

**ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA MEZCLA DE SULFATO DE ALUMINIO Y
COAGULANTES NATURALES Y SU IMPACTO EN EL TAMAÑO DE LOS FLOCS**

Sara Alejandra Castellanos Castaño

Juan Diego Morantes Vija

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja

Trabajo De Grado

Ing. Mónica Helena Rodríguez Mesa

10 de enero del 2024

Nota de aceptación:

Firma Jurado

Firma Jurado

Firma Jurado

Tunja, enero 10 del 2024

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a nuestros padres por su apoyo incondicional, paciencia y compromiso en el paso por la facultad de Ingeniería Civil. La dedicación que nos inculcaron y la perseverancia con la que nos educaron nos permitieron llegar a ser parte de la generación del cambio para el país. Ellos tienen gran mérito en que lleguemos a ser profesionales.

A nuestros compañeros y amigos quienes fueron parte fundamental en nuestro crecimiento personal. Las experiencias compartidas forjaron el carácter y la firmeza con la que asumiremos los retos que se nos presenten de ahora en adelante. Esperamos reencontrarlos a lo largo de la vida laboral llevando en alto el nombre de la Universidad Santo Tomas al igual que los valores éticos que la caracterizan.

Sara Castellanos y Juan Diego Morantes

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios, por darnos la oportunidad de estudiar una carrera tan prestigiosa como lo es la Ingeniería Civil con todas las condiciones para desempeñarla de la mejor forma posible.

A la universidad por darnos las herramientas necesarias para nuestra formación humana y profesional, de manera que siempre estamos en búsqueda de ayudar a la sociedad con cada una de las actividades que desarrollamos, a la ingeniera Mónica por su apoyo y dirección en las diferentes etapas del proyecto para poder culminar y llegar a cabo nuestra opción de grado.

Y por último a nuestro laboratorista quien guio de la mejor manera nuestro conocimiento en la elaboración de la parte práctica, así mismo agradecemos a todas aquellas personas que aportaron su granito de arena en los diferentes elementos que componen un trabajo de grado, por mostrar siempre un punto de vista que nos permitiera ser más claros, concisos pero principalmente sencillos, de manera que cualquier persona que quiera aprender sobre el tratamiento de aguas y las diferentes prácticas que se emplearon en este proyecto pueda hacerlo.

Sara Castellanos y Juan Diego Morantes

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1. Justificación	11
2. Objetivos	13
2.1 Objetivo General.....	13
2.2 Objetivos Especifico	13
3. Marco Teórico	14
4. Metodología.....	21
4.1. Primera Fase: Elección De Metodología.....	21
4.1.1. Test De Jarras Con Haba Molida.....	22
4.1.2. Test De Jarras Con Haba Molida Y Policloruro De Aluminio	25
4.1.3. Test De Jarras Con Haba En Solución	30
4.1.4. Test De Jarras Con Haba En Solución Y Sulfato De Aluminio	36
4.2. Segunda Fase: Búsqueda De Dosificación Optima.....	38
4.2.1. 70% Haba – 30% Sulfato De Aluminio	39
4.2.2. 50% Haba – 50% Sulfato De Aluminio	42
4.3. Tercera Fase: Comparación De Floccs	48
4.3.1. Floculación del Nopal	49
4.3.2. Floculación de la solución de haba y sulfato de aluminio.....	51
4.3.3. Floculación del Nopal + Solución de Haba y sulfato de aluminio.....	53
5. Análisis de Resultados.....	54
6. Conclusiones	68
7. Recomendaciones	69
8. Bibliografía.....	70

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del sector en estudio	11
Figura 2. Jarras para aplicación directa del coagulante de haba.	23
Figura 3. Haba resultante del tamiz 200.....	24
Figura 4. Aplicación directa de coagulante de haba, momento 0.....	24
Figura 5. Resultados finales haba directa.	25
Figura 6. Disolución policloruro.....	26
Figura 7. Dosificaciones	27
Figura 8. Resultados más óptimos.....	28
Figura 9. Resultados Segunda ronda de dosificación.....	28
Figura 10. 20% haba en polvo para la dosificación de 15 y 20 mg/L.	29
Figura 11. Resultados finales haba directa + policloruro de aluminio.	29
Figura 12. Haba resultante del tamiz 200.	30
Figura 13. Mezcla de haba con agua.....	31
Figura 14. Mezcla de haba con agua.....	32
Figura 15. Mezcla de haba con agua.....	33
Figura 16. Beakers y su dosis correspondiente.	33
Figura 17. 15min de test de jarras a 40 rpm.	34
Figura 18. 30 min de sedimentación.	35
Figura 19. Mezcla de haba con agua y sulfato.....	37
Figura 20. Sedimentación de haba y sulfato.....	37
Figura 21. Dosificaciones solución de haba.	39
Figura 22. Test de Jarras de 70% - 30%.....	39
Figura 23. 15min de test de jarras a 40 rpm.	40
Figura 24. 30 min de sedimentación	41
Figura 25. Test de Jarras de 50% - 50%.....	42
Figura 26. 15min de test de jarras a 40 rpm	42
Figura 27. 30 min de sedimentación.	43
Figura 28. 120 min de sedimentación 50% - 50%.	46
Figura 29. 120 min de sedimentación 70% - 30%.	47
Figura 30. Resultados más óptimos.....	48
Figura 31. Preