para su utilización como coagulantes naturales en la potabilización del agua de zonas rurales.
- Determinar las dosis óptimas de los coagulantes naturales en estudio, que permitan alcanzar la mayor disminución de los parámetros fisicoquímicos del agua relacionados con la coagulación: turbiedad, pH, alcalinidad, conductividad eléctrica y sólidos disueltos.
- Analizar e interpretar estadísticamente los resultados obtenidos para establecer las mejores condiciones de coagulación por cada especie estudiada.

# Marco Referencial

## Estado Del Arte

Massa (2019), en su investigación titulada "Semillas de Guanábana (*Anona Muricata*) como coagulante-floculante orgánico en el tratamiento de aguas residuales domésticas del cercado de Ica. 2019" en Perú, aborda la importancia de la sedimentación en el tratamiento de aguas residuales, destacando la necesidad de coagulantes naturales y económicos de origen vegetal. El estudio se centra en evaluar las Semillas de Guanábana como coagulante-floculante orgánico en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

En el marco de la remoción de turbidez, se empleó el ensayo de las jarras, considerando parámetros como la concentración del coagulante, el pH y la turbidez (NTU) del agua residual. La aplicación de 0,8 g de coagulante sobre 500 ml de agua residual mostró una remoción significativa del 54,78 % de la turbidez. Aunque el coagulante afectó ligeramente el pH del agua tratada, manteniéndose en valores entre 8,92 y 7,58, se concluye que la harina de semilla de Guanábana demostró ser efectiva en la remoción de la turbidez del agua residual doméstica. Este hallazgo respalda la búsqueda de alternativas naturales y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales.

El análisis realizado por Olivera (2022), examinó el empleo del coagulante natural *Aloe vera* como tratamiento terciario en una planta de tratamiento de aguas residuales en Jauja, Huancayo, Perú. El propósito central fue reducir la turbidez, los sólidos suspendidos totales (SST) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) presentes en las aguas residuales, resaltando la importancia de utilizar coagulantes naturales para mejorar la calidad del agua. El estudio se desarrolló a nivel de laboratorio empleando el ensayo de

jarras, con dosis de 10 g/L, 20 g/L, 30 g/L, 40 g/L y 50 g/L de concentración de gel de *Aloe vera.*

Los resultados evidenciaron que la eficacia del coagulante *Aloe vera* se reflejó en la reducción de la concentración de turbidez, SST y $DBO_5$ después de la etapa de sedimentación. La dosis más efectiva fue de 20 g/L, logrando reducciones significativas del 43,70 % en turbidez, del 75,70 % en SST y del 87,24 % en $DBO_5$. Estos resultados permitieron cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa D.S. N° 003-2010-MINAM, destacando así la viabilidad del uso del *Aloe vera* como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales en la PTAR de Jauja, Huancayo, Perú. (Olivera, 2022).

Ruiz, *et al* (2022), abordan el problema del acceso al agua potable en zonas rurales del departamento de Huánuco, Perú, donde el consumo de agua sin previo tratamiento conlleva a riesgos de enfermedades estomacales. Para abordar esta situación, se investigó el uso del *Aloe vera* (Sábila) como floculante, explorando sus características y reacciones en la remoción de la turbidez en aguas superficiales.

El estudio simuló la turbidez del agua con caolín y determinó la concentración óptima de alúmina y sábila al 1%, considerando diferentes valores de pH y turbidez inicial. Los datos resultantes se utilizaron para optimizar las dosis mediante el modelo matemático de superficie de respuesta. La validación se llevó a cabo mediante métodos gráficos e índices matemáticos.

Los resultados destacaron la influencia significativa de la turbidez inicial, pH inicial y la dosis del coagulante en la remoción de la turbidez del agua. Según el modelo de superficie de respuesta, se concluyó que el volumen óptimo de sábila al 1% alcanza su

máxima eficiencia a dosis de 0,1 mL y 0,4 mL por cada 500 mL; estas dosis varían según el pH y la turbidez inicial. Este modelo matemático se ajusta específicamente para aguas superficiales de la ciudad de Tingo María, presentando el *Aloe vera* como una alternativa prometedora como floculante en el tratamiento del agua. (Ruiz *et al*, 2022).

Alvarado y Vanegas (2021), exploraron la actividad coagulante de la semilla de *Annona muricata* (guanábana) en aguas de la cuenca media del río Bogotá, abordando la problemática de las altas concentraciones de turbidez que afectan la irrigación de cultivos en Bogotá, Colombia. Tradicionalmente, se ha utilizado sulfato de aluminio como coagulante químico, pero su impacto en la salud humana y el ambiente ha llevado a buscar alternativas naturales. El objetivo principal de la investigación fue evaluar la eficacia coagulante de la semilla de guanábana mediante la técnica de volúmenes reducidos adaptada por el Grupo de Microbiología Aplicada al Medio Ambiente del Departamento de Biotecnología de la Universidad Real de Tecnología en Estocolmo. Esta técnica empleada por el grupo antes mencionado, implica la reducción del volumen de muestra original, lo que permite concentrar los microorganismos presentes en esa muestra en un volumen menor, facilitando su posterior análisis y caracterización.

El estudio incluyó montajes experimentales con muestras de agua de la Vereda Chorrillos, Bogotá. Se emplearon semillas secas, realizando ensayos con ocho concentraciones de solvente diferentes. Se utilizaron diversas soluciones, incluyendo agua, etanol, y ácido acético al 10%, evaluando tanto la testa como cotiledón de la semilla. Se emplearon patrones como Sensitivas *(Mimosa),* Castaño *(Castanea sativa)* y Quebrachos *(Schinopsis),* y se compararon los resultados con sulfato de aluminio como control.

Los resultados indicaron que el extracto preparado con agua destilada logró una remoción de turbidez de alrededor del 76%, atribuido a la elevada polaridad del agua, que permite disolver otras sustancias debido a la diferencia de electronegatividad entre el oxígeno y el hidrógeno. Estos hallazgos sugieren que la semilla de *Annona muricata* podría ser una alternativa efectiva y sostenible como coagulante en el tratamiento de aguas con altas concentraciones de turbidez (Alvarado y Vanegas, 2021).

En el estudio llevado a cabo en Rionegro Antioquia por Benjumea *et al*., 2021, se evaluó la eficiencia de extractos naturales del maíz, la sábila y la naranja en el proceso de coagulación-floculación de aguas crudas con fines de potabilización. El objetivo principal fue investigar alternativas viables para mejorar la calidad del agua cruda, especialmente en comunidades marginales, utilizando extractos naturales disponibles y de bajo costo.

Los resultados revelaron una remoción de turbidez del 85% con los extractos de maíz *(Zea mays)* y sábila *(Aloe vera),* y del 69% con el extracto de naranja. Específicamente para los tratamientos con extracto de sábila las dosis más efectivas fueron de 10, 12 y 15 g/L, logrando reducciones significativas de turbidez hasta 47,4, 48,9 y 46 NTU respectivamente, partiendo de una turbidez inicial de 300 NTU.

Estos hallazgos resaltan los beneficios de utilizar extractos naturales en los procesos de tratamiento de aguas, incluyendo su fácil acceso, bajo costo y la producción mínima de lodos inocuos. Además, el uso de sábila como coagulante natural ofrece una alternativa prometedora para reducir el uso de coagulantes químicos, lo que contribuye a la disminución de impactos ambientales asociados a los lodos convencionales.

## Marco Teórico

### Importancia de la clarificación y potabilización del agua

La resolución 1096 de 2000 y el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) en Colombia establecen los procesos necesarios para la obtención de agua potable, que incluyen la captación del agua, eliminación de materiales sólidos, tratamientos preliminares, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, estabilización y distribución. Estos procesos son esenciales para eliminar contaminantes y microorganismos que puedan afectar la salud de quienes consumen el agua.

### Coagulación y floculación

La coagulación es una respuesta que sucede cuando se le adiciona un agente coagulante al agua, formando productos que no se pueden disolver nuevamente en el agua generados por la interacción del coagulante, el agua y las impurezas que hay en este medio.

La floculación hace énfasis especialmente a la parte operacional de aglomeración de partículas, formando un floc lo suficientemente grande y pesado como para precipitarse hacia el fondo (Orihuela e Ivonne, 2019).

Estos procedimientos pueden explicarse también de forma teórica. La coagulación es la desestabilización de los coloides presentes en el medio a partir de la pérdida de la fuerza que mantiene separadas a las partículas. La floculación se entiende entonces como el viaje de las partículas en el agua para unirse unas con otras y de esta manera lograr estabilizarse a través de enlaces en una red tridimensional, permeable y libre (Acosta, 2006).

**Mecanismos que generan la coagulación**

La coagulación se logra neutralizando la carga eléctrica de los coloides presentes en el agua mediante la aplicación de sales de aluminio o hierro, conocidos como coagulantes. Estos coagulantes, que contienen cationes trivalentes de aluminio o hierro, neutralizan las cargas eléctricas negativas que rodean a las partículas coloidales dispersas en el agua. Este proceso de neutralización de la carga eléctrica anula las fuerzas electrostáticas repulsivas entre las partículas coloidales, permitiendo su aglomeración y formación de flóculos.

La coagulación y la floculación tienen lugar en sucesivas etapas, donde una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permite el crecimiento de micro flóculos hasta formar mayores flóculos. La coagulación se completa cuando todas las cargas de las partículas han sido neutralizadas, lo que favorece la formación de flóculos más grandes (Acosta, 2006).

Los coagulantes actúan de distintas formas, existiendo 4 tipos de mecanismos. La compresión de la doble capa eléctrica, es un tipo de mecanismo que sucede cuando se añade una mayor concentración de electrolitos, generando una mayor neutralización de cargas y se obtiene una reducción de la doble capa facilitando la unión de las partículas.

La adsorción electroestática es otro tipo de mecanismo que actúa neutralizando la carga superficial del coloide. La adsorción y puente por su parte, es un tipo de mecanismo donde una molécula adsorbe un coloide a un sitio activo y otra partícula a otro sitio.

La coagulación por barrido consta de la adicción de cantidades altas de coagulante para lograr la caída de los óxidos de metal hidratado (Sela, 2018).

**Mecanismos de coagulación natural**

La coagulación por medios naturales, también conocida como biocoagulación, es un proceso de tratamiento en el cual se neutralizan las cargas de los coloides presentes en el agua mediante el uso de extractos de plantas. Estos extractos contienen compuestos bioactivos como polifenoles (taninos), gomas, mucílagos y proteínas, los cuales desempeñan un papel fundamental en la actividad coagulante. Su acción desestabiliza las partículas coloidales suspendidas, favoreciendo la formación de flóculos más grandes que se pueden remover fácilmente del agua.

El mecanismo de coagulación natural implica un incremento en la fuerza iónica del medio líquido, lo que a su vez inhibe la formación de la doble capa eléctrica alrededor de las partículas coloidales. Esto reduce las fuerzas de repulsión entre las partículas y facilita su aglomeración. Según Sotheeswaran, Nand, Matakite y Kanayathy (2011), este proceso es esencial para interrumpir las interacciones electrostáticas negativas que impiden la floculación.

Entre los compuestos naturales utilizados, los taninos destacan por su capacidad coagulante. Estos polifenoles, al disolverse en agua, experimentan un fenómeno conocido como deslocalización de electrones dentro de sus anillos aromáticos, lo que incrementa la densidad electrónica en los átomos de oxígeno. Este cambio químico genera grupos fenólicos activos, que alteran la composición química del medio, promoviendo la protenización y la desestabilización de los coloides (Yin, 2010).

Los taninos son abundantes y se encuentran distribuidos en diversas partes de las plantas, como hojas, frutos, raíces, semillas y cortezas. Estos compuestos tienen la capacidad de precipitar proteínas, gelatinas y compuestos alcaloides, además de poseer

propiedades desinfectantes y la habilidad de formar enlaces con iones metálicos y pigmentos (Qiauda & Ite, 2011). Gracias a estas características, los taninos no solo desempeñan un papel crucial en la coagulación del agua, sino que también contribuyen a mejorar la calidad del tratamiento mediante la eliminación de contaminantes específicos.

Las gomas y proteínas presentes en los extractos de plantas son compuestos químicos que desempeñan un papel clave en los mecanismos de coagulación. Estas sustancias, debido a su peso molecular y al tamaño de sus polímeros, intervienen directamente en el proceso de coagulación al ofrecer una amplia cantidad de sitios de adsorción en sus estructuras. Esta característica permite que interactúen de manera efectiva con las partículas coloidales presentes en el agua, promoviendo su aglomeración y posterior sedimentación.

De manera similar, los mucílagos, que son polisacáridos hidrofílicos presentes en muchas plantas, también tienen efectos desestabilizantes sobre los coloides. Al igual que las gomas, los mucílagos se hidratan al entrar en contacto con el agua, formando suspensiones coloidales de naturaleza pegajosa y con propiedades pseudoplásticas. Estas suspensiones facilitan la coagulación al generar una mayor interacción entre las partículas en el agua, permitiendo la formación de flóculos más grandes y compactos que pueden ser fácilmente removidos.

Según Choy et al. (2014), las propiedades de las gomas y mucílagos, como su capacidad para absorber grandes cantidades de agua y su comportamiento adhesivo, las convierten en componentes altamente efectivos para la desestabilización de partículas. Además, su estructura química compleja y su interacción con otros compuestos bioactivos refuerzan su papel como coagulantes naturales en el tratamiento del agua.

### Remoción de elementos

Durante el proceso de coagulación-floculación debido a los mecanismos físico-químicos involucrados en este proceso de tratamiento de aguas, se logra la remoción de limos, bacterias, algas y virus, material derivado de materia orgánica del suelo, sustancias minerales, contaminantes industriales, etc. Estas impurezas presentes en el agua a tratar tienen una clasificación que depende directamente del tipo y del diámetro.

Se consideran sólidos suspendidos cuyo diámetro sea > $10^{-3}$ ,$10^{-9}$ y $10^{-6}$, <$10^{-9}$ (Sela, 2018).

### Coagulantes naturales

Barreto et al., (2019) en su investigación sobre coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas, define coagulantes naturales como sustancias orgánicas extraídas de plantas u otros recursos naturales que se utilizan para clarificar el agua, reemplazando o complementando los coagulantes químicos convencionales como el sulfato de aluminio.

Los extractos de las plantas o semillas contienen polímeros orgánicos que tienen propiedades coagulantes o floculantes. Estos polímeros se destacan por su falta de toxicidad y su alta capacidad de biodegradación, por lo que son referidos frecuentemente como coagulantes naturales (Abebe et al., 2016).

### Coagulantes naturales como alternativa sostenible

Chuquicajas y Julca (2021), en su investigación, destacan que los coagulantes naturales se presentan como una alternativa sostenible y prometedora en el tratamiento de aguas superficiales. Esta afirmación se fundamenta en diversas ventajas que ofrecen estos coagulantes en comparación con los coagulantes sintéticos tradicionalmente utilizados en procesos de potabilización de agua. En primer lugar, se resalta la biodegradabilidad de los coagulantes naturales, lo que significa que tienen la capacidad de descomponerse de forma natural en el medio ambiente, evitando así la acumulación de residuos persistentes. Esta característica es fundamental para reducir el impacto ambiental de los procesos de tratamiento de agua.

Además, se menciona la baja toxicidad de los coagulantes naturales, lo que los convierte en una opción más segura para su uso en el tratamiento de agua destinada al consumo humano. Esta baja toxicidad no solo protege la salud de los consumidores, sino que también minimiza el riesgo de contaminación ambiental. Por otro lado, se destaca que los coagulantes naturales generan menos lodos contaminados químicamente en comparación con los coagulantes sintéticos. Esto es relevante, ya que la generación de lodos contaminados representa un desafío en la gestión de residuos de las plantas de tratamiento de agua.

En cuanto a la eficiencia en la remoción de turbiedad Mesa y Palacio (2021), evidenciaron que los coagulantes naturales, en este caso la *Moringa oleífera*, tiene un desempeño destacado, especialmente en aguas con niveles altos de turbiedad. Esta eficiencia se traduce en una mejora significativa en la calidad del agua tratada, pero debido al carbono orgánico resultante posterior al proceso, el agua será más vulnerable a contaminaciones microbiológicas. Asimismo, se sugiere la posibilidad de explorar nuevas

aplicaciones de los coagulantes naturales, así como su uso en asociación con coagulantes sintéticos, con el objetivo de mejorar aún más su eficiencia y adaptabilidad a diferentes condiciones de tratamiento.

### Eficiencia de coagulantes naturales

Los coagulantes naturales han emergido como una solución efectiva y eficiente en la remoción de turbidez del agua, destacándose por su desempeño superior en comparación con los coagulantes químicos tradicionales. Estudios como los de Guzmán et al (2013), han revelado que estos coagulantes naturales requieren dosis bajas, lo que los posiciona como alternativas prometedoras para la eliminación de algas y otras impurezas presentes en el agua. En particular, los coagulantes de taninos modificados han demostrado un rendimiento sobresaliente en la eliminación de turbidez y color, superando al sulfato de aluminio en eficacia. Asimismo, los coagulantes orgánicos naturales han sido identificados como una opción viable y eficaz en el tratamiento del agua, mostrando resultados positivos en la clarificación del agua y la remoción de impurezas.

Ejemplos como el de Gonzales (2019) en su tesis, donde respalda la efectividad de los coagulantes naturales, como el coagulante extraído de *Stenocereus griseus,* que ha demostrado ser altamente efectivo en la potabilización del agua, logrando porcentajes significativos de remoción de turbidez. Además, los coagulantes vegetales catiónicos han destacado por su excelente desempeño en la remoción de turbidez, con porcentajes de remoción que oscilan entre el 90% y el 96%, posicionándolos como una opción eficiente y sostenible para mejorar la calidad del agua.

**Semillas de guanábana *(Anona muricata)***

Esta es utilizada como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales. En la investigación realizada por Massa (2019), menciona que las semillas de guanábana son una alternativa viable y menos perjudicial para la salud en comparación con otros coagulantes químicos.

La semilla de guanábana se ha utilizado tradicionalmente en diversas culturas por sus propiedades medicinales y beneficios para la salud. En el contexto del tratamiento de aguas residuales, se ha explorado su potencial como coagulante en la remoción de impurezas y partículas en el agua. Al ser de origen natural, la semilla de guanábana puede ofrecer una opción sostenible y respetuosa con el medio ambiente para el tratamiento de aguas residuales, contribuyendo a la mejora de la calidad del agua destinada al consumo humano y al uso adecuado de las aguas residuales.

Las semillas de guanábana *(Annona muricata)* han demostrado tener un gran potencial como coagulante natural debido a su composición química, que incluye proteínas y carbohidratos con características catiónicas (Massa, 2019). Estas proteínas son particularmente efectivas para desestabilizar las partículas coloidales de carga negativa presentes en el agua. Este proceso ocurre porque las proteínas actúan como agentes puente, uniendo partículas coloidales entre sí y facilitando su aglutinación en estructuras más grandes conocidas como flóculos. El mecanismo de coagulación inicia cuando las proteínas liberadas de las semillas de guanábana interactúan con las partículas en suspensión. Las cargas opuestas generan una atracción electrostática, lo que desestabiliza las partículas coloidales al neutralizar sus cargas superficiales. A medida que estas partículas se agrupan

en flóculos, se vuelven lo suficientemente grandes y densas para ser eliminadas mediante sedimentación o filtración, mejorando así la calidad del agua tratada (Olaeta et al, 2007).

### Sábila *(Aloe vera)*

Es una planta suculenta que ha sido utilizada tradicionalmente por sus propiedades medicinales y curativas. En el contexto de ser empleado como coagulante natural, el *Aloe vera* se ha destacado por su capacidad para actuar como agente clarificador en el tratamiento del agua, especialmente en la reducción de la turbidez.

El uso del *Aloe vera* como coagulante natural se fundamenta en su rica y compleja composición química, que incluye una variedad de compuestos bioactivos como polisacáridos, aminoácidos, enzimas, saponinas y otros metabolitos secundarios (Atalaya Bio, s/f) . Estos componentes no solo le confieren propiedades medicinales ampliamente reconocidas, sino que también lo posicionan como un agente coagulante efectivo para el tratamiento del agua.

Los polisacáridos presentes en el *Aloe vera*, como los glucomananos y las pectinas, juegan un papel crucial en el proceso de coagulación. Su alta capacidad de adsorción les permite interactuar con las partículas coloidales en suspensión, desestabilizando su carga eléctrica y facilitando su aglomeración en flóculos más grandes. Esto reduce significativamente la turbidez del agua, mejorando su claridad y calidad (Pérez & Mario, 2019).

Además, los aminoácidos y enzimas presentes en el *Aloe vera* pueden influir en las propiedades químicas del agua tratada. Estos compuestos contribuyen a modificar las fuerzas intermoleculares en el sistema, reforzando la formación de enlaces entre las

partículas y los polímeros naturales del extracto. Las saponinas, por su parte, actúan como agentes tensioactivos, ayudando a romper la cohesión superficial de las partículas suspendidas y favoreciendo su agrupación. El uso del *Aloe vera* como coagulante natural ha sido objeto de investigaciones científicas que han demostrado su eficacia y beneficios en comparación con los coagulantes químicos tradicionales. Su origen natural, accesibilidad y bajo impacto ambiental lo convierten en una alternativa atractiva y sostenible para el tratamiento del agua en diversas aplicaciones (Aguilar y Cruz, 2022).

### Beneficios socioeconómicos y de salud

Según Ávila y Mendoza (2023), la implementación de sistemas de tratamiento de agua potable a bajo costo en comunidades rurales como Nueva Venecia y Buena Vista en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia, representa una oportunidad para mejorar significativamente la calidad de vida de los habitantes, al tiempo que genera beneficios socioeconómicos y de salud. Estas tecnologías eficientes y accesibles no solo contribuyen a aliviar la carga económica para las familias y el sistema de salud local, sino que también tienen un impacto directo en la salud de la población.

La percepción general de los habitantes de estos pueblos palafíticos es que el agua que consumen es de mala calidad y ha ocasionado problemas de salud, como diarrea, vómito, dolor de estómago y fiebre. La falta de acceso a agua potable segura ha sido asociada con enfermedades como infecciones respiratorias agudas y enfermedades diarreicas agudas en la región, subrayando la importancia crítica de mejorar la calidad del agua para proteger la salud de la población

En este contexto Zapata (2018), menciona que la potabilización del agua no solo previene enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada, sino que también puede resultar en ahorros significativos en gastos de atención médica y pérdida de productividad a largo plazo. Por lo tanto, la implementación de sistemas de tratamiento de agua efectivos en estas comunidades no solo tiene beneficios socioeconómicos al reducir costos asociados con enfermedades, sino que también mejora la salud y el bienestar de los habitantes al proporcionar acceso a agua segura y de calidad.

## Marco Legal

A continuación, en la tabla 1 se presenta de manera sintetizada la normatividad vigente que hace parte del presente proyecto.

**Tabla 1.** Margo legal

*Margo legal*

| **Ley, Norma, Decreto, Resolución** | **Artículos que aplican** | **Observaciones** |
|---|---|---|
| Constitución política de Colombia 1991 | Art 366 | Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. |
| Resolución 2115 de 2007 Por medio de la cual se señalan | Art 2, 3, 4 y 7 | -El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que señalan en el artículo. |

| | | |
|---|---|---|
| características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. | | -Máximos permisibles de la conductividad eléctrica del agua.<br>-Valores para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano.<br>-Características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana |
| Decreto 1575 de 2007<br>Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. | Art 3 | Características y criterios de la calidad del agua para consumo humano |
| Norma Técnica Colombiana 813 de 2012 | | Esta norma establece los requisitos físicos, químicos y microbiológicos que debe cumplir el agua potable |
| Ley 1955 de 2019<br>Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. “Pacto por | Art 279 | Los municipios y distritos deben asegurar la atención de las necesidades básicas de agua para consumo humano y doméstico y de saneamiento básico de los asentamientos |

| | | |
|---|---|---|
| Colombia, Pacto por la Equidad". | | humanos de áreas urbanas de difícil gestión, y en zonas rurales. |
| Resolución 0799 de 2021 | Art 109, 110, 112 y 113 | Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento (RAS). |

**Marco Conceptual**

Es necesario hacer hincapié en las grandes dificultades que se presentan en cuanto al abastecimiento de agua potable en zonas rurales. El acceso al recurso hídrico de una forma segura y constante en muchos de los casos, figura como una posibilidad casi nula para las personas que habitan en zonas rurales, donde no pueden disponer de este recurso con todas las condiciones adecuadas para que sea un servicio digno y conveniente.

El riesgo por enfermedades transmitidas por el agua sin tratar es una realidad que las personas deben sobrellevar por no contar con un sistema adecuado de tratamiento de aguas crudas, muchas veces sujeto a las condiciones geográficas, pero principalmente se deben al brete económico. Estos centros poblados en zonas rurales muchas veces son olvidados por las autoridades competentes y no gestionan aspectos en relación a un desarrollo económico y social que puedan contribuir a mejorar la calidad de vida de estas personas.

Los costos para darle un buen tratamiento al agua en estas zonas rurales suelen ser altos, teniendo en cuenta características como infraestructura, materias primas para el tratamiento y el seguimiento del proceso. Se genera incertidumbre porque no se asegura

vigilancia ni constancia para ofrecer estas condiciones adecuadas en el agua para una población rural determinada por temas de gastos.

En el caso de este estudio, se centra principalmente en la parte del tratamiento de aguas por coagulación, donde el elemento más usado para esta etapa del proceso es el sulfato de aluminio, sulfato ferroso y cloruro férrico, que se ofrecen como elementos altamente efectivos en las fases de coagulación y floculación, pero su obtención es difícil.

La coagulación es la parte del proceso de tratamiento de aguas que elimina o mejora aspectos como la turbiedad o el color, a partir de añadir un elemento con algún activo coagulante que permita la desestabilización de las partículas coloidales del agua que son las encargadas de darle color, generalmente cuando el agua no tiene ningún tipo de tratamiento. Este proceso se fundamenta en la pérdida de la fuerza de repelerse entre sí y se logra la unión de ellas para posteriormente caer al fondo del estanque por su propio peso y lograr una mejora aparente en las impurezas del agua. Este estudio se enfoca en buscar alternativas que sean viables y efectivas en distintas perspectivas que engloban lo económico, social y ambiental en cuanto a la implementación de coagulantes de tipo natural.

En todo el país se han desarrollado estudios que evalúan la eficiencia de los coagulantes naturales como una opción de reemplazo a los coagulantes químicos, con el propósito de analizar su viabilidad en aspectos de efectividad, teniendo en cuenta el componente económico y su facilidad de obtención. Estas investigaciones generalmente se basan en mejorar las condiciones del agua cruda para disponerse al consumo humano y asegurar que estas soluciones naturales engloben todos los aspectos de cumplimiento que se

busca para los parámetros finales de consumo. Dentro del abanico de opciones naturales que existen para el tratamiento del agua en la parte de coagulación esta la *Moringa Oleifera,* que es una de las más estudiadas en el campo de la comprensión de este tipo de alternativas naturales.

La presente investigación se centra en la evaluación de las semillas de guanábana *(Annona muricata)* y el gel de sábila *(Aloe vera)* como coagulantes naturales en el tratamiento de agua, utilizando como eje metodológico la prueba de jarras. Este procedimiento, ampliamente reconocido en el ámbito del tratamiento de agua, permite simular las condiciones de coagulación en un entorno controlado. Durante el proceso, se somete el agua a diferentes dosis de los coagulantes naturales y se analiza su efecto en la reducción de impurezas y partículas suspendidas.

La evaluación de los resultados implica un análisis detallado de varios parámetros físico-químicos que determinan la calidad del agua tratada. Se mide el pH, la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales (SDT) mediante un multiparámetro, mientras que la turbidez se cuantifica utilizando un turbidímetro. Además, se determina la alcalinidad a través de métodos de titulación, lo que permite obtener una visión integral del comportamiento del agua tratada bajo diferentes condiciones experimentales.

Particularmente, los sólidos disueltos totales (SDT) se calculan a partir de la conductividad eléctrica utilizando una fórmula establecida que relaciona ambos parámetros, lo que proporciona un indicador clave sobre la cantidad de sólidos presentes en el agua tras el tratamiento. La relación entre conductividad y SDT permite no solo analizar la eficacia

de los coagulantes en la reducción de impurezas, sino también evaluar posibles impactos en las características químicas del agua.

Además del monitoreo de estos parámetros, los datos obtenidos se someten a análisis estadísticos para garantizar la confiabilidad de los resultados. Estas herramientas permiten identificar patrones y diferencias significativas en la eficiencia de los coagulantes, considerando variables como la dosis aplicada y las condiciones iniciales del agua. Este enfoque analítico asegura que las conclusiones derivadas de la investigación estén fundamentadas en evidencia cuantitativa.

En este contexto, la investigación no solo busca determinar cuál de los coagulantes estudiados resulta más eficiente, sino también explorar su aplicabilidad práctica en comunidades rurales. La facilidad de obtención de las semillas de guanábana y del gel de sábila, junto con su bajo costo y sostenibilidad, los posiciona como alternativas prometedoras frente a los coagulantes químicos convencionales. Al ser recursos de origen natural, su uso minimiza la generación de residuos tóxicos y contribuye a la protección del medio ambiente.

## Diseño Metodológico

Para llevar a cabo la evaluación de la sábila y de las semillas de guanábana como coagulantes naturales, se tuvieron en cuenta 3 fases de acuerdo con los objetivos específicos planteados.

### Extracción de Propiedades Coagulantes de la Sábila y de las Semillas de Guanábana

Sábila *(Aloe vera)*

La sábila se adquirió de manera comercial en la plaza de abastos en Guadalajara de Buga, seleccionando pencas en buen estado, sin magulladuras, picaduras de insectos ni alteraciones en el color. Las pencas se lavaron minuciosamente con agua potable para eliminar impurezas visibles. Posteriormente, se retiró la cáscara externa utilizando un cuchillo limpio, obteniendo únicamente la pulpa (gel) de la sábila (75 g). Este proceso fue llevado a cabo en el laboratorio de la Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA).

Para preparar las concentraciones, se disolvieron cantidades específicas de sábila con 250 ml de agua destilada, obteniendo diferentes resultados en g/ml, a manera de facilitar su aplicación en las pruebas de jarra, esta concentración se convirtió a una unidad estándar en tratamientos de agua (ecuación 1).

**Ecuación 1.**

*Conversión de unidades*

$$\frac{g}{ml} * \frac{1000mg}{g} * \frac{1000ml}{L} = mg/L$$

El procedimiento específico para obtener cada concentración fue el siguiente (tabla 2):

**Tabla 2.**

*Concentraciones de la sábila como coagulante natural*

| **gramos de sábila** | **mililitros de agua destilada** | **Concentración obtenida en mg/L** |
|---|---|---|
| 3,4 | 250 | 13600 |
| 6,35 | 250 | 25400 |
| 8,8 | 250 | 35200 |
| 11,5 | 250 | 46000 |
| 17 | 250 | 68000 |
| 27 | 250 | 108000 |

*Nota.* La tabla 2 muestra las diferentes concentraciones del coagulante natural de sábila *(Aloe vera)* preparadas para los ensayos.

Luego de obtener cada concentración, las soluciones se filtraron con un colador de acero inoxidable para remover la espuma generada y posibles partículas residuales. El coagulante natural obtenido se envasó inmediatamente en recipientes de plástico previamente lavados y etiquetados. Estos fueron utilizados de manera inmediata para evitar la descomposición del producto, dado su carácter biodegradable.

Para determinar la cantidad en ml de solución que se debía agregar a cada jarra, se utilizó la fórmula de dilución (ecuación 2):

**Ecuación 2.**

*Fórmula de dilución*

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Dónde, C1 es la concentración inicial, V1 el volumen inicial, C2 la concentración final y V2 volumen final.

Dado que se necesitaba hallar el volumen inicial (V1) se despejó la fórmula de la siguiente manera (ecuación 3):

**Ecuación 3.**

*Fórmula de dilución despejada*

$$V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

Una vez despejada la fórmula se obtuvieron las siguientes cantidades (tabla 3):

**Tabla 3.**

*Cálculo de volúmenes a partir de soluciones a base de sábila*

| Jarra | C2 (mg/L) | C1 (mg/L) | V2 (ml) | V1 (ml) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 13600 | 2000 | 1,47 |
| 2 | 20 | 25400 | 2000 | 1,57 |
| 3 | 30 | 35200 | 2000 | 1,70 |
| 4 | 40 | 46000 | 2000 | 1,73 |
| 5 | 50 | 68000 | 2000 | 1,47 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 60 | 108000 | 2000 | 1,1 |

*Nota.* C1 son las concentraciones obtenidas en la tabla 2, C2 es la concentración final deseada para las pruebas y V2 el volumen de agua que puede contener cada jarra.

Semillas de guanábana *(Annona muricata)*

La obtención de las semillas de guanábana se llevó a cabo en Café Imperial, local ubicado en la ciudad de Guadalajara de Buga que se dedica a la venta de diferentes preparaciones a base de café y otras preparaciones donde es utilizada la guanábana. De esta manera se obtuvieron 1.000 gramos de semillas para realizar el proyecto, el cual tuvo lugar en el laboratorio de la Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA).

En este procedimiento el cual fue utilizado por Massa (2019), se realizó una selección de las semillas con el método visual, escogiendo las semillas enteras y que no tuvieran picaduras de insectos. Para facilitar la extracción de la cáscara, las semillas fueron secadas al sol durante 15 días. Una vez secas, se procedió a retirar la cáscara manualmente utilizando un alicate para evitar que la cáscara influyera en el rendimiento como coagulante.

Con el fin de reducir su tamaño, las almendras fueron trituradas mediante un procesador de alimentos. Posteriormente, se utilizó un tamiz de 1 mm para una primera reducción del tamaño de las partículas, y un segundo tamiz de 0,5 mm para una reducción adicional.

Luego de realizar el tamizaje, el producto fue secado en el horno de secado disponible en el laboratorio de la UCEVA. Para llevar a cabo este procedimiento, se preparó el horno ajustando la temperatura a 60°C, con el objetivo de acelerar el proceso y evitar el crecimiento de microorganismos. Las semillas de guanábana se distribuyeron en capas delgadas y uniformes sobre recipientes de metal para garantizar la eliminación uniforme de la humedad. Los recipientes se colocaron en el horno previamente calentado y se dejaron durante 4 horas, monitoreando el progreso del secado en ese lapso para evitar que las semillas se quemaran. Una vez completado el proceso y asegurándose de que las semillas estuvieran completamente secas, se retiraron los recipientes del horno y se dejaron enfriar a temperatura ambiente para su posterior uso y análisis.

Posterior a esto se procesaron de nuevo con el procesador de alimentos hasta obtener un polvo fino que fue utilizado como coagulante en las pruebas de jarras.

Siguiendo el procedimiento empleado con la sábila, se prepararon seis soluciones para cada jarra. Para garantizar condiciones homogéneas que permitieran una comparación precisa entre ambos coagulantes naturales, se utilizaron las mismas cantidades de semillas de guanábana que las empleadas para la sábila, disolviéndolas en 250 ml de agua destilada (tabla 4).

**Tabla 4.**

*Concentraciones de las semillas de guanábana como coagulante natural*

| **gramos de semillas de guanábana** | **mililitros de agua destilada** | **Concentración obtenida en mg/L** |
|---|---|---|
| 3,4 | 250 | 13600 |

| | | |
|---|---|---|
| 6,35 | 250 | 25400 |
| 8,8 | 250 | 35200 |
| 11,5 | 250 | 46000 |
| 17 | 250 | 68000 |
| 27 | 250 | 108000 |

*Nota.* La tabla 4 muestra las diferentes concentraciones del coagulante natural de semillas de guanábana (*Annona muricata)* preparadas para los ensayos.

Tal y como se determinó la cantidad en mililitros de solución que debía agregarse a cada jarra para los ensayos realizados con sábila *(Aloe vera)*, aplicando la fórmula de dilución descrita previamente, este mismo procedimiento fue utilizado para las soluciones de guanábana *(Annona muricata)*. Los valores correspondientes se encuentran detallados en la tabla 3.

**Determinación de Dosis Óptimas de Coagulantes Naturales**

***Preparación De Agua Turbia***

Para temas de practicidad se realizó una simulación de agua cruda superficial en laboratorio, siguiendo el procedimiento de Arco y Caicedo, (2016). Para la simulación de diferentes niveles de turbiedad se utilizó como componente el caolín, el cual es un mineral de silicato de aluminio que proviene principalmente de la descomposición de la roca feldespato (Olvera y Hernández, s.f.). El caolín fue hidratado previamente y luego fue disuelto en 12 L de agua (obtenida en el río Tuluá) para realizar los test de jarras

considerando que cada jarra tiene capacidad de 2 L. Se simularon 4 turbiedades diferentes para analizar el comportamiento de los coagulantes en diferentes condiciones.

Los valores de turbiedad simulados fueron los siguientes: 30 NTU, 150 NTU, 300 NTU, y 500 NTU.

Estos valores de turbiedad fueron seleccionados teniendo en cuenta las condiciones típicas del agua cruda superficial encontrada en zonas rurales, donde comúnmente se encuentran niveles variados de turbiedad debido a escorrentía agrícola, erosión del suelo, sedimentación natural, presencia de materia orgánica en descomposición, entre otros factores (Montoya et al, 2011).

### *Dosis Óptimas*

Luego de haber obtenido el agua turbia, estas muestras fueron sometidas a medición de parámetros fisicoquímicos con el fin de conocer las condiciones iniciales del agua antes de agregar los coagulantes naturales, y posteriormente se analizaron los cambios en estos parámetros tras el proceso de coagulación. Cada parámetro fue evaluado siguiendo los procedimientos documentados en la tabla 5.

**Tabla 5.**

*Procedimiento de mediciones de parámetros fisicoquímicos*

| Parámetro | Equipo | Unidad | Método | Procedimiento |
|---|---|---|---|---|
| **pH** | Potenciómetro multiparamétrico | Unidad de pH | Electrométrico SM. 4500 | Se utiliza una solución de calibración de pH |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Fisher scientific accumet XL600 | | | estándar para calibrar el electrodo de pH, luego se agrega la muestra de agua a un Beaker para realizar las lecturas cuando este se encuentre estable. |
| **Turbiedad** | Nefelómetro Hanna instruments HI 93703 | NTU | Nefelometría SM. 2130 | Se llena la celda con la muestra de agua hasta la línea de referencia. Consiguiente a ello se limpia la celda para eliminar huellas dactilares o cualquier suciedad que pudiera influir en la veracidad de los datos. Se sitúa la celda en la porta celda del instrumento, para obtener las lecturas. |
| **Conductividad eléctrica** | Potenciómetro multiparamétrico Fisher scientific accumet XL600 | µS/cm | SM. 2510 | Se debe lavar la celda del electrodo con agua destilada, luego se agita suavemente. Finalmente se agrega la muestra de agua a un Beaker para realizar la toma de las lecturas. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Alcalinidad** | Titulación con ácido sulfúrico 0,02N | mg/L | Titulación básica | Se agrega una muestra de 100 ml de agua en un Erlenmeyer al cual se añaden 3 gotas de indicador mixto. Luego se titula la muestra con ácido sulfúrico 0,02 N desde una bureta hasta que el color pase de verde a salmón, se registra el volumen de ácido utilizado para determinar la alcalinidad en miliequivalentes por litro (meq/L) de carbonato de calcio. |

*Nota.* Severiche Sierra et al. (2013)

A fin de determinar los sólidos disueltos, se utilizó una fórmula basada en la relación existente entre los sólidos disueltos y la conductividad eléctrica (ecuación 4).

**Ecuación 4.**

*Conversión de la conductividad eléctrica (CE) a SDT*

$$SDT\ \left(\frac{mg}{L}\right) = K * CE\ (\frac{\mu S}{cm})$$

En esta ecuación, k es un factor de proporcionalidad que representa la relación entre los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica. Este factor puede variar

dependiendo de las características químicas del agua y las condiciones específicas del análisis. Sin embargo, en muchos casos, como en el modelo de calculadora utilizado por Snowate, se emplea un valor estándar de k = 0,64. Este valor permite obtener estimaciones razonablemente precisas de los SDT a partir de la CE, aunque es importante recalcar que la exactitud del resultado dependerá de las propiedades particulares de la muestra de agua analizada (Jiménez Jumbo et al., 2024).

Para garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados, cada ensayo se realizó por triplicado. En cada prueba de jarra se tomaron tres muestras para cada parámetro evaluado, lo que permitió obtener datos más precisos y reducir posibles errores experimentales.

En el análisis estadístico, se utilizó el promedio de los tres valores obtenidos por cada parámetro. Este enfoque permitió una interpretación robusta de los resultados y facilitó la identificación de tendencias claras en la efectividad de los coagulantes naturales en función de las dosis aplicadas.

En el procedimiento para realizar las pruebas de jarras, se llenaron cada una de las 6 jarras con 2 litros de agua previamente preparada con caolín y agua del río Tuluá; se ajustó la velocidad del equipo a 120 RPM, y simultáneamente se agregaron las dosis del coagulante natural a utilizar. Después de dejar actuar 1 minuto en mezcla rápida, se disminuyó la velocidad del rotor a 30 RPM para permitir la floculación de la muestra durante 20 minutos, seguido de un tiempo de sedimentación de 15 minutos.

Se realizaron pruebas con diferentes concentraciones de los coagulantes naturales para identificar la dosis más efectiva. Finalmente, se midieron nuevamente los parámetros de pH, turbiedad, conductividad eléctrica, sólidos disueltos y alcalinidad para evaluar el cambio en estos parámetros después de utilizar los coagulantes naturales. Se llevaron a cabo 3 repeticiones.

Los parámetros finales fueron comparados con los valores obtenidos tras realizar mediciones de parámetros fisicoquímicos en la vereda Guadualejo ubicada en la zona rural del municipio de Guadalajara de Buga, la cual no cuenta con un proceso completo de potabilización. Se eligió esta zona rural para garantizar coherencia al compararlos con los valores evaluados en el marco de esta tesis. Dichos parámetros fueron medidos directamente por los autores, utilizando el laboratorio proporcionado por Aguas de Buga S.A., lo que permitió asegurar la fiabilidad y pertinencia de los datos obtenidos (Apéndice A).

## Análisis del Comportamiento de los Parámetros Fisicoquímicos a Partir de los Extractos de *Aloe Vera* y *Annona Muricata* mediante análisis estadísticos

El análisis para establecer las mejores condiciones de coagulación por cada especie estudiada incluyó la identificación de las concentraciones óptimas de coagulantes, y los datos obtenidos se analizaron mediante herramientas estadísticas.

### *Análisis de pH, Conductividad Eléctrica, Alcalinidad, Sólidos Disueltos y Turbiedad*

Para este apartado, se tuvieron en cuenta los datos de las mediciones de los parámetros antes y después de la adición de coagulantes. Posterior a esto, se realizó un análisis a través del método de correlación de Pearson en la herramienta Excel. Este método indicó la relación entre dos variables estudiadas, donde la variable Y fueron las dosis usadas para cada coagulante natural, y la variable X fue el parámetro del agua medido después del coagulante. El gráfico de Excel arrojó el coeficiente de correlación de Pearson (R).

La interpretación de los resultados obtenidos a través del método de correlación de Pearson en este estudio fue la siguiente: si el coeficiente de correlación era positivo, indicaba una relación directa sea ascendente o descendente entre la aplicación de las dosis del coagulante y la optimización de los parámetros fisicoquímicos del agua, lo que respaldaba su efectividad en el proceso de coagulación para la potabilización. Por otro lado, un coeficiente negativo indicaba una ausencia de optimización con las dosis aplicadas o incluso un empeoramiento de los parámetros, lo que podría cuestionar la eficacia de los coagulantes naturales. Si la correlación resultaba igual a cero, significaba que no se podía determinar una relación de covariación entre la aplicación de las dosis de los coagulantes naturales y los cambios en los parámetros fisicoquímicos del agua; en otras palabras, no había una asociación entre la presencia o ausencia de los coagulantes y la variación en los parámetros medidos (Ortega, 2023).

***Prueba Estadística con MATLAB***

Se realizó un análisis estadístico mediante un análisis de varianza de dos factores con interacción (ANOVA) utilizando el paquete estadístico MATLAB. Este análisis permitió evaluar el efecto combinado del tipo de coagulante natural (sábila y semillas de guanábana) y las diferentes dosis aplicadas sobre la turbiedad del agua.

El ANOVA de dos factores permitió identificar si existen diferencias significativas en la turbiedad según el tipo de coagulante utilizado, evaluar el impacto de las distintas dosis de los coagulantes en la turbiedad y analizar la interacción entre el tipo de coagulante y la dosis. Esto último permitió determinar si el efecto de un coagulante sobre la turbiedad varía dependiendo de la concentración aplicada.

Primero se definieron las hipótesis, las cuales fueron las siguientes (tabla 6):

**Tabla 6.**

*Hipótesis para análisis de varianza de dos factores con interacción (ANOVA)*

| | **Hipótesis nula H0** | **Hipótesis alternativa H1** |
|---|---|---|
| Hipótesis del efecto principal del coagulante | No hay diferencias significativas en el porcentaje de remoción de turbiedad entre los coagulantes naturales utilizados. | Existe al menos una diferencia significativa en el porcentaje de remoción de turbiedad entre los coagulantes naturales utilizados. |
| Hipótesis del efecto principal de la dosis | No hay diferencias significativas en el porcentaje de remoción de | Existe al menos una diferencia significativa en el porcentaje de remoción de turbiedad entre las dosis utilizadas. |

| | | |
|---|---|---|
| | turbiedad entre las dosis utilizadas. | |
| Hipótesis de la interacción | No existe interacción entre el tipo de coagulante y las dosis utilizadas. | Existe interacción entre el tipo de coagulante y las dosis utilizadas, lo que afecta significativamente la turbiedad. |

Tras definir las hipótesis y recoger los datos experimentales, se estructuró una tabla que incluyó las combinaciones de los dos factores: tipo de coagulante y dosis. Luego, se realizó el análisis de varianza en MATLAB, que generó un cuadro con los valores de la suma de cuadrados entre tratamientos, la suma de cuadrados medios, los grados de libertad y la estadística de prueba F (distribución F de Fisher). Este análisis permitió identificar el impacto individual y combinado de los factores evaluados.

Simultáneamente, se obtuvo el valor de P (probabilidad estadística), lo que facilitó la interpretación de los resultados y la aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas, teniendo como base que si P es menor que alfa ($\alpha$ 0,05), entonces se rechaza la hipótesis nula (Boqué, R. y Maroto A., s.f.).

En este estudio, se realizó un análisis post-hoc utilizando la prueba de Tukey para identificar cuál de los dos coagulantes naturales evaluados (sábila y semillas de guanábana) tiene mayor eficiencia en la remoción de turbiedad. Este análisis se llevó a cabo tras obtener un resultado significativo en el análisis de varianza (ANOVA) de dos factores.

La prueba de Tukey, ejecutada en MATLAB, es un método estadístico que permite realizar comparaciones múltiples entre las medias de los tratamientos evaluados. Al configurarse correctamente, el programa arrojó un gráfico de comparaciones múltiples donde su interpretación significa que, todos los tratamientos alineados sobre un mismo vertical son estadísticamente iguales, es decir que entre el tratamiento 1 y el tratamiento 2, no hay diferencias significativas. Si por el contrario los tratamientos no se encuentran alineados sobre el mismo vertical, entonces hay una diferencia significativa esto quiere decir que sólo uno de los dos coagulantes naturales es más eficaz en términos de remoción de turbiedad.

## Resultados y Discusión

### Procesamiento de *Aloe Vera* y *Annona Muricata* para su Utilización como Coagulantes Naturales en la Potabilización

Sábila *(Aloe vera)*

Durante la preparación del coagulante extraído de la sábila *(Aloe vera)*, se observó que el manejo cuidadoso de las pencas fue fundamental para asegurar que la pulpa (gel) mantuviera su textura y propiedades coagulantes. También se observó que el gel extraído se caracterizó por su consistencia viscosa, lo que es típico en la sábila debido a su alta concentración de polisacáridos, los cuales facilitan la formación de flóculos durante el proceso de coagulación. Este comportamiento fue particularmente evidente en el proceso del licuado, y por ende la remoción de espuma fue necesaria para garantizar un extracto homogéneo (Figura 1).

**Figura 1.**

*Procedimiento de extracción de pulpa (gel)*

Otro aspecto relevante fue la necesidad de un envasado inmediato para evitar la rápida descomposición del producto, pues al tratarse de un material biodegradable es de vital importancia mantenerlo en condiciones controladas antes de su uso en las pruebas.

Se utilizaron seis concentraciones que van desde 13600 mg/L hasta 108000 mg/L, ajustando la cantidad de sábila en gramos y el volumen de agua destilada para cada preparación. Estas variaciones permitieron evaluar el rendimiento del coagulante en diferentes dosis y determinar cuál es la más efectiva en términos de remoción de turbidez y estabilidad de los parámetros fisicoquímicos del agua tratada.

Semillas de guanábana *(Annona muricata)*

Durante el procesamiento de las semillas de guanábana *(Annona muricata)*, se evidenció la importancia del secado prolongado al sol, ya que esto permitió una mejor manipulación de las semillas para su posterior procesamiento. El secado no solo facilitó la remoción manual de la cáscara, sino que también ayudó a reducir la humedad residual en las almendras, esto fue importante para obtener un polvo más fino y homogéneo (figura 2 y 3).

**Figura 2.**

*Proceso de selección y preparación de las semillas de guanábana (Annona muricata).*

**Figura 3.**

*Proceso de molienda y tamizado de las almendras de guanábana.*

Durante el proceso de secado en horno de las semillas de guanábana, se evidenció un cambio de color de las almendras, que pasaron de un tono claro a un marrón oscuro. Este cambio fue notorio a medida que avanzaba el secado, sin embargo, a pesar de la alteración en el color, no se observó un aumento significativo en la turbidez del agua

tratada con el coagulante derivado de estas semillas, lo que indica que el proceso de secado no afectó la efectividad del coagulante en términos de remoción de partículas suspendidas.

Una vez que las semillas de guanábana fueron sacadas del horno, se procesaron nuevamente para asegurar una reducción aún mayor en el tamaño de las partículas, en este caso, el material triturado se pasó por un tamiz de 0,250 mm, lo que permitió obtener un polvo mucho más fino y uniforme (Figura 4).

***Figura 4.***

*Proceso de secado de las semillas de guanábana en horno y reducción en tamiz*

**Dosis Óptimas de Coagulantes Naturales Identificadas**

***Preparación De Agua Turbia***

Inicialmente, se había previsto utilizar caolín para la preparación del agua turbia necesaria para las pruebas de laboratorio. Sin embargo, durante la ejecución de las pruebas,

se observó que el caolín interfería significativamente con la medición de parámetros como el pH, la conductividad eléctrica y la alcalinidad, debido a que estos valores aumentaban considerablemente. Por esta razón, se decidió utilizar agua del río Tuluá sin caolín.

Aunque no se pudo obtener las mismas turbiedades que se plantearon al inicio, se logró obtener muestras con diferentes grados de turbiedad para cada prueba, ya que durante los días en que se llevaron a cabo las pruebas, se presentaron precipitaciones en el municipio de Tuluá (Figura 5).

**Figura 5.**

*Muestras de agua tomadas del río Tuluá.*

***Dosis Óptimas***

Una vez tomadas las muestras de agua cruda proveniente del Río Tuluá, estas fueron sometidas a medición de parámetros fisicoquímicos para conocer las características iniciales del agua cruda con el objetivo de establecer una línea base de las condiciones del agua antes de someterla al tratamiento. Las tablas 7, 8, 9 y 10 muestra las características

iniciales del agua cruda para los ensayos con la sábila y las semillas de guanábana. Se llevaron a cabo 3 repeticiones por cada jarra.

**Tabla 7.**

*Características iniciales de agua cruda para prueba N° 1*

| Prueba N° 1 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Características iniciales | Unidad | Muestra 1 | | | Muestra 2 | | | Muestra 3 | |
| pH | pH | 5,85 | 5,31 | 6,33 | 6,01 | 4,8 | 5,47 | 5,14 | 4,87 | 5,29 |
| Turbiedad | NTU | 49,12 | 46,72 | 54 | 47,15 | 47,82 | 45,77 | 47,17 | 46,96 | 50 |
| Conductividad eléctrica | Micros/cm | 109,9 | 106,7 | 104,8 | 104,9 | 103,9 | 104,6 | 105 | 105,1 | 105,2 |
| Alcalinidad | mg/L | 90 | 80 | 110 | 80 | 100 | 84 | 96 | 82 | 80 |
| Sólidos disueltos | mg/L | 70,34 | 68,28 | 67,07 | 67,13 | 66,49 | 66,94 | 67,2 | 67,26 | 67,32 |

**Tabla 8.**

*Características iniciales de agua cruda para prueba N° 2*

| Prueba N°2 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Características iniciales | Unidades | Muestra 1 | | | Muestra 2 | | | Muestra 3 | |
| pH | pH | 5,92 | 5,32 | 6,77 | 5,6 | 5,74 | 6,21 | 6,9 | 6,7 | 6,59 |
| Turbiedad | NTU | 21,92 | 22,7 | 26,65 | 23,21 | 22,83 | 22,59 | 21,48 | 22,4 | 20,84 |
| Conductividad eléctrica | Micros/cm | 114,6 | 114 | 114,1 | 114,5 | 113,8 | 114 | 115,1 | 115 | 114,1 |
| Alcalinidad | mg/L | 106 | 94 | 96 | 94 | 96 | 78 | 92 | 92 | 78 |
| Sólidos disueltos | mg/L | 73,34 | 72,96 | 73,02 | 73,28 | 72,83 | 72,96 | 73,66 | 73,6 | 73,02 |

**Tabla 9.**

*Características iniciales de agua cruda para prueba N° 3*

| Prueba N°3 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Características iniciales | Unidades | Muestra 1 | | | Muestra 2 | | | Muestra 3 | | |
| pH | pH | 5,35 | 6,81 | 5,96 | 6,86 | 6,75 | 7,01 | 7,07 | 6,43 | 6,82 |
| Turbiedad | NTU | 67 | 64 | 67 | 63 | 78 | 64 | 95 | 86 | 73 |
| Conductividad eléctrica | Micros/cm | 142,8 | 138,9 | 140,5 | 118 | 117,2 | 131,7 | 117,4 | 116,9 | 118,7 |
| Alcalinidad | mg/L | 84 | 96 | 88 | 92 | 70 | 90 | 82 | 78 | 80 |
| Sólidos disueltos | mg/L | 91,39 | 88,89 | 89,92 | 75,52 | 75,00 | 84,28 | 75,13 | 74,81 | 75,96 |

**Tabla 10.**

*Características iniciales de agua cruda para prueba N° 4*

| Prueba N°4 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Características iniciales | Unidades | Muestra 1 | | | Muestra 2 | | | Muestra 3 | | |
| pH | pH | 5,08 | 5,61 | 6,87 | 5,05 | 7,01 | 6,83 | 6,01 | 6,90 | 7,07 |
| Turbiedad | NTU | 60,1 | 62 | 62,04 | 59,06 | 60 | 57 | 61 | 63 | 59,04 |
| Conductividad eléctrica | Micros/cm | 130,5 | 125,3 | 129,2 | 110 | 118,1 | 115,6 | 120,2 | 125,8 | 127,3 |
| Alcalinidad | mg/L | 96 | 87 | 92 | 92 | 83 | 87 | 88 | 92 | 84 |
| Sólidos disueltos | mg/L | 83,52 | 80,19 | 82,68 | 70,4 | 75,58 | 73,98 | 76,92 | 80,51 | 81,47 |

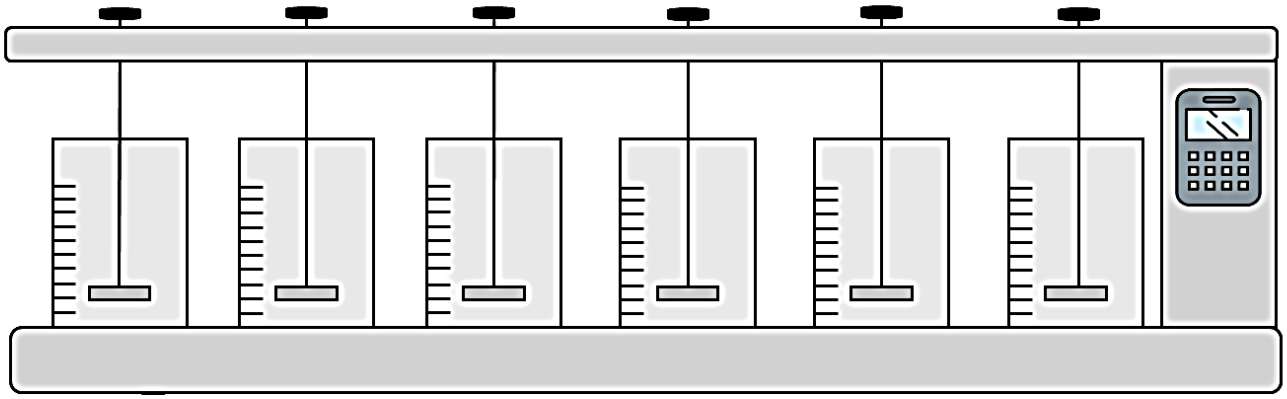
### *Síntesis de Datos de Dosis de Coagulantes y Parámetros Finales*

La recopilación de datos que se presenta a continuación tiene como objetivo determinar y analizar la eficacia de los coagulantes naturales de sábila *(Aloe vera)* y semillas de guanábana *(Annona muricata)* en la disminución de los parámetros fisicoquímicos del agua. En las tablas, se recogen los resultados de las pruebas realizadas diferentes dosis de coagulantes, donde se evaluaron variables como turbiedad, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad y sólidos disueltos. Las tablas 15, 16, 17 y 18 (Apéndice C), presentan los resultados (sin promediar) de los ensayos realizados en la sábila *(Aloe vera)* como coagulante natural anexas a ellas también se presentan las figuras 6, 7, 8, 9, y 10, las cuales muestran el proceso del antes y después de cada prueba de jarra. Las tablas 19, 20, 21 y 22 (Apéndice C) muestran los resultados de las semillas de guanábana *(Annona Muricata)* y con ellas las figuras 11, 12, 13, 14 y 15.

**Figura 6.**

*Antes y después prueba N° 1 (Aloe vera)*

**PRUEBA DE JARRAS N° 1**
**COAGULANTE: SABILA (*ALOE VERA*)**



**N° JARRA: 1**
**DOSIS (mg/L):** 13600
**PH:**
ANTES:5,5
DESPUES:7,0
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:105,6
DESPUES:129,8
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:89,1
DESPUES:129,8
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:48,3
DESPUES:48,0
**SDT (µS/cm):**
ANTES:67,6
DESPUES:83,1

**N° JARRA: 2**
**DOSIS (mg/L):** 25400
**PH:**
ANTES:5,5
DESPUES:7,6
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:105,6
DESPUES:105,6
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:89,1
DESPUES:105,6
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:48,3
DESPUES:45,3
**SDT (µS/cm):**
ANTES:67,6
DESPUES:67,6

**N° JARRA: 3**
**DOSIS(mg/L):** 35200
**PH:**
ANTES:5,5
DESPUES:7,5
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:105,6
DESPUES:104,0
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:89,1
DESPUES:104,0
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:48,3
DESPUES:45,2
**SDT (µS/cm):**
ANTES:67,6
DESPUES:66,6

**N° JARRA: 4**
**DOSIS(mg/L):** 46000
**PH:**
ANTES:5,5
DESPUES:7,7
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:105,6
DESPUES:107,0
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:89,1
DESPUES:107,0
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:48,3
DESPUES:46,3
**SDT (µS/cm):**
ANTES:67,6
DESPUES:68,5

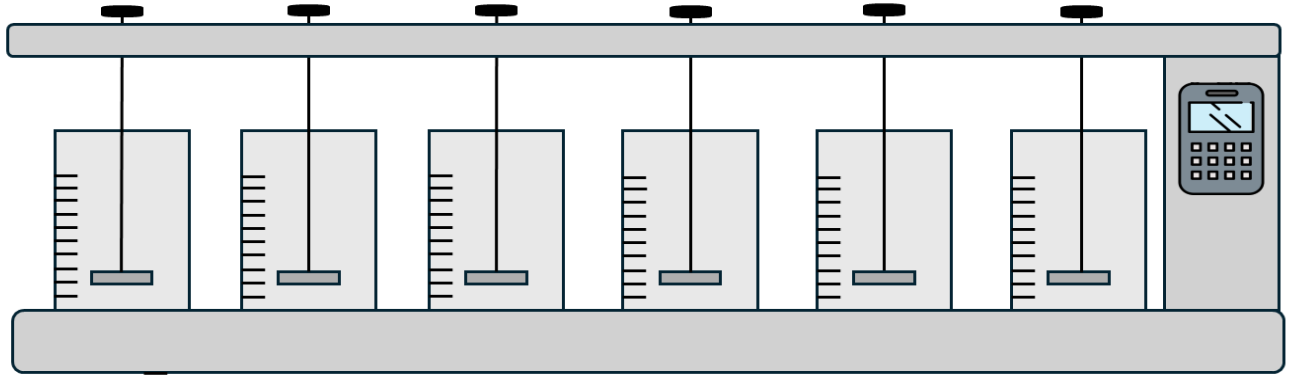
**N° JARRA: 5**
**DOSIS (mg/L):** 68000
**PH:**
ANTES:5,5
DESPUES:7,6
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:105,6
DESPUES:74,3
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:89,1
DESPUES:74,3
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:48,3
DESPUES:43,8
**SDT (µS/cm):**
ANTES:67,6
DESPUES:47,6

**N° JARRA: *6***
**DOSIS (mg/L):** 10800
**PH:**
ANTES:5,5
DESPUES:7,6
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:105,6
DESPUES:105,0
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:89,1
DESPUES:105,0
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:48,3
DESPUES:46
**SDT (µS/cm):**
ANTES:67,6
DESPUES:67,2

**Figura 7.**

*Antes y después prueba N° 2 (Aloe vera)*

**PRUEBA DE JARRAS N° 2**
**COAGULANTE: SABILA (*ALOE VERA*)**

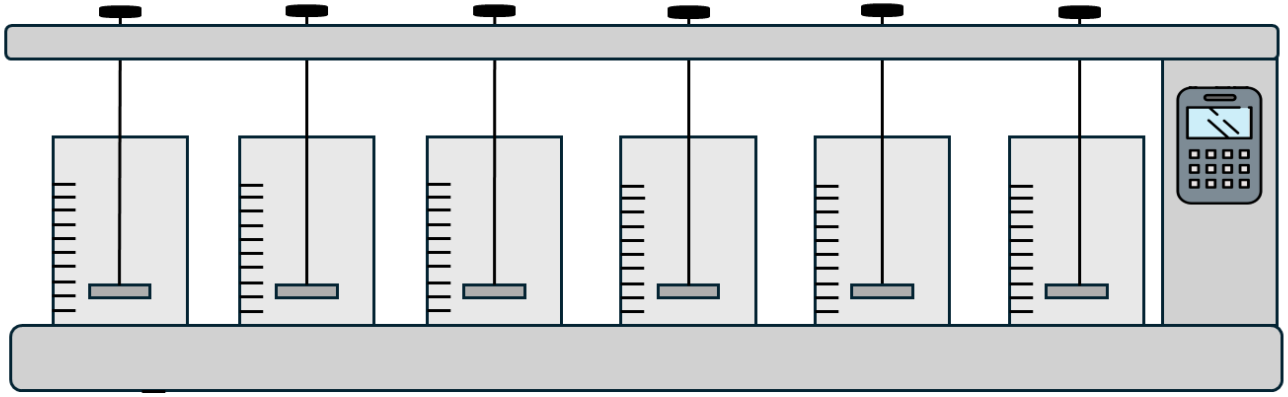


| N° JARRA: 1 | N° JARRA: 2 | N° JARRA: 3 | N° JARRA: 4 | N° JARRA: 5 | N° JARRA: 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| **DOSIS (mg/L):** 13600 | **DOSIS (mg/L):** 25400 | **DOSIS (mg/L):** 35200 | **DOSIS (mg/L):** 46000 | **DOSIS (mg/L):**68000 | **DOSIS (mg/L):** 108000 |
| **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** |
| ANTES:6,2 | ANTES:6,2 | ANTES:6,2 | ANTES:6,2 | ANTES:6,2 | ANTES:6,2 |
| DESPUES:6,7 | DESPUES:6,5 | DESPUES:6,7 | DESPUES:6,8 | DESPUES:6,9 | DESPUES:7,5 |
| **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** |
| ANTES:114,4 | ANTES:114,4 | ANTES:114,4 | ANTES:114,4 | ANTES:114,4 | ANTES:114,4 |
| DESPUES:113,6 | DESPUES:113,1 | DESPUES:113,3 | DESPUES:114,0 | DESPUES:113,3 | DESPUES:113,0 |
| **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** |
| ANTES:91,8 | ANTES:91,8 | ANTES:91,8 | ANTES:91,8 | ANTES:91,8 | ANTES:91,8 |
| DESPUES:83,3 | DESPUES:85,3 | DESPUES:86,7 | DESPUES:81,3 | DESPUES:86,0 | DESPUES:82,7 |
| **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** |
| ANTES:22,7 | ANTES:22,7 | ANTES:22,7 | ANTES:22,7 | ANTES:22,7 | ANTES:22,7 |
| DESPUES:20,8 | DESPUES:22,9 | DESPUES:20,8 | DESPUES:21,0 | DESPUES:23,0 | DESPUES:22,7 |
| **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** |
| ANTES:73,2 | ANTES:73,2 | ANTES:73,2 | ANTES:73,2 | ANTES:73,2 | ANTES:73,2 |
| DESPUES:72,7 | DESPUES:72,4 | DESPUES:72,5 | DESPUES:73,0 | DESPUES:72,5 | DESPUES:72,3 |

**Figura 8.**

*Antes y después prueba N° 3 (Aloe vera)*

**PRUEBA DE JARRAS N° 3**
**COAGULANTE: SABILA (*ALOE VERA*)**

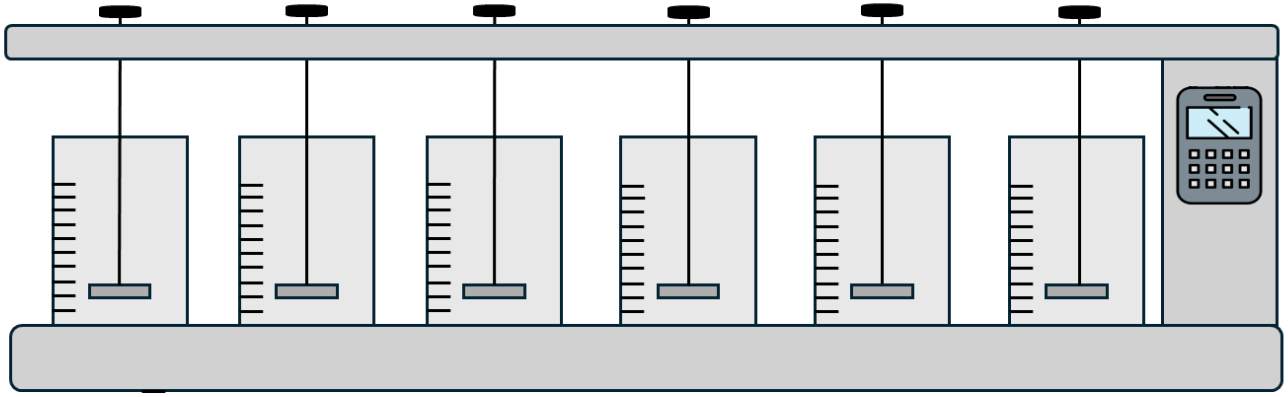


| N° JARRA: 1 | N° JARRA: 2 | N° JARRA: 3 | N° JARRA: 4 | N° JARRA: 5 | N° JARRA: 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| **DOSIS (mg/L):** 13600 | **DOSIS (mg/L):** 25400 | **DOSIS (mg/L):** 35200 | **DOSIS (mg/L):** 46000 | **DOSIS (mg/L):** 68000 | **DOSIS(mg/L):** 108000 |
| **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** |
| ANTES:6,6 | ANTES:6,6 | ANTES:6,6 | ANTES:6,6 | ANTES:6,6 | ANTES:6,6 |
| DESPUES:6,7 | DESPUES:7,2 | DESPUES:6,1 | DESPUES:6,4 | DESPUES:7,0 | DESPUES:7,0 |
| **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** |
| ANTES:126,9 | ANTES:126,9 | ANTES:126,9 | ANTES:126,9 | ANTES:126,9 | ANTES:126,9 |
| DESPUES:122,4 | DESPUES:120,9 | DESPUES:118,0 | DESPUES:131,3 | DESPUES:131,7 | DESPUES:122,7 |
| **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** |
| ANTES:84,4 | ANTES:84,4 | ANTES:84,4 | ANTES:84,4 | ANTES:84,4 | ANTES:84,4 |
| DESPUES:88,7 | DESPUES:86,7 | DESPUES:92,7 | DESPUES:82,0 | DESPUES:77,3 | DESPUES:84,7 |
| **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** |
| ANTES:73,0 | ANTES:73,0 | ANTES:73,0 | ANTES:73,0 | ANTES:73,0 | ANTES:73,0 |
| DESPUES:49,5 | DESPUES:48,8 | DESPUES:44,3 | DESPUES:40,1 | DESPUES:41,1 | DESPUES:41,6 |
| **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** |
| ANTES:81,2 | ANTES:81,2 | ANTES:81,2 | ANTES:81,2 | ANTES:81,2 | ANTES:81,2 |
| DESPUES:78,3 | DESPUES:77,4 | DESPUES:75,5 | DESPUES:84,1 | DESPUES:84,3 | DESPUES:78,5 |

**Figura 9.**

*Antes y después prueba N° 4 (Aloe vera)*

**PRUEBA DE JARRAS N° 4**
**COAGULANTE: SABILA (*ALOE VERA*)**



**N° JARRA: 1**
**DOSIS (mg/L):** 13600
**PH:**
ANTES:6,3
DESPUES:7,2
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:122,4
DESPUES:109,5
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:89,0
DESPUES:81,0
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:60,4
DESPUES:60,1
**SDT (µS/cm):**
ANTES:78,4
DESPUES:70,1

**N° JARRA: 2**
**DOSIS (mg/L):** 25400
**PH:**
ANTES:6,3
DESPUES:7,2
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:122,4
DESPUES:106,6
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:89,0
DESPUES:83,3
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:60,4
DESPUES:63,5
**SDT (µS/cm):**
ANTES:78,4
DESPUES:68,2

**N° JARRA: 3**
**DOSIS (mg/L):** 35200
**PH:**
ANTES:6,3
DESPUES:7,1
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:122,4
DESPUES:103,0
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:89,0
DESPUES:84,3
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:60,4
DESPUES:59,2
**SDT (µS/cm):**
ANTES:78,4
DESPUES:65,9

**N° JARRA: 4**
**DOSIS (mg/L):** 46000
**PH:**
ANTES:6,3
DESPUES:7,6
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:122,4
DESPUES:106,0
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:89,0
DESPUES:84,3
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:60,4
DESPUES:60,8
**SDT (µS/cm):**
ANTES:78,4
DESPUES:67,8

**N° JARRA: 5**
**DOSIS (mg/L):** 68000
**PH:**
ANTES:6,3
DESPUES:7,6
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:122,4
DESPUES:107,7
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:89,0
DESPUES:85,3
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:60,4
DESPUES:59,3
**SDT (µS/cm):**
ANTES:78,4
DESPUES:68,9

**N° JARRA: 6**
**DOSIS (mg/L):** 108000
**PH:**
ANTES:6,3
DESPUES:7,4
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:122,4
DESPUES:106,8
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:89,0
DESPUES:86
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:60,4
DESPUES:59,0
**SDT (µS/cm):**
ANTES:78,4
DESPUES:68,4

### Comportamiento del pH con la Sábila

Los valores de pH antes del tratamiento con sábila fluctuaron entre 4,8 y 7,07, con un promedio de 6,12. Tras el tratamiento, los valores de pH aumentaron, alcanzando un promedio de 7,09.

Este aumento en el pH es un comportamiento positivo, ya que se acerca al valor promedio de pH del agua de la zona rural (7,21) mencionado en el apéndice A. Según lo observado, la sábila como coagulante natural estabilizó el pH del agua, llevándolo a niveles más adecuados para consumo humano, lo cual es favorable para evitar alteraciones en la salud que pudieran derivarse de un pH demasiado bajo o alto.

### Comportamiento de la Conductividad Eléctrica con la Sábila

En cuanto a la conductividad, los valores iniciales variaron entre 103,9 y 142,8 µS/cm, con un promedio de 117,32 µS/cm. Después del tratamiento, los valores de conductividad disminuyeron, alcanzando un promedio de 114,83 µS/cm, con un rango final de 101 µS/cm a 173,3 µS/cm.

La disminución en la conductividad se relaciona con la liberación de iones debido a los compuestos presentes en la sábila (García et al., 2014). La sábila contiene polisacáridos, mucílagos y compuestos orgánicos que interactúan con los iones disueltos en el agua. Durante el tratamiento, algunos de estos iones son adsorbidos por los compuestos del extracto, reduciendo la conductividad eléctrica.

Sin embargo, los valores observados permanecen dentro de un rango que no representa un riesgo para la salud de acuerdo con el valor obtenido del agua consumida en la vereda Guadualejo el cual fue 85,87 µS/cm.

**Comportamiento de la Alcalinidad con la Sábila**

La alcalinidad inicial de las muestras varía entre 70 y 110 mg/L, con un promedio de 88,58 mg/L. Después de la aplicación del coagulante del extracto de la sábila, los valores de alcalinidad mostraron una ligera disminución, alcanzando un promedio de 82,89 mg/L, con un rango entre 60,36 mg/L y 110 mg/L. Este descenso en la alcalinidad está relacionado con la neutralización de ácidos y bases en el agua durante el proceso de coagulación (Aguilar et al., 2002).

El valor de referencia de la alcalinidad del agua de la zona rural evaluada es de 63,33 mg/L. Aunque este valor es más bajo que los obtenidos en los ensayos realizados, los resultados obtenidos aún se encuentran dentro del rango permisible para consumo humano, según lo estipulado por la Resolución 2115 de 2007 (Apéndice B), que establece un límite máximo de 200 mg/L. Esto indica que el tratamiento con coagulante natural mantiene condiciones aceptables para la calidad del agua.

**Comportamiento de la Turbiedad con la Sábila**

La turbiedad inicial en las muestras estuvo con un promedio de 48,0 NTU, después del tratamiento con la sábila como coagulante natural, la turbiedad mostró una ligera disminución, con un promedio final de 45,8 NTU.

Aunque la turbiedad se redujo en algunos casos, los resultados indican que el coagulante a base de sábila no logró eliminar completamente las partículas suspendidas en el agua, ya que los valores de turbiedad permanecieron relativamente altos.

Según las mediciones realizadas en la vereda Guadualejo, el promedio de turbiedad del agua fue de 7,67 NTU. Aunque este valor tampoco cumple con las condiciones aptas para consumo humano establecidas por la normatividad vigente (Resolución 2115 de 2007, límite máximo de 2 NTU), sigue siendo considerablemente inferior al promedio obtenido durante los ensayos con sábila como coagulante. Esto refuerza la necesidad de optimizar las condiciones de tratamiento para alcanzar estándares aceptables de potabilidad.

**Comportamiento de Sólidos disueltos con la Sábila**

Los sólidos disueltos totales antes del tratamiento variaron entre 70,4 y 110,91 mg/L, con un promedio de 67,56 mg/L. Después del tratamiento, los valores disminuyeron ligeramente, con un rango final entre 65,92 mg/L y 110,91 mg/L, y un promedio de 66,74 mg/L.

En comparación con los datos de referencia de la zona rural, que tienen un promedio de 54,95 mg/L, los sólidos disueltos aumentaron levemente en los ensayos

realizados. El aumento de los sólidos disueltos totales se atribuye a los compuestos de la sábila que se disuelven en el agua durante el proceso de coagulación.

**Figura 10.**

*Prueba de jarras utilizando la sábila como coagulante natural*

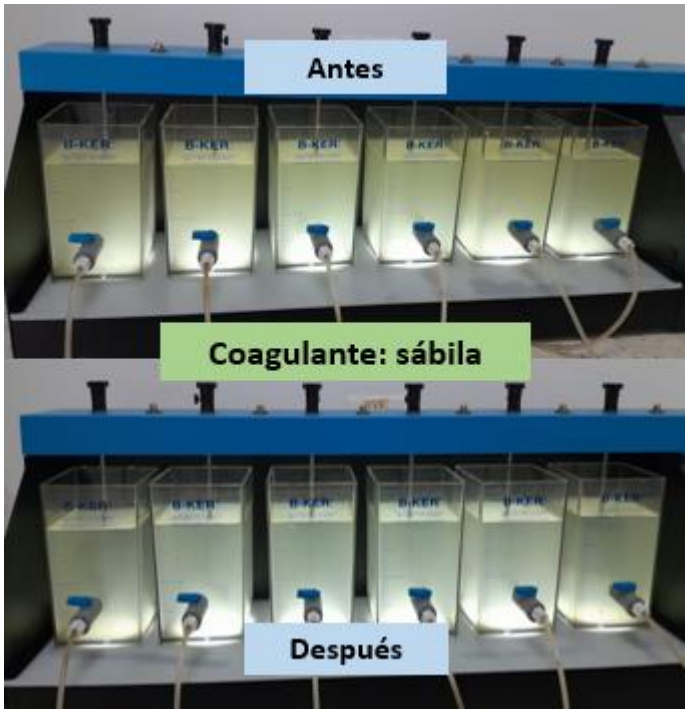
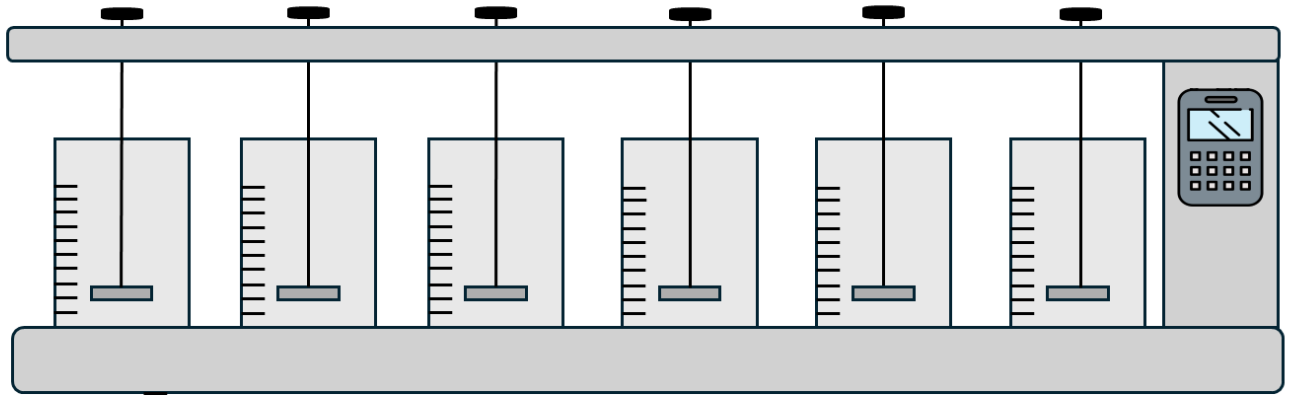


**Figura 11.**

*Antes y después prueba N° 1 (Annona muricata)*

**PRUEBA DE JARRAS N° 1**
**COAGULANTE: GUANABANA (*ANONA MURICATA*)**



**N° JARRA: 1**
**DOSIS (mg/L):** 13600
**PH:**
ANTES:6,3
DESPUES:6,0
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:144,2
DESPUES:153,6
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:105,6
DESPUES:92,0
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:47,2
DESPUES:51,2
**SDT (µS/cm):**
ANTES:92,3
DESPUES:98,3

**N° JARRA: 2**
**DOSIS (mg/L):** 25400
**PH:**
ANTES:6,3
DESPUES:6,3
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:144,2
DESPUES:153,2
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:105,6
DESPUES:101,7
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:47,2
DESPUES:49,4
**SDT (µS/cm):**
ANTES:92,3
DESPUES:98,0

**N° JARRA: 3**
**DOSIS (mg/L):** 35200
**PH:**
ANTES:6,3
DESPUES: 6,3
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:144,2
DESPUES:150,9
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:105,6
DESPUES:100,7
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:47,2
DESPUES:42,5
**SDT (µS/cm):**
ANTES:92,3
DESPUES:96,6

**N° JARRA: 4**
**DOSIS (mg/L):** 46000
**PH:**
ANTES:6,3
DESPUES:6,4
**CONDUCTIVIDAD:**
ANTES:144,2
DESPUES:153,3
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:105,6
DESPUES:98,0
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:47,2
DESPUES:44,5
**SDT (µS/cm):**
ANTES:92,3
DESPUES:98,1

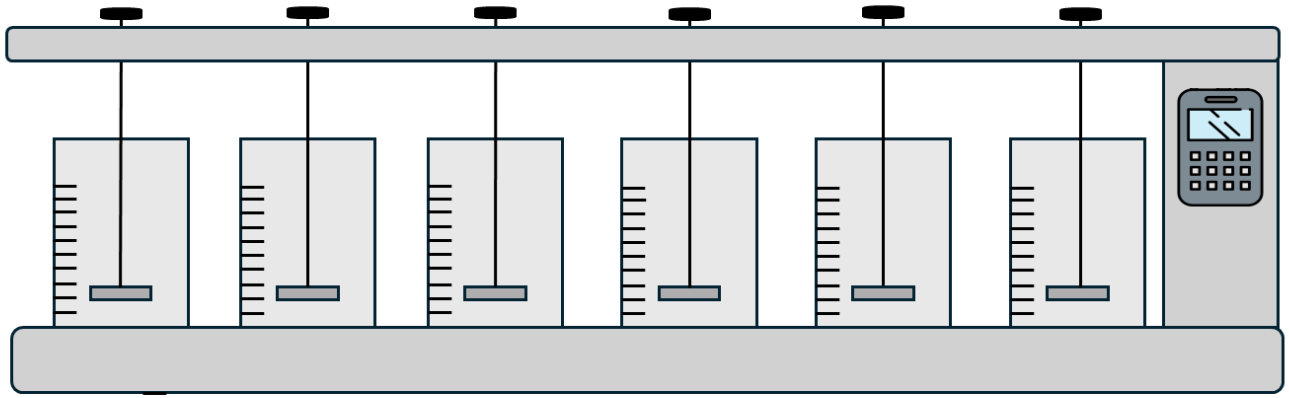
**N° JARRA: 5**
**DOSIS (mg/L):** 68000
**PH:**
ANTES:6,3
DESPUES:6,6
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:144,2
DESPUES:157,3
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:105,6
DESPUES:92,3
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:47,2
DESPUES:51,5
**SDT (µS/cm):**
ANTES:92,3
DESPUES:100,7

**N° JARRA: 6**
**DOSIS (mg/L):** 108000
**PH:**
ANTES:6,3
DESPUES:6,9
**CONDUCTIVIDAD (µS/cm):**
ANTES:144,2
DESPUES:155,4
**ALCALINIDAD (mg/L):**
ANTES:105,6
DESPUES:102,7
**TURBIEDAD (NTU):**
ANTES:47,2
DESPUES:52,3
**SDT (µS/cm):**
ANTES:92,3
DESPUES:99,5

**Figura 12.**

*Antes y después prueba N° 2 (Annona muricata)*

**PRUEBA DE JARRAS N° 2**
**COAGULANTE: GUANABANA (*ANONA MURICATA*)**

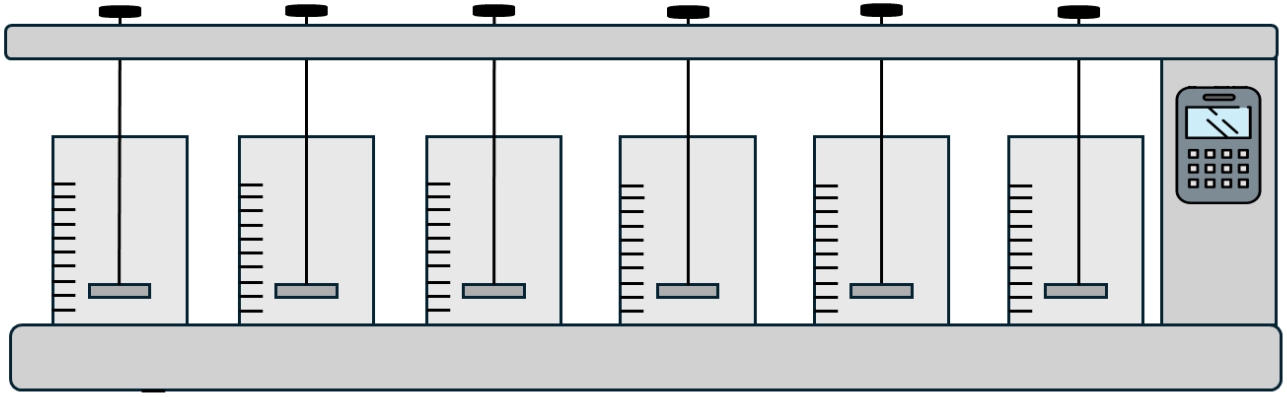


| N° JARRA: 1 | N° JARRA: 2 | N° JARRA: 3 | N° JARRA: 4 | N° JARRA: 5 | N° JARRA: 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| **DOSIS (mg/L):** 13600 | **DOSIS (mg/L):** 25400 | **DOSIS (mg/L):** 35200 | **DOSIS (mg/L):** 46000 | **DOSIS (mg/L):** 68000 | **DOSIS (mg/L):** 108000 |
| **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** |
| ANTES:6,7 | ANTES:6,7 | ANTES:6,7 | ANTES:6,7 | ANTES:6,7 | ANTES:6,7 |
| DESPUES:6,0 | DESPUES:6,2 | DESPUES:6,6 | DESPUES:6,5 | DESPUES:6,4 | DESPUES:6,9 |
| **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** |
| ANTES:144,2 | ANTES:144,2 | ANTES:144,2 | ANTES:144,2 | ANTES:144,2 | ANTES:144,2 |
| DESPUES:153,6 | DESPUES:153,2 | DESPUES:150,9 | DESPUES:153,3 | DESPUES:157,3 | DESPUES:155,4 |
| **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** |
| ANTES:95,6 | ANTES:95,6 | ANTES:95,6 | ANTES:95,6 | ANTES:95,6 | ANTES:95,6 |
| DESPUES:90,0 | DESPUES:98,3 | DESPUES:93,3 | DESPUES:94,0 | DESPUES:89,3 | DESPUES:92,7 |
| **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** |
| ANTES:22,7 | ANTES:22,7 | ANTES:22,7 | ANTES:22,7 | ANTES:22,7 | ANTES:22,7 |
| DESPUES:19,4 | DESPUES:18,3 | DESPUES:20,4 | DESPUES:18,6 | DESPUES:20,8 | DESPUES:18,8 |
| **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** |
| ANTES:89,9 | ANTES:89,9 | ANTES:89,9 | ANTES:89,9 | ANTES:89,9 | ANTES:89,9 |
| DESPUES:98,7 | DESPUES:98,4 | DESPUES:96,7 | DESPUES:98,3 | DESPUES:91,4 | DESPUES:87,3 |

**Figura 13.**

*Antes y después prueba N° 3 (Annona muricata)*

**PRUEBA DE JARRAS N° 3**
**COAGULANTE: GUANABANA (*ANONA MURICATA*)**

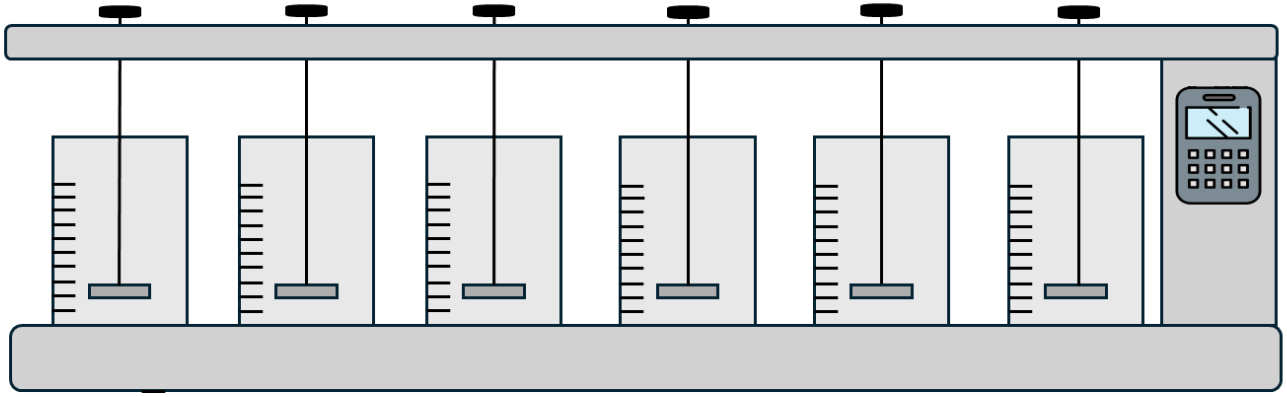


| N° JARRA: 1 | N° JARRA: 2 | N° JARRA: 3 | N° JARRA: 4 | N° JARRA: 5 | N° JARRA: 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| **DOSIS (mg/L):** 13600 | **DOSIS (mg/L):** 25400 | **DOSIS (mg/L):** 35200 | **DOSIS (mg/L):** 46000 | **DOSIS (mg/L):** 68000 | **DOSIS (mg/L):** 108000 |
| **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** |
| ANTES:6,6 | ANTES:6,6 | ANTES:6,6 | ANTES:6,6 | ANTES:6,6 | ANTES:6,6 |
| DESPUES:6,0 | DESPUES:6,3 | DESPUES:6,3 | DESPUES:6,5 | DESPUES:6,6 | DESPUES:6,8 |
| **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDA (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** |
| ANTES:137,8 | ANTES:137,8 | ANTES:137,8 | ANTES:137,8 | ANTES:137,8 | ANTES:137,8 |
| DESPUES:154,3 | DESPUES:153,5 | DESPUES:150,4 | DESPUES:150,2 | DESPUES:144,0 | DESPUES:143,5 |
| **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** |
| ANTES:85,0 | ANTES:85,0 | ANTES:85,0 | ANTES:85,0 | ANTES:85,0 | ANTES:85,0 |
| DESPUES:108,7 | DESPUES:102,7 | DESPUES:99,3 | DESPUES:92,7 | DESPUES:96,7 | DESPUES:116,7 |
| **TURBIEDAD (NTU): :** | **TURBIEDAD (NTU): :** | **TURBIEDAD (NTU): :** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** |
| ANTES:70,8 | ANTES:70,8 | ANTES:70,8 | ANTES:70,8 | ANTES:70,8 | ANTES:70,8 |
| DESPUES:70,1 | DESPUES:79,2 | DESPUES:81,2 | DESPUES:80,4 | DESPUES:78,4 | DESPUES:72,3 |
| **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** |
| ANTES:88,2 | ANTES:88,2 | ANTES:88,2 | ANTES:88,2 | ANTES:88,2 | ANTES:88,2 |
| DESPUES:98,7 | DESPUES:98,2 | DESPUES:96,2 | DESPUES:96,1 | DESPUES:92,2 | DESPUES:91,9 |

**Figura 14.**

*Antes y después prueba N° 4 (Annona muricata)*

**PRUEBA DE JARRAS N° 4**
**COAGULANTE: GUANABANA (*ANONA MURICATA*)**



| N° JARRA: 1 | N° JARRA: 2 | N° JARRA: 3 | N° JARRA: 4 | N° JARRA: 5 | N° JARRA: 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| **DOSIS (mg/L):** 13600 | **DOSIS (mg/L):** 25400 | **DOSIS (mg/L):** 35200 | **DOSIS (mg/L):** 46000 | **DOSIS (mg/L):** 68000 | **DOSIS (mg/L):** 108000 |
| **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** | **PH:** |
| ANTES:6,7 | ANTES:6,7 | ANTES:6,7 | ANTES:6,7 | ANTES:6,7 | ANTES:6,7 |
| DESPUES:6,2 | DESPUES:6,3 | DESPUES:6,3 | DESPUES:6,7 | DESPUES:6,6 | DESPUES:6,9 |
| **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** | **CONDUCTIVIDAD (µS/cm):** |
| ANTES:136,0 | ANTES:136,0 | ANTES:136,0 | ANTES:136,0 | ANTES:136,0 | ANTES:136,0 |
| DESPUES:154,9 | DESPUES:153,9 | DESPUES:151,6 | DESPUES:154,1 | DESPUES:158,3 | DESPUES:156,5 |
| **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** | **ALCALINIDAD (mg/L):** |
| ANTES:78,9 | ANTES:78,9 | ANTES:78,9 | ANTES:78,9 | ANTES:78,9 | ANTES:78,9 |
| DESPUES:92,7 | DESPUES:91,3 | DESPUES:92,0 | DESPUES:90,7 | DESPUES:87,3 | DESPUES:95,3 |
| **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** | **TURBIEDAD (NTU):** |
| ANTES:59,2 | ANTES:59,2 | ANTES:59,2 | ANTES:59,2 | ANTES:59,2 | ANTES:59,2 |
| DESPUES:68,8 | DESPUES:79,2 | DESPUES:75,8 | DESPUES:78,5 | DESPUES:65,5 | DESPUES:70,1 |
| **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** | **SDT (µS/cm):** |
| ANTES:87,0 | ANTES:87,0 | ANTES:87,0 | ANTES:87,0 | ANTES:87,0 | ANTES:87,0 |
| DESPUES:99,1 | DESPUES:98,5 | DESPUES:97,0 | DESPUES:98,6 | DESPUES:101,3 | DESPUES:100,2 |

### Comportamiento del pH con las Semillas de Guanábana

En las cuatro pruebas realizadas, se observó un comportamiento general de ligero aumento en el pH tras la aplicación del coagulante de semillas de guanábana. Antes de la dosificación, el pH promedio de las muestras era de 6,11, mientras que tras el tratamiento este promedio aumentó a 6,45. Este incremento moderado se asocia a la liberación de compuestos que equilibran las condiciones ácidas del agua inicial, generando una tendencia alcalinizante (Massa, 2019).

Comparado con el promedio de referencia de pH de la zona rural el cual es 7,29, los valores obtenidos en los ensayos son ligeramente más bajos. Sin embargo, aún se mantienen dentro del rango permitido para consumo humano según la Resolución 2115 de 2007.

Es importante resaltar que, en casos donde el pH desciende por debajo de 6,5, podría ser necesario un ajuste posterior mediante procesos de alcalinización.

### Comportamiento de la Conductividad Eléctrica con las Semillas de Guanábana

La conductividad eléctrica mostró un ligero incremento tras la aplicación del coagulante en las cuatro pruebas. El valor inicial promedio fue de 117,32 µS/cm, mientras que el valor final promedio aumentó hasta un máximo de 151,69 µS/cm.

El aumento observado se asocia a la liberación de iones procedentes del coagulante, como se describe en el diseño metodológico, donde el proceso de extracción de los compuestos coagulantes podría contribuir a la disolución de ciertos minerales. Pese a esto, los valores permanecen por encima del valor de referencia el cual es 85, 87 µS/cm.

**Comportamiento de la Alcalinidad con las Semillas de Guanábana**

La alcalinidad al ser un indicador de la capacidad del agua para neutralizar ácidos, experimentó ligeros cambios tras el tratamiento. En las cuatro pruebas, los valores iniciales oscilaron entre 70 y 110 mg/L, con un promedio de 88,58 mg/L. Después del tratamiento, los valores finales se ubicaron en un rango de 84 a 120 mg/L, con un promedio de 96,29 mg/L.

Estos resultados indican que el coagulante natural tiene un impacto mínimo sobre la alcalinidad del agua, preservando su capacidad de amortiguación. Como se mencionó en casos de estudio, la estabilidad de este parámetro se muestra como una ventaja del uso de coagulantes naturales, ya que reduce la necesidad de ajustes posteriores en el proceso de potabilización.

**Comportamiento de la Turbiedad con las Semillas de Guanábana**

La turbiedad inicial de las muestras varió ampliamente, con valores entre 19,5 y 75,2 NTU antes del tratamiento. Sin embargo, se observó un aumento de la turbidez en algunas pruebas tras la aplicación del coagulante, con valores finales alcanzando hasta 89,5 NTU. Este comportamiento se relaciona con la presencia de partículas residuales no sedimentadas del coagulante o con la agitación insuficiente en las pruebas de jarras, lo cual requiere optimización en la técnica de floculación. De acuerdo con los valores de referencia

de la calidad de agua de la zona rural el cual tiene un promedio de 7,67 NTU, los datos obtenidos de los ensayos aún se encuentran muy por encima de las condiciones de agua consumida por la comunidad.

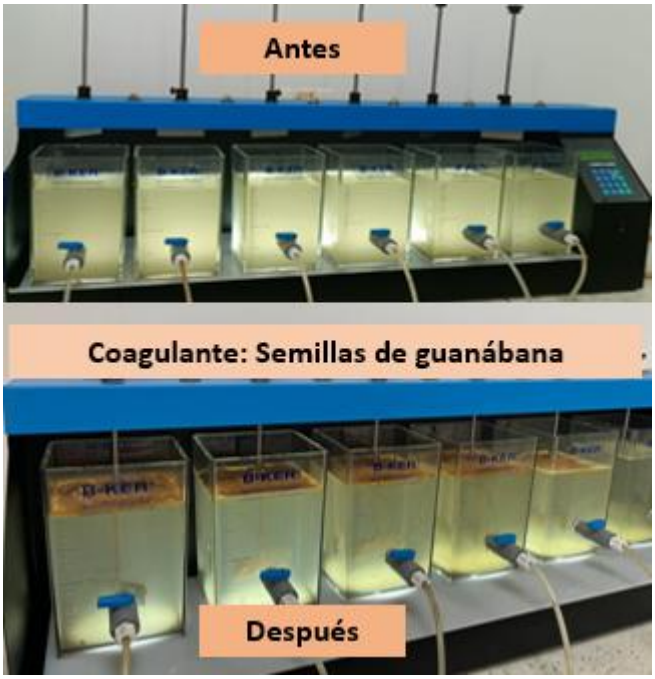
### Comportamiento de Sólidos Disueltos Totales con las Semillas de Guanábana

Los sólidos disueltos totales presentaron un leve incremento tras la aplicación del coagulante natural de guanábana. Antes del tratamiento el valor promedio fue de 75,11 mg/L. Después del tratamiento, se registró un promedio de 97,08 mg/L. Este aumento es consistente con la introducción de compuestos orgánicos e iones procedentes del coagulante.

En comparación con el valor de referencia de 54,95 mg/L para la zona rural, los valores obtenidos en los ensayos reflejan un incremento notable. Este comportamiento se debe a la liberación de compuestos iónicos, como taninos y polisacáridos solubles presentes en el extracto de guanábana, durante el proceso de coagulación.

**Figura 15.**

*Prueba de jarras utilizando las semillas de guanábana como coagulante natural*




**Síntesis de los Promedios de Parámetros Fisicoquímicos con los Extractos de *Aloe Vera* y *Annona Muricata***

***Análisis de pH, Conductividad Eléctrica, Alcalinidad, Sólidos Disueltos y Turbiedad***

A continuación, se muestra la tabla 19 en la cual se encuentra los promedios de los datos compilados en las tablas 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22 para efectos de practicidad a la hora de generar las gráficas mediante el método de correlación de Pearson.

**Tabla 11.**

*antes y después de los parámetros con los coagulantes naturales*

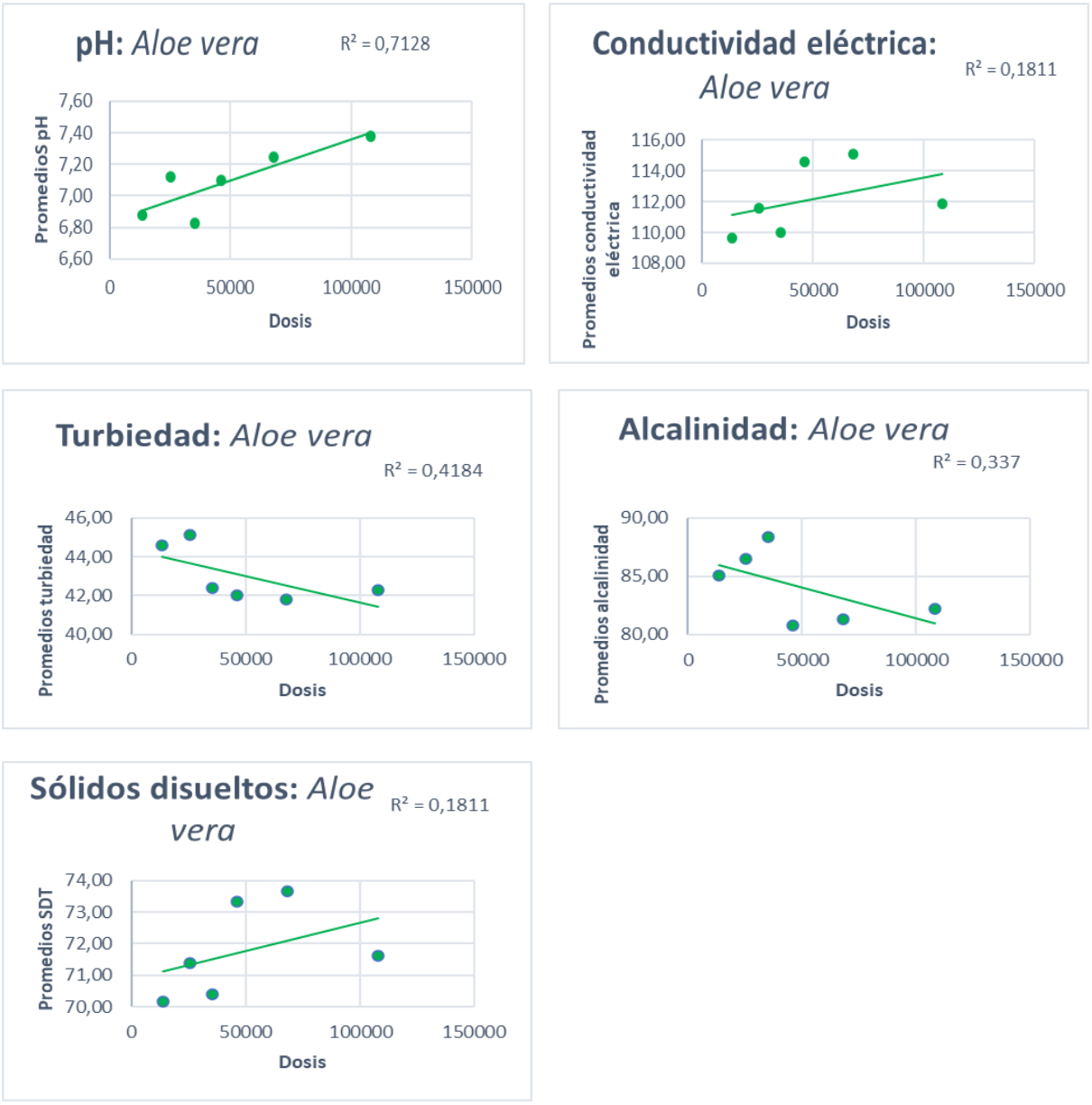
| Especie | Dosis (mg/L) | Promedio de resultados por cada parámetro en las 4 pruebas y 3 repeticiones | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | pH | | Conductividad eléctrica | | Alcalinidad | | Turbiedad | | Sólidos disueltos | |
| | | antes | después | antes | después | antes | después | antes | después | antes | después |
| Sábila (*Aloe vera*) | 13600 | 6,12 | 6,88 | 117,32 | 109,65 | 88,58 | 85,08 | 51,10 | 44,62 | 75,08 | 70,18 |
| | 25400 | 6,12 | 7,12 | 117,32 | 111,56 | 88,58 | 86,50 | 51,10 | 45,10 | 75,08 | 71,40 |
| | 35200 | 6,12 | 6,83 | 117,32 | 109,99 | 88,58 | 88,42 | 51,10 | 42,39 | 75,08 | 70,39 |
| | 46000 | 6,12 | 7,10 | 117,32 | 114,58 | 88,58 | 80,75 | 51,10 | 41,99 | 75,08 | 73,33 |
| | 68000 | 6,12 | 7,25 | 117,32 | 115,08 | 88,58 | 81,33 | 51,10 | 41,82 | 75,08 | 73,65 |
| | 108000 | 6,12 | 7,38 | 117,32 | 111,89 | 88,58 | 82,17 | 51,10 | 42,31 | 75,08 | 71,61 |
| Semillas de Guanábana (*Annona muricata*) | 13600 | 6,12 | 6,06 | 117,32 | 154,24 | 88,58 | 95,83 | 51,10 | 52,34 | 75,08 | 98,71 |
| | 25400 | 6,12 | 6,30 | 117,32 | 153,56 | 88,58 | 98,50 | 51,10 | 56,50 | 75,08 | 98,28 |
| | 35200 | 6,12 | 6,38 | 117,32 | 150,97 | 88,58 | 96,33 | 51,10 | 54,97 | 75,08 | 96,62 |
| | 46000 | 6,12 | 6,51 | 117,32 | 152,82 | 88,58 | 93,83 | 51,10 | 55,48 | 75,08 | 97,80 |
| | 68000 | 6,12 | 6,54 | 117,32 | 150,60 | 88,58 | 91,42 | 51,10 | 53,94 | 75,08 | 96,38 |
| | 108000 | 6,12 | 6,89 | 117,32 | 147,98 | 88,58 | 101,83 | 51,10 | 53,38 | 75,08 | 94,70 |

En este apartado se presentan los resultados obtenidos del análisis del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos antes y después de la aplicación de los coagulantes naturales a base de extractos de *Aloe vera* y *Annona muricata*. Se realizó un análisis estadístico utilizando el método de correlación de Pearson, con el objetivo de identificar la relación entre las mediciones iniciales y las posteriores a la adición de los coagulantes.

Los resultados se exponen en gráficos generados a partir de los coeficientes de correlación obtenidos, los cuales permiten evaluar la eficacia de los coagulantes naturales en la optimización de los parámetros fisicoquímicos del agua, destacando posibles patrones y tendencias en el proceso de coagulación para su potabilización.

**Figura 16.**

*Correlación de Pearson para los parámetros analizados utilizando Aloe vera*



Las gráficas generadas mediante el análisis del método de correlación de Pearson mostraron variaciones significativas en los diferentes parámetros evaluados al emplear el coagulante natural a base de *Aloe vera*. Cada parámetro presentó comportamientos específicos que permiten entender mejor las interacciones químicas entre las dosis de coagulante natural aplicado y las propiedades del agua tratada.

En el caso del pH, se observó una correlación positiva con un valor de R= 0,71. Este resultado refleja una relación medianamente proporcional entre las dosis aplicadas y los resultados obtenidos después de la aplicación del coagulante natural. Es importante destacar que el pH presentó una tendencia a ascender a medida que la dosis con coagulante natural de la sábila aumentaba, lo que indica que este coagulante tiene la capacidad de modificar el pH, especialmente en aguas con características ácidas. Este comportamiento lo posiciona como una alternativa potencial para el ajuste del pH en procesos de tratamiento de aguas. Este resultado guarda directa relación con el estudio realizado por Foraquita Adco et al. (2024), donde mencionan el potencial del *Aloe vera* como neutralizador de pH.

Por otro lado, el parámetro de conductividad presentó una correlación positiva con un valor de R = 0,18, lo que indica una débil relación entre las dosis aplicadas y los datos obtenidos después de la aplicación del *Aloe vera*. Aunque se registró una ligera disminución en la conductividad, este aumento no es lo suficientemente significativa como para marcar un impacto considerable. Este comportamiento sugiere que las dosis del coagulante aplicado no tienen un efecto específico sobre las propiedades relacionadas con los sólidos disueltos o las cargas iónicas en el agua tratada.

El parámetro de alcalinidad obtuvo una correlación positiva de 0,33 en el análisis realizado, lo que evidencia una relación débil al aplicar las distintas dosis del coagulante natural a base de *Aloe vera*. Sin embargo, este resultado destaca una influencia en este parámetro del agua tratada, reflejando una tendencia descendente con las dosis aplicadas.

Al analizar el comportamiento conjunto del pH y la alcalinidad, se puede observar que ambos parámetros están relacionados de manera indirecta. A medida que el pH aumenta, impulsado por la acción del *Aloe vera*, la alcalinidad tiende a disminuir, lo que confirma la interacción entre estas dos variables. Este comportamiento sugiere que el *Aloe vera* tiene un impacto específico en las bases presentes en el agua, aumentando su capacidad para neutralizar ácidos.

El análisis de la turbiedad mostró una correlación positiva de R= 0,42, lo que indica que la variación en los valores obtenidos tras las distintas dosis del coagulante natural a base de sábila es medianamente débil. Este comportamiento sugiere que el aumento en las dosis aplicadas disminuye levemente los valores de turbiedad bajo las condiciones evaluadas. En términos generales, los resultados de este estudio indican que la capacidad de remoción de turbiedad del *Aloe vera* como coagulante natural fue casi despreciable, lo que limita su eficacia como alternativa para este propósito en nuestras condiciones específicas. Sin embargo, esto contrasta con los hallazgos de Foraquita Adco et al. (2024), quienes reportaron una remoción de turbidez significativamente alta, alcanzando un 94,4% de eficacia.

La diferencia principal entre los dos estudios radica en las condiciones iniciales de turbidez. En el caso de este estudio, el agua tratada presentaba una turbidez inicial más baja

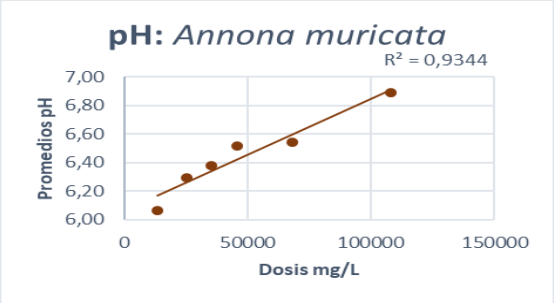
de entre 20 a 60 NTU, lo que pudo reducir la cantidad de partículas disponibles para coagular y formar flóculos lo suficientemente grandes como para sedimentar de manera efectiva. Por otro lado, en el estudio de Foraquita Adco et al.(2024), la turbidez inicial era más elevada, lo que habría facilitado una mayor interacción del *Aloe vera* con las partículas suspendidas, optimizando su capacidad de remoción.

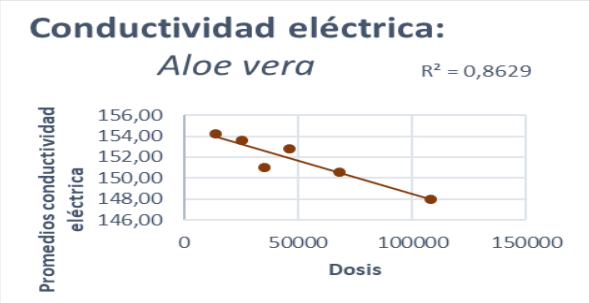
En cuanto a los sólidos disueltos totales (SDT), se identificó una correlación positiva de R= 0,18, lo que denota una relación débil entre las dosis del coagulante y los SDT sin ninguna tendencia en específico. La ligera disminución observada en los SDT a distintas dosis confirma que el *Aloe vera* no genera cambios significativos en la composición de sólidos solubles presentes en el agua tratada.

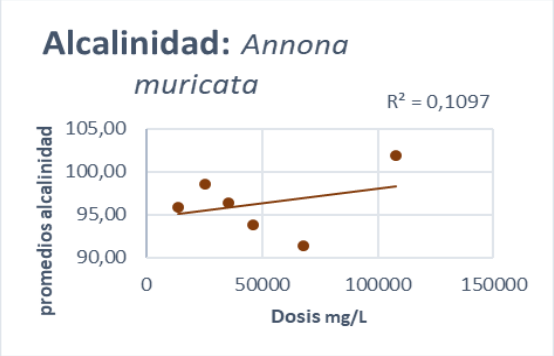
Existe una relación muy definida entre los Sólidos Disueltos Totales y la Turbiedad que podría explicarse por la presencia de partículas finas o compuestos solubles que, al no ser eliminados eficazmente por el coagulante, mantienen cierta consistencia en los valores de ambos parámetros. Esto refuerza la idea de que el coagulante natural a base de sábila, aunque pueda tener otras aplicaciones beneficiosas, presenta limitaciones para procesos donde la reducción de turbiedad y SDT son objetivos clave.

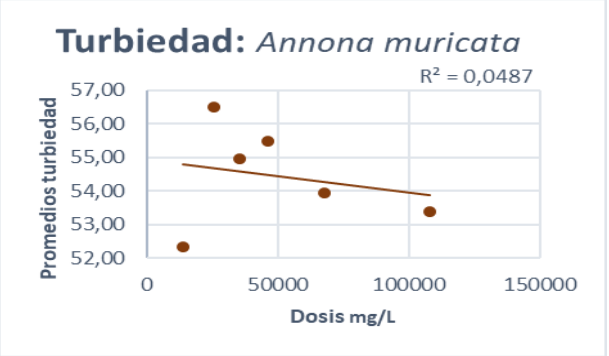
**Figura 17.**

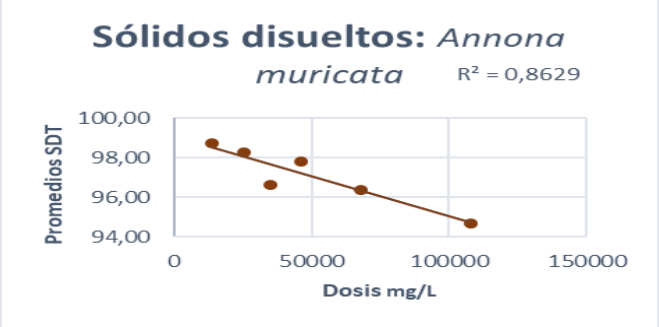
*Correlación de Pearson para los parámetros analizados utilizando Annona muricata*


pH: Annona muricata
R² = 0,9344
Promedios pH
7,00
6,80
6,60
6,40
6,20
6,00
0
50000
100000
150000
Dosis mg/L


Conductividad eléctrica:
Aloe vera
R² = 0,8629
Promedios conductividad eléctrica
156,00
154,00
152,00
150,00
148,00
146,00
0
50000
100000
150000
Dosis


Alcalinidad: Annona muricata
R² = 0,1097
promedios alcalinidad
105,00
100,00
95,00
90,00
0
50000
100000
150000
Dosis mg/L


Turbiedad: Annona muricata
R² = 0,0487
Promedios turbiedad
57,00
56,00
55,00
54,00
53,00
52,00
0
50000
100000
150000
Dosis mg/L


Sólidos disueltos: Annona muricata
R² = 0,8629
Promedios SDT
100,00
98,00
96,00
94,00
0
50000
100000
150000
Dosis mg/L

La interpretación de las gráficas obtenidas a partir del análisis de correlación por el método de Pearson para el coagulante elaborado con la semilla de guanábana mostró tendencias de correlación positiva en los parámetros analizados.

La correlación entre el pH y el tratamiento con el coagulante elaborado a partir de semillas de guanábana arrojó un valor positivo de R=0,9 lo cual indica una relación fuerte entre las dosis aplicadas y el parámetro estudiado. Este hallazgo indica que el pH presentó un comportamiento ascendente a medida que se aumenta la dosis del coagulante natural. Esta relación es inversamente proporcional, lo que significa que la cantidad de dosis del coagulante a partir de la se semilla de guanábana influye en la estabilización para aguas de carácter acido.

Este resultado es inconsistente con lo reportado en la investigación de Massa (2019), donde se documenta que, tras aplicar pruebas de coagulación-floculación utilizando semillas de guanábana, el pH del agua tratada tendía a disminuir ligeramente, aunque sin desviarse de valores neutros.

La conductividad eléctrica mostró una disminución a medida que las dosis aplicadas aumentaban mostrando una relación inversamente proporcional en presencia del coagulante de semilla de guanábana, siendo la correlación de R= 0,86, lo que indica una relación fuerte. Esto sugiere que existe un patrón consistente entre la conductividad y las distintas dosis aplicadas en las pruebas. Este descenso en la conductividad, logró establecer una tendencia clara que relaciona este comportamiento con las cantidades del coagulante utilizado.

En el caso de la alcalinidad, no se observó una tendencia especifica después del tratamiento con las distintas dosis aplicadas del coagulante de a partir de la semilla guanábana. La correlación calculada fue de R= 0,10, indicando una relación débil entre las dosis aplicadas y los datos obtenidos. Además, las pruebas realizadas mostraron variaciones significativas en los valores de alcalinidad, sin que estas estuvieran asociadas directamente a las dosis aplicadas. A parte de ello, no existe una relación directa entre la alcalinidad y el pH posiblemente porque no altera de manera consistente la cantidad de bicarbonatos o carbonatos en el agua.

La turbiedad presentó una correlación de R=0,048, lo que refleja una relación nula entre este parámetro y las dosis del coagulante aplicado. Los datos no mostraron una tendencia consistente en la turbiedad con el incremento de las dosis, lo cual se puede atribuir a posibles dosis inapropiadas pues estas mantuvieron en un rango específico. Este comportamiento sugiere que no hay una influencia directa del coagulante en este parámetro, probablemente debido a la interacción entre las partículas suspendidas y el coagulante durante el tratamiento.

De manera homologable a los resultados obtenidos en la investigación realizada por Massa (2019), se observó una disminución en la turbiedad del agua tratada equivalente al 54,78%. Este dato evidencia la efectividad del coagulante en la remoción de partículas suspendidas, aunque es importante destacar que existieron diferencias metodológicas significativas entre ambos estudios.

Las variaciones en la preparación del coagulante podrían haber influido en los resultados finales, ya que aspectos como el tiempo de extracción, la concentración y las

condiciones de almacenamiento del coagulante pueden impactar su desempeño. Además, las características iniciales del agua utilizada en los experimentos, específicamente en términos de turbiedad y pH, también presentaron diferencias considerables entre los estudios, lo que pudo haber contribuido a las discrepancias en los hallazgos.

El comportamiento de los sólidos disueltos totales (SDT) estuvo relacionado directamente con la conductividad del agua. Los SDT tuvo una tendencia descendente tras la aplicación de los distintos coagulantes, evidenciando una relación consistente, resultando en una correlación fuerte de R=0,86. Sin embargo este parámetro no mostró una relación directa a partir de las dosis aplicadas y la turbiedad: a medida que la turbiedad tuvo una correlación nula con las dosis, los SDT disminuyeron a medida que aumentaba la dosis, indicando una influencia en las sustancias disueltas mas no con las partículas suspendidas.

### *Prueba Estadística con MATLAB*

Para el análisis estadístico de varianza de dos factores (ANOVA), se tuvo en cuenta la turbiedad final obtenida en las pruebas de jarras, donde se utilizaron las dos especies de coagulantes naturales (sábila y semillas de guanábana) y diversas dosis de cada uno. El análisis consideró dos factores: el tipo de coagulante utilizado y la dosis aplicada, así como la combinación entre estos dos factores y su influencia en la reducción de turbiedad del agua.

Para facilitar el ingreso de datos en el paquete estadístico MATLAB, los datos fueron organizados en la tabla 20, donde se incluyen las dos especies de coagulantes, las

dosis aplicadas y el promedio de las turbiedades finales.

**Tabla 12.**

*Efecto de las dosis de la sábila y de las semillas de guanábana sobre la turbiedad del agua*

| Coagulante | Dosis (mg/L) | Turbiedad (NTU) |
|---|---|---|
| Sábila | 13600 | 44,62 |
| Sábila | 25400 | 45,10 |
| Sábila | 35200 | 42,39 |
| Sábila | 46000 | 42,11 |
| Sábila | 68000 | 41,82 |
| Sábila | 108000 | 42,31 |
| Semillas de guanábana | 13600 | 52,36 |
| Semillas de guanábana | 25400 | 56,50 |
| Semillas de guanábana | 35200 | 54,97 |
| Semillas de guanábana | 46000 | 55,48 |
| Semillas de guanábana | 68000 | 53,94 |
| Semillas de guanábana | 108000 | 53,38 |

*Nota.* Esta tabla contiene los dos tipos de coagulantes utilizados, las dosis aplicadas y el promedio de las turbiedades finales.

Una vez ingresados los datos de las turbiedades finales, se obtuvo una tabla de valores (figura 18).

**Figura 18.**

*Tabla de valores obtenida del análisis ANOVA de MATLAB*

**Analysis of Variance**

| Source | Sum Sq. | d.f. | Mean Sq. | F | Prob>F |
|---|---|---|---|---|---|
| Coagulante | 1165.43 | 1 | 1165.43 | 5.25 | 0.031 |
| Dosis | 35.23 | 5 | 7.05 | 0.03 | 0.9994 |
| Coagulante:Dosis | 28.99 | 5 | 5.8 | 0.03 | 0.9996 |
| Error | 5324.16 | 24 | 221.84 | | |
| Total | 6553.8 | 35 | | | |

Con base en los valores de P (probabilidad estadística) obtenidos para las tres hipótesis planteadas, se tiene consideran las siguientes interpretaciones en función del valor de alfa (α 0,05):

**Hipótesis del efecto principal del coagulante**

Dado que el valor de P es 0,031, lo cual es menor que el valor de alfa (α 0,05), entonces se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que existe una diferencia significativa en el porcentaje de remoción de turbiedad entre los coagulantes naturales utilizados. En otras palabras, los coagulantes naturales (sábila y semillas de guanábana) tienen un impacto diferente en la reducción de turbiedad.

**Hipótesis del efecto principal de la dosis**

El valor de P para este caso es de es 0,9994, lo cual es mayor que alfa (α 0,05). Esto conlleva a no rechazar la hipótesis nula, lo que indica que no hay diferencias significativas en el porcentaje de remoción de turbiedad entre las dosis utilizadas. Por lo tanto, la dosis de coagulante influye de manera significativa en la turbiedad del agua.

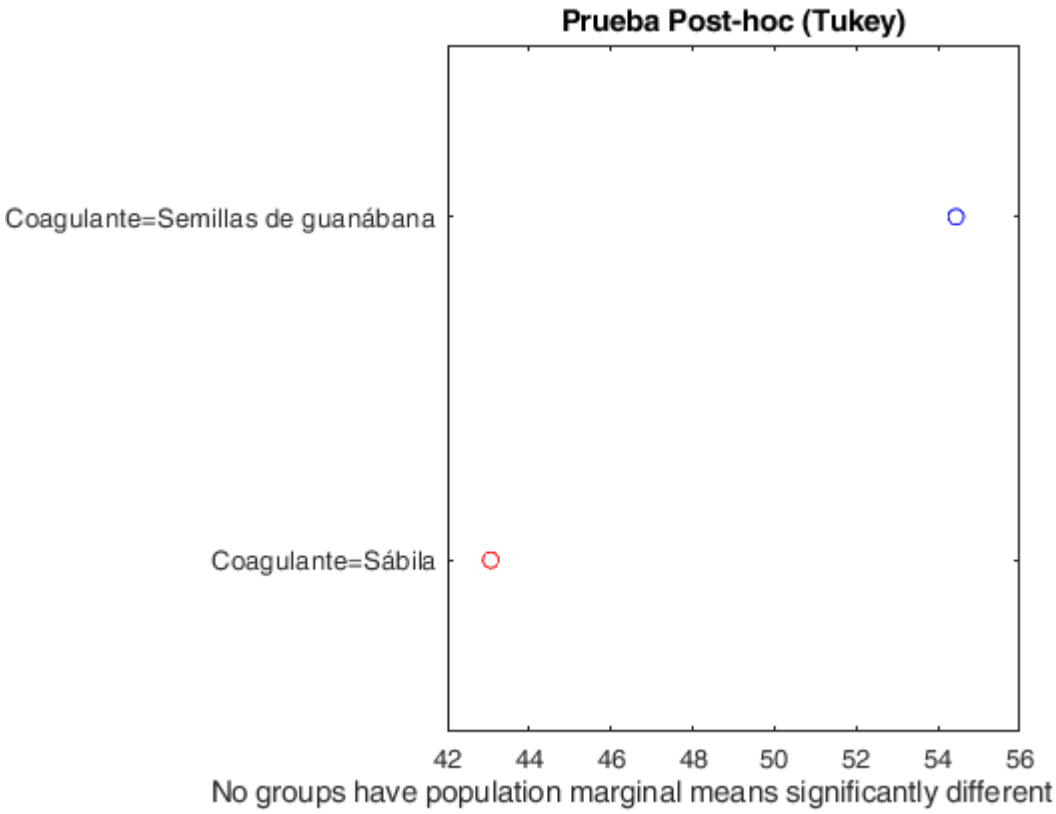
**Hipótesis de la interacción entre coagulante y dosis**

En este caso el valor de P obtenido es 0,9996, lo cual es también mayor que alfa (α 0,05). Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula, es decir que no existe una interacción significativa entre el tipo de coagulante y las dosis utilizadas en cuanto a su efecto sobre la turbiedad. Dicho de otro modo, el tipo de coagulante y las dosis no interactúan de manera que afecten de forma conjunta la remoción de turbiedad.

Debido a que existe una diferencia significativa en el porcentaje de remoción de turbiedad entre los coagulantes naturales utilizados, se realizó un análisis Post-hoc de Tukey donde se obtuvo la siguiente grafica de comparaciones (figura 19):

**Figura 19.**

*Prueba post-hoc (Tukey)*




*Nota.* Cada punto representa el promedio de turbiedad final correspondiente a uno de los coagulantes.

La gráfica muestra que el promedio de turbiedad con sábila es inferior al promedio obtenido con las semillas de guanábana. Además, se observa que los dos puntos están

separados verticalmente, pero no se incluyen barras de error ni otros indicadores que permitan determinar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas. En otras palabras, aunque a simple vista parece haber una diferencia en los promedios de turbiedad (con las semillas de guanábana aparentemente siendo menos eficaces), esta diferencia no es lo suficientemente grande como para considerarla estadísticamente significativa en este análisis. Esto indica, desde el punto de vista estadístico, ambos coagulantes tienen un efecto similar en la remoción de turbiedad.

Por otro lado, las gráficas presentadas a continuación (figura 20, 21 y 22) reflejan los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado mediante MATLAB.

**Figura 20.**

*Efecto principal del coagulante*

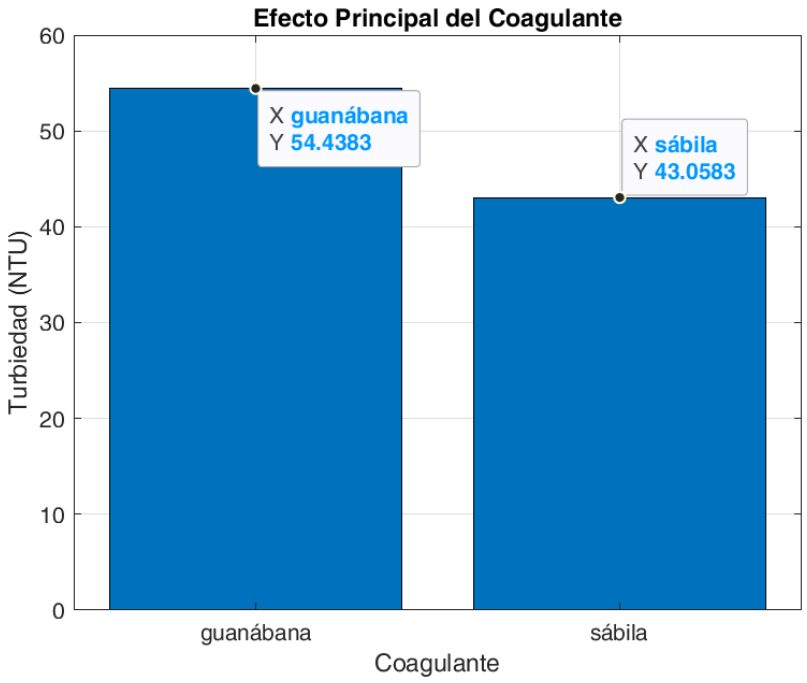


**Figura 21**

*Efecto principal de las dosis*

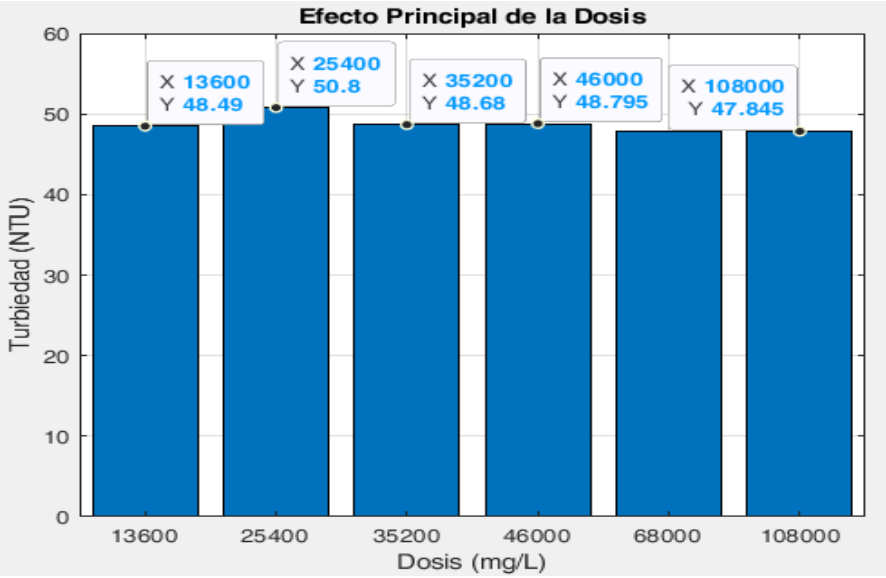
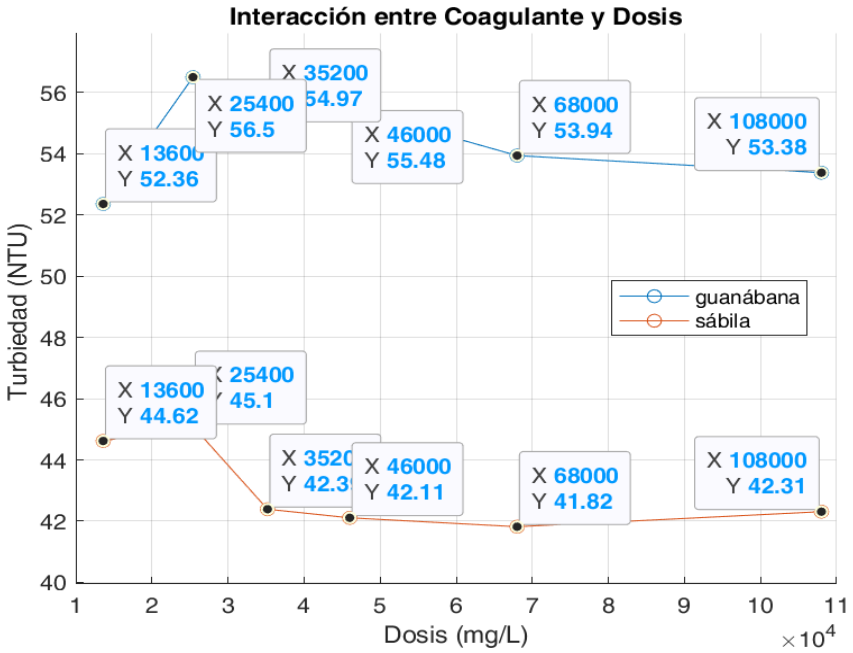



**Figura 22.**

*Interacción entre coagulante y dosis*



En la figura 22, se evidencia que la sábila ofrece mejores resultados en la reducción de turbidez, independientemente de la dosis aplicada. No se observa una interacción significativa entre el tipo de coagulante y la dosis, ya que ambos coagulantes mantienen un comportamiento constante y predecible. La dosis que presentó el mejor desempeño con la sábila fue de 6800 mg/L, mientras que para las semillas de guanábana fue de 13600 mg/L.

Por su parte, la figura 21, que representa el efecto principal de la dosis, confirma que la dosis no tiene un impacto significativo en la reducción de la turbidez, en concordancia con los resultados obtenidos en el ANOVA. Sin embargo, se observa que la dosis de 108,000 mg/L logró la mayor reducción de turbidez en promedio para ambos coagulantes.

Finalmente, la figura 20 muestra que la sábila es significativamente más eficiente que las semillas de guanábana en la remoción de turbidez, como lo confirma el análisis de varianza (ANOVA).

## Conclusiones

- El procesamiento de ambos coagulantes naturales permitió obtener extractos adecuados para su aplicación en pruebas de jarra, asegurando una preparación homogénea y estandarizada.
- Se identificaron las dosis óptimas para cada coagulante natural, destacándose que la sábila *(Aloe vera)* logró mejores resultados en la reducción de turbiedad en comparación con las semillas de guanábana *(Annona muricata)*.
- Aunque ambos coagulantes lograron mantener parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad eléctrica, alcalinidad y sólidos disueltos dentro de límites permisibles, no se alcanzaron los estándares de turbiedad requeridos en todas las pruebas.
- Los análisis de varianza (ANOVA) y las correlaciones de Pearson confirmaron que no hubo diferencias estadísticamente significativas en la eficacia de los dos coagulantes evaluados. Sin embargo, el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos indicó que el coagulante a base de *Aloe vera* tiene una mayor consistencia en la mejora de la calidad del agua con respecto a los parámetros evaluados.
- A pesar de las mejoras observadas en los tratamientos realizados, los resultados obtenidos con los coagulantes naturales evaluados aún no alcanzan las condiciones ideales de un agua potable para zonas rurales, según los datos de referencia del acueducto de la vereda Guadualejo. Ninguno de los coagulantes logró cumplir consistentemente con los estándares de turbiedad requeridos, lo que evidencia la

necesidad de optimizar sus formulaciones o combinarlas con otras tecnologías para mejorar su desempeño.

- Los resultados obtenidos indican que tanto los extractos de la sábila (*Aloe vera*) como las semillas de guanábana (*Annona muricata*) no muestran una gran eficacia por sí solas en la remoción de turbiedad. Sin embargo, de acuerdo con otros estudios, se puede concluir que estos coagulantes naturales tienen el potencial de actuar como coadyuvantes en procesos de coagulación, complementando la acción de coagulantes químicos convencionales.

## Recomendaciones

- Al trabajar con un rango limitado de dosis, se podría estar restringiendo la capacidad de identificar tendencias más precisas, como puntos de saturación, dosis óptimas o incluso rangos en los que el coagulante natural pierde eficacia. La ampliación de este rango permitirá evaluar con mayor claridad la relación entre las dosis y los parámetros medidos, proporcionando una base más robusta para establecer las condiciones ideales de aplicación en diversos contextos.
- Evaluar el impacto del almacenamiento prolongado de los coagulantes naturales, para determinar su efectividad tras períodos extensos y establecer su vida útil. Es importante considerar que su composición puede alterarse debido a factores como temperatura, humedad, exposición al oxígeno y actividad microbiológica, lo que podría afectar sus propiedades coagulantes.
- Se recomienda el uso de equipos específicos para la preparación del coagulante a partir de la semilla de guanábana, ya que es fundamental garantizar un triturado fino y uniforme que permita un aprovechamiento óptimo de la almendra. Esto no solo asegura la máxima extracción de los compuestos activos responsables del proceso de coagulación, sino que también mejora la eficiencia del tratamiento al evitar la presencia de partículas grandes que podrían dificultar su disolución en el agua o interferir en el proceso de coagulación y floculación.

- Se observó que el triturado obtenido de la almendra de la semilla de guanábana presentó un comportamiento hidrofóbico al mezclarse con el agua, lo que podría limitar su eficacia como coagulante natural. Por esta razón, se recomienda incorporar un procedimiento previo de extracción de aceite vegetal para mejorar su interacción con el medio acuoso.

  .

## Referencias Bibliográficas


Abebe, L. S., Chen, X., y Sobsey, M. D. (2016). *Chitosan Coagulation to Improve Microbial and Turbidity Removal by Ceramic Water Filtration for Household Drinking Water Treatment.* https://doi.org/10.3390/ijerph13030269

Acosta, L. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación.* https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf

Agencia de Protección Ambiental. (2012). *Guía para la planificación del suministro de agua de emergencia, para hospitales y centros de atención médica.* https://www.cdc.gov/healthywater/emergency/pdf/19_302124-EWSP-GUIDE-SPANISH.pdf

Agua limpia y saneamiento. (2018). *Sustainable Development Goals Fund.* https://www.sdgfund.org/es/objetivo-6-agua-limpia-y-saneamiento

Aguilar, A., y Cruz, K. (2022). *Reducción de la turbidez del agua mediante la aplicación del coagulante natural de Aloe Vera L. (sábila) de la cuenca baja del Río Rímac, Chosica.* https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/35071/Aguilar%20Toro%20Alessandra%20Emperatriz%20-%20Cruz%20Sanchez%20Katty%20Margot.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Aguilar, M., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., y Ortuño, J. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales floculación-coagulación.* https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8vlQBXPvhAUC&oi=fnd&pg=PA17

&dq=neutralizaci%C3%B3n+de+%C3%A1cidos+y+bases+en+el+agua+durante+el+proceso+de+coagulaci%C3%B3n&ots=clPKhVuky6&sig=Atpq74-Oz16-qULrAbHSV5b-Fjg#v=onepage&q&f=false

Alasfar, H. y Isaifan, J. (2021). *Aluminum environmental pollution: the silent killer.* https://doi.org/10.1007/s11356-021-14700-0

Alvarado, L. y Vanegas Y. (2021*). Actividad coagulante de la semilla annona muricata (guanábana) en aguas de la cuenca media del río Bogotá* [Tesis de pregrado, Universidad El Bosque]. https://repositorio.unbosque.edu.co/items/bc9fdc17-f8eb-4c78-a77c-e34e0b8f8479

Ang, W. y Mohammad, A. (2020). *Estado del arte y sostenibilidad de los coagulantes naturales en el tratamiento de aguas y aguas residuales.* https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267

Arco, M. y Caicedo, V. (2016). *Evaluación de la eficiencia del uso de coadyuvantes de origen vegetal mezclados con sulfato de aluminio en la etapa de coagulación, como opción para disminuir el consumo de este compuesto en la potabilización del agua* [Tesis de pregrado, Unidad Central del Valle del Cauca]. https://repositorio.uceva.edu.co/handle/20.500.12993/705

Arenas, E. (2019). *Efecto de la remoción del aceite de las semillas de Moringa oleífera en el tratamiento de aguas por coagulación-floculación.* https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3916#:~:text=La%20remoc

i%C3%B3n%20del%20aceite%20logr%C3%B3,como%20solventes%20de%20extracci%C3%B3n%2C%20respectivamente

Arrojo, P. (2022). *Derechos humanos al agua potable y al saneamiento de la población de las zonas rurales empobrecidas.* https://www.ohchr.org/sites/default/files/2022-10/A-77-167-Friendly-version-Rural-Areas-Laura-Parisotto-Spanish_1.pdf

Atalaya Bio. (s.f). Composición del aloe vera. https://atalayabio.com/pages/composition-of-aloe-vera

Ávila, R y Mendoza, J. (2023). *Análisis de alternativas para la potabilización de aguas subterráneas en el corregimiento de Arroyo Grande Cartagena.* https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/16609

Ayaz, A. y Inan-Eroglu, E. (2018). *Is aluminum exposure a risk factor for neurological disorders?.* https://doi.org/10.4103/jrms.jrms_921_17

Barreto, J., Vargas, D., Ruiz, L., y Gómez, S. (2019). *Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.* https://doi.org/10.22490/21456453.3081

Benalia, A. Derbal, K. Khalfaoui, A. Bouchareb, R. Pánico, A. Gisonni, C. Crispino, G. Pirozzi, F y Pizzi, A. (2021). *Uso del aloe vera como coagulante orgánico para mejorar la calidad del agua potable*. https://doi.org/10.3390/w13152024

Benjumea-Hoyos, A., Toro, M., y Luna, V. (2021). *Evaluación de la eficiencia de extractos naturales en el proceso de coagulación floculación de aguas crudas, con finos de potabilización.* DOI. 10.21931/RB/2021.06.02.17

Bermúdez, x. Fleites, M y Contretas, A. (2009). *Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil "desembarco del Granma*. https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf

Boqué, R. y Maroto A. (s.f.) *El análisis de la varianza (ANOVA) 1. comparación de múltiples poblaciones.* http://www.quimica.urv.cat/quimio/general/anovacast.pdf

Caf. (2019). *Agua y saneamiento en la nueva ruralidad de América Latina. CAF*. https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2017/02/agua-y-saneamiento-en-la-nueva-ruralidad-de-america-latina/

Castellanos, F. (2017). *Revisión del uso de coagulantes naturales en el proceso de clarificación del agua en Colombia* [Tesis de especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17102/CastellanosPinzonFredyLeonardo2017.pdf?sequence=1

Castillo, M. (2023). *Revisión sobre clarificación del agua y el uso de semillas de moringa, Moringa oleífera Lam.* http://scielo.iics.una.py/scielo.php?pid=S2617-47312023000100169&script=sci_arttext

Catalogo virtual de flora del Valle de Aburrá. (2014). *Características de la guanábana (Annona Muricata).* https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/3

Cogollo, J. (2010). *Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxicloruro de aluminio.*

Corado, M. (2020). *Biodegradabilidad de los lodos que son generados al utilizar la Moringa oleífera como coagulante único en los procesos de potabilización del agua.*

https://www.researchgate.net/publication/371143158_Biodegradabilidad_de_los_lodos_que_son_generados_al_utilizar_la_Moringa_oleifera_como_coagulante_unico_en_los_procesos_de_potabilizacion_del_agua

https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133

Choy, Y., Prasad, N., Wu, Y., Raghunandan, E., & Ramanan, N. (2014). *Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification.* https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024

Chuquicajas, J. y Julca, A. (2021). *Coagulantes naturales como alternativa en la remoción de la turbiedad para el tratamiento de aguas superficiales.* https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60614/Chuquicajas_MJV-Julca_TAN-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Damkjaer, S. y Taylor, R. (2017). *The measurementof water scarcity: Defining a meaningful indicator*. https://doi.org/10.1007/s13280-017-0912-z

Deshmukh S. y Hedaoo M. (2019). *Tratamiento de aguas residuales utilizando biocoagulantes como Cactus Opuntia Ficus Indica.* https://www.researchgate.net/publication/333296057_Wastewater_Treatment_Using_Bio-Coagulant_as_Cactus_Opuntia_Ficus_Indica/citations

Foraquita, L., Jarro, R., Cosi, D., y Paniagua, R. (2024). *Estudio de la aplicación del Aloe vera (L.) como coagulante para reducir la turbidez en el agua del río Caplina*. https://revista.sciencevolution.com/index.php/sciencievolution/article/view/95/67

Flurin, J., y Wolfenson, A. (2017). *Determinación del error producido en el filtrado de muestras para la obtención de concentraciones de sólidos suspendidos totales (finos)*.

https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/2028/8.9.2.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García, M., Franco-Salazar, V., y Véliz, J. (2014). *Crecimiento y contenido iónico de Aloe vera (L.) Burm. f. (Sábila) bajo diferentes concentraciones de NaCl.* https://homolog-ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622014000400004

Gómez, F. y Salazar, L. (2016). Evaluación de la eficiencia de semillas de *(moringa oleífera lam.)* como coagulante natural en la ciudad de Pasto – Colombia. congresopastoingagricola.pdf

Gonzales, B. (2019). *Eficiencia de los coagulantes naturales en la clarificación-potabilización de agua para uso alternativo en zonas rurales*. https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/778/TB-Gonzales%20B.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gutiérrez, J. (2022). *Moringa oleifera como coagulante para la disminución de la turbidez en la planta de tratamiento de agua potable Tundayme - cantón el Pangui, provincia de Zamora Chinchipe*. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22948/4/UPS-CT009993.pdf

Gutiérrez, R. y Gutiérrez, J. (2023). *Propuesta de diseño y viabilidad de uso de una Celda de Desalinización Microbiana para comunidades rurales del municipio de Riohacha.* https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/e13f94b9-8d0f-4c7b-897e-8600ed6c3e5a/content

Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C., y García, R. (2013). *Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión.* https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.881

Hadi, M. & Bina, B. (2018) *Application of Moringa oleífera coagulant protein as natural coagulant aid with alum form removal of heavy metals from raw water.* https://www.deswater.com/DWT_abstracts/vol_116/116_2018_187.pdf

IDEAM. (2017). *Instructivo de ensayo. Solidos disueltos totales secados a 180ºC SM 2540 C*. http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/97658415/M-S-LC-I019+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+DETERMINACI%C3%93N+S%C3%93LIDOS+DISUELTOS+TOTALES.pdf/7db56291-92b7-430b-a67e-90a60a5637ad?version=1.0#:~:text=Lavar%20el%20filtro%20con%20tres%20vol%C3%BAmenes%20sucesivos%20de%2010%20mL,exceso%20de%20humedad%20del%20filtro.&text=Transferir%20el%20filtrado%20total%20incluyendo,temperatura%20de%20ebullici%C3%B3

Infraestructura de Datos Espaciales. (2022). *Definición de zona rural.* https://www.ideca.gov.co/recursos/glosario/zona-rural

Inga, G. (2019). *Disminución de coliformes totales y turbidez mediante coagulantes naturales (Opuntia ficus indica) del río cunas, provincia de Chupaca.* https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5540

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). *Clasificación Nacional de Áreas Geoestadísticas Estatales*. https://www.inegi.org.mx/

Jiménez, L., Arias, B., Arias, M., y Reyes, Á. (2024). *Relación empírica entre sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica en las piscinas de cultivo piscícola del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica de la Universidad Estatal Amazónica*. https://doi.org/10.55204/trj.v3i1.e25

Kawahara, M., Tanaka, K., y Kato-Negishi M. (2021). *Neurotoxicidad del aluminio y su vínculo con enfermedades neurodegenerativas.* https://doi.org/10.11299/metallomicsresearch.MR202104

Massa, L. (2019). *Semillas de Guanábana (anona muricata) como coagulante-floculante orgánico en el tratamiento de aguas residuales domésticas del cercado de Ica. (2019)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional "San Luis Gonzaga"]. https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/953a2635-fedb-4114-b833-90d0e8110536/content

Mesa, C. y Palacio, J. (2021). *Uso de la Moringa oleifera como coagulante alternativo en la potabilización de agua en zonas rurales de Colombia.* https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/2318/Informe%20Jorge%20Palacio_Cesar%20Mesa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mestanza, I. (2022). *Comparación de la eficiencia en la reducción de turbidez del agua usando la penca sábila (Aloe vera) respecto al nopal (Opuntia ficus-indica) en el Distrito de Cumba, Utcubamba – Amazonas, 2022.* https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/3609/Iris%20Thalia%20Mestanza%20Inga%20-%20FICIAM.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019*). La realidad del acceso al agua en zonas rurales de Colombia.* https://asirsaba.com.co/2019/02/la-realidad-del-acceso-al-agua-en-zonas-rurales-de-colombia/

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *"Tenemos el 50 % de los páramos del mundo": ministerio de Ambiente en el Día de las Montañas*. https://www.minambiente.gov.co/tenemos-el-50-de-los-paramos-del-mundo-ministro-de-ambiente-en-el-dia-de-las-montanas/

Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). *Abecé del agua y saneamiento básico.* https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/abc-agua.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (2018). *Plan Nacional de Salud Rural.* https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PES/msps-plan-nacional-salud-rural-2018.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2023). *Rendición de cuentas 2023.* https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/231117_informe-rendicion-de-cuentas-mvct-1.pdf

Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C., y Escobar, J. (2011). *Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización.* https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3822425.pdf

Moreno, J. (2020). *Los retos del acceso a agua potable y saneamiento básico de las zonas rurales en Colombia*. https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/rdi/article/view/7488/7888

López, M. (2018). *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas.* https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3541

Naciones Unidas. (2022). *Derechos humanos al agua potable y al saneamiento.* https://www.ohchr.org/sites/default/files/2022-10/A-77-167-Friendly-version-Rural-Areas-Laura-Parisotto-Spanish_1.pdf

Nazarit, M., y Vargas, I. (2019*). Catalogo virtual de flora del Valle de Aburrá. (2014)*. https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/26922/%20%09ilvargasp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Odlare, M. (2014). *Introductory Chapter for Water Resources.* https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09035-7

Olaeta, J., Schwartz, P., Undurraga, M. & Contreras, S. (2007). *Utilización de la semilla de palta (Persea americana Mill.) como producto agroindustrial.* https://www.avocadosource.com/wac6/es/Extenso/4b-198.pdf

Olivera, D. (2022). *Aplicación del coagulante natural áloe vera como tratamiento terciario en la PTAR – Jauja*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11493/1/IV_FIN_107_TE_Olivera_Huaman_2022.pdf

Olvera, P. y Hernández, L. (s.f.). *El caolín y sus aplicaciones industriales.* https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e1.html

Oré, L., Evangelista, E., Arostegui, J., Loarte, W., y Quispe, M. (2024). *Efecto de coagulantes y floculantes en la remoción de turbidez de aguas de ríos contaminadas.* https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2023.03.02

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2022). *Preliminary policy highlights, OECD Rural Policy Review, Colombia.* https://www.oecd.org/regional/rural-development/Rural-Policy-Review-Colombia-PH-EN.pdf

Organización Mundial de la Salud. (2023). *Agua para consumo humano*. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Miles de millones de personas se quedarán sin acceso a servicios de agua potable, saneamiento e higiene antes de 2030 a menos que el progreso se multiplique por cuatro, advierten la OMS y UNICEF*. https://www.who.int/es/news/item/01-07-2021-billions-of-people-will-lack-access-to-safe-water-sanitation-and-hygiene-in-2030-unless-progress-quadruples-warn-who-unicef

Orihuela, H., y Ivonne, K. (2019). *Remoción de metales en agua residual minera por medio de coagulante natural de escama de pescado*. https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/32001

Ospina, O. y Cardona, O. (2020). *Evaluación de la contaminación por aluminio del agua para consumo humano, región central de Colombia.* http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.2.2021.04

Okuda, T., & Ito, H. (2011). *Tannins of constant structure in medicinal and food plants—hydrolyzable tannins and polyphenols related to tannins.* https://doi.org/10.3390/molecules16032191

Ortega, C. (2023). *¿Qué es el coeficiente de correlación de Pearson?*. https://www.questionpro.com/blog/es/coeficiente-de-correlacion-de-pearson/

Pérez, H., & Mario, A. (2019). *Polisacáridos del gel de Aloe vera L. como floculante en tratamiento de aguas.* https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5093

Pérez, J. (2017). *Evaluación de la sustitución del agente coagulante - sulfato de aluminio- en el proceso actual de coagulación-floculación de agua potable en la empresa. EAF SAS ESP.* https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6371/1/6112811-2017-2-IQ.pdf

Ramesh, V. y Kumar, A. (2019). *Moringa oleífera as a natural coagulant.* https://www.ijariit.com/manuscripts/v5i2/V5I2-1830.pdf

Ramirez, H. y Jaramillo, J. (2015). *Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua.* file:///C:/Users/57310/OneDrive/Documentos/Trabajo%20de%20grado/Agentes%20naturales%20como%20coagulantes.pdf

Romero, M. (2022). *Estudio de la eficiencia de los coagulantes naturales con respecto a los coagulantes sintéticos utilizados en el tratamiento de agua potable.* https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/39218/1/Trabajo-de-Titulaci%C3%B3n.pdf

Romero, L. (2021). *El agua, problema creciente; disminuye su disponibilidad. Gaceta.* https://www.gaceta.unam.mx/el-agua-problema-crecientedisminuye-su-disponibilidad/

Ruiz, E. Oré, L. Vega, M. Ángulo, A. Ruiz, C. García, G y Diaz, J. (2022). *Aloe Vera (L.) como floculante para remoción de turbidez de aguas superficiales.*

https://docs.bvsalud.org/biblioref/2022/10/1397154/508-1565-1-pb.pdf#:~:text=El%20uso%20de%20agentes%20naturales,la%20remoci%C3%B3n%20de%20la%20turbidez

Ryan, U., Paparini, A., y Oskam, C. (2017). *Una Ryan: Sobre la importancia del agua potable limpia.* https://doi.org/10.1016/j.pt.2017.03.007

Saravia, S. Gil, M. Sarmanto, N. Blanco, E. Llavona, A. & Naranjo, L. (2022). *Brechas, desafíos y oportunidades en materia de agua y género en América Latina y el Caribe*. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5d8e3c04-d7c2-4bba-bcb6-3a0c39778c08/content

Saravanakumar, A., Ganesh, M., Peng M, Aziz, A., y Jang H. (2015) *Actividades antioxidantes y antimicobacterianas comparativas de extractos de frutas deOpuntia ficus-indicade las estaciones de verano y lluvias.* https://doi.org/10.1080/21553769.2015.1028655

Sela, I. (2018). *La coagulación en el tratamiento de aguas.* https://cropaia.com/es/blog/la-coagulacion-en-el-tratamiento-de-aguas/

Severiche Sierra, C. A., Castillo Bertel, M. E., & Acevedo Barrios, R. L. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas*. https://www.researchgate.net/publication/329153132_Manual_de_Metodos_Analiticos_para_la_Determinacion_de_Parametros_Fisicoquimicos_Basicos_en_Aguas

Silva, F. (2023). *Gestión del conflicto por el recurso hídrico: Análisis y comprensión de los actores desde su entorno*. https://doi.org/10.37467/revhuman.v19.4925

Sotheeswaran, S., Nand, V., Maata, M., & Kanayathu, K. (2011). *Moringa oleifera and Other Local seeds in Water Purification in Developing Countries.* https://www.researchgate.net/publication/255484408_Moringa_oleifera_and_Other_Local_seeds_in_Water_Purification_in_Developing_Countries

Snowate. (2024). *Conversión flexible entre TDS y EC*. https://www.snowate.com/es/knowledge-calculator/calculator/tds-ec-conversion.html

Srivastav, A. y Caer, T. (2020). *Factores que afectan la formación de subproductos de la desinfección en el agua potable: riesgo para la salud humana.* https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102977-0.00019-6

Tejado, M., y Olmos, A. (2014). *El derecho humano al agua potable y saneamiento.* https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2019-08/Derecho-Humano-Agua-PS.pdf

Vanegas, B. y López, N. (2020). *Recopilación del uso de coagulantes naturales para remoción de turbiedad en aguas en América latina.* https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/26571/VanegasLeonBrayanStiveNayibeAlexandraLopezMontoya2021.pdf?isAllowed=y&sequence=11

Yin, C.-Y. (2010). *Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment.* https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030

Zapata, M. (2018). *Impacto económico de la falta e inadecuada calidad del agua potable y del saneamiento: informe panamá.* https://www.academia.edu/44943708/IMPACTO_ECON%C3%93MICO_DE_LA_FALTA_E_INADECUADA_CALIDAD_DEL_AGUA_POTABLE_Y_DEL_SANEAMIENTO_INFORME_PANAM%C3%81

# Apéndice

**Apéndice A.** *Características físicas y químicas del agua para consumo humano del acueducto de Guadualejo*

El acueducto de la vereda Guadualejo, localizado en la zona rural del municipio de Guadalajara de Buga, abastece a la comunidad con agua proveniente del afluente denominado El Orégano.

El sistema de potabilización implementado en el acueducto incluye las siguientes etapas básicas: captación, desinfección, almacenamiento en tanque y distribución a los usuarios finales. Sin embargo, debido a la ausencia de procesos de tratamiento más avanzados, como coagulación-floculación, sedimentación y filtración, el agua suministrada podría no cumplir con todos los estándares establecidos en la normatividad nacional para agua potable, como lo señala la Resolución 2115 de 2007.

A continuación, se presenta un resumen de las características físicas y químicas evaluadas en el agua para consumo humano del acueducto de Guadualejo (tabla 13).

***Tabla 13***.

*Parámetros fisicoquímicos del agua de la vereda Guadualejo*

| **pH** | **Conductividad eléctrica (Micros/cm)** | **Alcalinidad (mg/L)** | **Turbiedad (NTU)** | **Sólidos disueltos (mg/L)** |
|---|---|---|---|---|
| 7,03 | 87,09 | 64 | 7,71 | 55,74 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 7,31 | 85,21 | 62 | 7,77 | 54,53 |
| 7,53 | 85,32 | 64 | 7,53 | 54,60 |

**Apéndice B.** *Características físicas y químicas máximas permisibles de agua para consumo humano.*

**Tabla 14.**

*Resolución 2115 de 2007*

| **Parámetro** | **Característica** | **Expresadas como** | **Valor máximo aceptable** |
|---|---|---|---|
| Turbiedad | Física | UNT | 2 |
| Alcalinidad total | Química | $CaCO_3$ | 200 mg/L |

Artículo 3º. Conductividad. El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm. Este valor podrá ajustarse según los promedios habituales y el mapa de riesgo de la zona. Un incremento de los valores habituales de la conductividad superior al 50% en el agua de la fuente, indica un cambio sospechoso en la cantidad de sólidos disueltos y su procedencia debe ser investigada de inmediato por las autoridades sanitaria y ambiental competentes y la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano.

Artículo 4°. Potencial de hidrógeno. El valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.

**Apéndice C.** *Resultados de pruebas tras aplicar los coagulantes naturales*

**Tabla 15.**

*Resultados de la prueba N°1 tras aplicar sábila (Aloe vera) como coagulante*

| **Prueba** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Coagulante natural utilizado | | | | | | | | | | | | Sábila | | | | | |
| Jarra | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | |
| Dosis (mg/L) | 13600 | | | 25400 | | | 35200 | | | 46000 | | | 68000 | | | 108000 | | |
| Turbiedad (NTU) | 50 | 48,3 | 45,8 | 46 | 45,46 | 44,4 | 46,2 | 44,5 | 45 | 45,4 | 46,9 | 46,7 | 46,1 | 44,4 | 40,9 | 47,6 | 44,6 | 45,74 |
| Conductividad (µS/cm) | 173,3 | 110 | 106 | 107 | 104,9 | 105 | 104 | 105 | 103 | 110 | 106 | 105 | 111 | 105 | 107 | 107 | 104 | 103,9 |
| pH | 6,54 | 7,07 | 7,25 | 7,5 | 7,52 | 7,66 | 7,32 | 7,46 | 7,7 | 7,69 | 7,62 | 7,74 | 7,48 | 7,56 | 7,74 | 7,47 | 7,64 | 7,77 |
| Alcalinidad (mg/L) | 82 | 84 | 96 | 88 | 88 | 96 | 88 | 90 | 92 | 82 | 70 | 80 | 78 | 84 | 68 | 74 | 72 | 80 |
| Sólidos disueltos (µS/cm) | 110,91 | 70,4 | 67,84 | 68,48 | 67,13 | 67,2 | 66,56 | 67,2 | 65,92 | 70,4 | 67,84 | 67,2 | 71,04 | 67,2 | 68,48 | 68,48 | 66,56 | 65,92 |

**Tabla 16.**

*Resultados de la prueba N°2 tras aplicar sábila (Aloe vera) como coagulante*

| **Prueba** | **2** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coagulante natural utilizado | Sábila | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jarra | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | |
| Dosis (mg/L) | 13600 | | | 25400 | | | 35200 | | | 46000 | | | 68000 | | | 108000 | | |
| Turbiedad (NTU) | 21,4 | 20,4 | 20,7 | 23 | 23,49 | 22,1 | 20,2 | 20,3 | 22 | 22,4 | 20,7 | 20,4 | 22,3 | 24 | 22,8 | 23,6 | 23 | 21,39 |
| Conductividad (µS/cm) | 114,8 | 113 | 113 | 113 | 113,3 | 113 | 114 | 113 | 113 | 114 | 114 | 114 | 114 | 113 | 113 | 113 | 113 | 113,1 |
| pH | 6,46 | 6,83 | 6,79 | 6,5 | 6,4 | 6,49 | 6,58 | 6,79 | 6,6 | 7,08 | 6,59 | 6,73 | 6,91 | 6,82 | 6,89 | 7,62 | 7,66 | 7,13 |
| Alcalinidad (mg/L) | 80 | 90 | 80 | 80 | 88 | 88 | 90 | 86 | 84 | 90 | 80 | 74 | 88 | 84 | 86 | 80 | 88 | 80 |
| Sólidos disueltos (µS/cm) | 73,47 | 72,32 | 72,32 | 72,32 | 72,51 | 72,32 | 72,96 | 72,32 | 72,32 | 72,96 | 72,96 | 72,96 | 72,96 | 72,32 | 72,32 | 72,32 | 72,32 | 72,38 |

**Tabla 17**.

*Resultados de la prueba N°3 tras aplicar sábila (Aloe vera) como coagulante*

| **Prueba** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **3** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Coagulante natural utilizado | | | | | | | | | | | | Sábila | | | | | |
| Jarra | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | |
| Dosis (mg/L) | 13600 | | | 25400 | | | 35200 | | | 46000 | | | 68000 | | | 108000 | | |
| Turbiedad (NTU) | 52 | 54 | 42,5 | 49 | 50 | 47,3 | 43,3 | 46,7 | 43 | 41,3 | 42 | 37 | 40,7 | 40,6 | 42,1 | 41,3 | 41,2 | 42,19 |
| Conductividad (µS/cm) | 117,2 | 133 | 117 | 125 | 119,8 | 118 | 119 | 117 | 118 | 137 | 134 | 123 | 127 | 144 | 124 | 123 | 122 | 123,2 |
| pH | 6,79 | 6,69 | 6,5 | 7,3 | 7,63 | 6,67 | 6,47 | 5,5 | 6,2 | 6,74 | 6,65 | 5,67 | 6,93 | 7,36 | 6,62 | 7,04 | 7,02 | 6,98 |
| Alcalinidad (mg/L) | 86 | 96 | 84 | 90 | 90 | 80 | 96 | 88 | 94 | 84 | 80 | 82 | 74 | 80 | 78 | 90 | 80 | 84 |
| Sólidos disueltos (µS/cm) | 75,0 | 85,12 | 74,88 | 80 | 76,67 | 75,52 | 76,16 | 74,88 | 75,52 | 87,68 | 85,76 | 78,72 | 81,28 | 92,16 | 79,36 | 78,72 | 78,08 | 78,84 |

**Tabla 18.**

*Resultados de la prueba N°4 tras aplicar sábila (Aloe vera) como coagulante*

| **Prueba** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **4** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coagulante natural utilizado | Sábila | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jarra | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | |
| Dosis (mg/L) | 13600 | | | 25400 | | | 35200 | | | 46000 | | | 68000 | | | 108000 | | |
| Turbiedad (NTU) | 60,2 | 58,1 | 62 | 61 | 65 | 64,5 | 58,4 | 60,1 | 59 | 62,4 | 60,3 | 59,8 | 60 | 58,9 | 59 | 58,5 | 58,2 | 60,4 |
| Conductividad (µS/cm) | 109,4 | 109 | 110 | 108 | 106,7 | 105 | 106 | 102 | 101 | 106 | 110 | 102 | 108 | 109 | 106 | 110 | 104 | 106,5 |
| pH | 7,08 | 7,65 | 6,95 | 7,4 | 7,1 | 7,24 | 6,89 | 7,11 | 7,3 | 7,54 | 7,53 | 7,6 | 7,54 | 7,32 | 7,79 | 7,27 | 7,78 | 7,18 |
| Alcalinidad (mg/L) | 81 | 80 | 82 | 80 | 87 | 83 | 85 | 85 | 83 | 84 | 88 | 81 | 80 | 86 | 90 | 86 | 83 | 89 |
| Sólidos disueltos (µS/cm) | 70,01 | 69,76 | 70,4 | 69,12 | 68,28 | 67,2 | 67,84 | 65,28 | 64,64 | 67,84 | 70,4 | 65,28 | 69,12 | 69,76 | 67,84 | 70,4 | 66,56 | 68,16 |

**Tabla 19.**

*Resultados de la prueba N°1 tras aplicar semillas de guanábana (Annona Muricata) como coagulante*

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Prueba** | | | | | | | | | | | | **1** | | | | | |
| | Coagulante natural utilizado | | | | | | | | | | | | Semillas de guanábana | | | | | |
| Jarra | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | |
| Dosis (mg/L) | 13600 | | | 25400 | | | 35200 | | | 46000 | | | 68000 | | | 108000 | | |
| Turbiedad (NTU) | 46,98 | 50,67 | 55,87 | 60 | 47,68 | 40,41 | 41,62 | 40,08 | 45,73 | 41,47 | 41,32 | 50,57 | 57 | 47,88 | 48,32 | 50 | 55 | 52 |
| Conductividad (µS/cm) | 150,6 | 154,3 | 155,8 | 150 | 158,4 | 151,1 | 149,8 | 155,6 | 147,2 | 151,7 | 155,2 | 153 | 158,7 | 154,2 | 159 | 156,8 | 158,9 | 150,6 |
| pH | 6,5 | 5,29 | 6,28 | 6,43 | 6,4 | 6,1 | 6,6 | 6,35 | 5,96 | 6,43 | 6,52 | 6,24 | 6,39 | 6,5 | 6,8 | 7 | 6,87 | 6,9 |
| Alcalinidad (mg/L) | 92 | 96 | 88 | 98 | 97 | 110 | 110 | 98 | 94 | 98 | 100 | 96 | 89 | 92 | 96 | 98 | 110 | 100 |
| Sólidos disueltos (µS/cm) | 96,38 | 99,39 | 99,52 | 96 | 101,37 | 96,70 | 95,87 | 99,58 | 94,20 | 97,08 | 99,32 | 97,92 | 101,56 | 98,68 | 101,76 | 100,35 | 101,69 | 96,38 |

**Tabla 20.**

*Resultados de la prueba N°2 tras aplicar semillas de guanábana (Annona Muricata) como coagulante*

| **Prueba** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coagulante natural utilizado | Semillas de guanábana | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jarra | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | |
| Dosis (mg/L) | 13600 | | | 25400 | | | 35200 | | | 46000 | | | 68000 | | | 108000 | | |
| Turbiedad (NTU) | 19,54 | 18,45 | 20,2 | 17,45 | 18,5 | 18,98 | 21,34 | 20,45 | 19,36 | 18,56 | 17,24 | 20 | 22,4 | 21,2 | 18,9 | 17,45 | 18,98 | 20,1 |
| Conductividad (µS/cm) | 152,3 | 154,2 | 156,3 | 152,4 | 153,5 | 155,3 | 149,6 | 151,1 | 152,5 | 151,8 | 153,4 | 155,7 | 150,3 | 145,3 | 132,8 | 140,2 | 133,4 | 135,7 |
| pH | 5,8 | 6 | 6,27 | 6,1 | 6,36 | 6,15 | 6,62 | 6,7 | 6,4 | 6,87 | 6,4 | 6,3 | 6,47 | 6,42 | 6,35 | 6,9 | 7,1 | 6,8 |
| Alcalinidad (mg/L) | 96 | 88 | 86 | 97 | 100 | 98 | 96 | 88 | 96 | 100 | 86 | 96 | 88 | 88 | 92 | 88 | 98 | 92 |
| Sólidos disueltos (µS/cm) | 97,47 | 98,68 | 100,03 | 97,53 | 98,24 | 99,39 | 95,74 | 96,70 | 97,6 | 97,15 | 98,17 | 99,64 | 96, 19 | 92,99 | 84,99 | 89,72 | 85,37 | 86,84 |

**Tabla 21.**

*Resultados de la prueba N°3 tras aplicar semillas de guanábana (Annona Muricata) como coagulante*

| **Prueba** | | | | | | | | | | **3** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Coagulante natural utilizado | | | | | | | | | | Semillas de guanábana | | | | | | | | |
| Jarra | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | |
| Dosis (mg/L) | 13600 | | | 25400 | | | 35200 | | | 46000 | | | 68000 | | | 108000 | | |
| Turbiedad (NTU) | 70,02 | 68,98 | 71,24 | 73,89 | 75 | 88,56 | 75 | 89,45 | 79,12 | 83,2 | 80 | 78 | 82,1 | 78,02 | 75 | 70,23 | 72,98 | 73,56 |
| Conductividad (µS/cm) | 152,4 | 154,1 | 156,3 | 151,9 | 153,5 | 155 | 149,5 | 148,7 | 152,9 | 151,7 | 143,6 | 155,3 | 156,5 | 137,4 | 138,1 | 140,6 | 142,8 | 147,2 |
| pH | 5,9 | 6 | 6,2 | 6,2 | 6,3 | 6,5 | 6,2 | 6,3 | 6,5 | 6,3 | 6,5 | 6,6 | 6,5 | 6,6 | 6,8 | 6,5 | 7 | 6,9 |
| Alcalinidad (mg/L) | 110 | 120 | 96 | 100 | 98 | 110 | 98 | 100 | 100 | 98 | 96 | 84 | 100 | 92 | 98 | 120 | 110 | 120 |
| Sólidos disueltos (µS/cm) | 97,53 | 98,62 | 100,03 | 97,21 | 98,24 | 99,2 | 95,68 | 95,16 | 97,85 | 97,08 | 91,90 | 99,39 | 100,16 | 87,93 | 88,38 | 89,98 | 91,39 | 94,20 |

**Tabla 22.**

*Resultados de la prueba N°4 tras aplicar semillas de guanábana (Annona Muricata) como coagulante*

| **Prueba** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **4** | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coagulante natural utilizado | Semillas de guanábana | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jarra | 1 | | | 2 | | | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 6 | | |
| Dosis (mg/L) | 13600 | | | 25400 | | | 35200 | | | 46000 | | | 68000 | | | 108000 | | |
| Turbiedad (NTU) | 63,78 | 69,98 | 72,56 | 75,45 | 80,23 | 81,87 | 75,01 | 75,04 | 77,45 | 80,02 | 79,45 | 75,98 | 69,56 | 60,45 | 66,47 | 71,23 | 68,65 | 70,34 |
| Conductividad (µS/cm) | 153,2 | 155 | 156,4 | 152,3 | 154,1 | 155,2 | 150,3 | 151,6 | 152,8 | 152,8 | 153,9 | 155,7 | 157,2 | 158,3 | 159,4 | 155,1 | 156,6 | 157,8 |
| pH | 6,2 | 6 | 6,3 | 6,2 | 6,3 | 6,5 | 6,2 | 6,3 | 6,4 | 6,3 | 7,1 | 6,6 | 6,4 | 6,6 | 6,7 | 6,8 | 6,9 | 7 |
| Alcalinidad (mg/L) | 98 | 96 | 84 | 96 | 88 | 90 | 92 | 86 | 98 | 100 | 88 | 84 | 84 | 86 | 92 | 100 | 98 | 88 |
| Sólidos disueltos (µS/cm) | 98,04 | 99,2 | 100,09 | 97,47 | 98,62 | 99,32 | 96,19 | 97,02 | 97,79 | 97,79 | 98,49 | 99,64 | 100,60 | 101,31 | 102,01 | 99,26 | 100,22 | 100,99 |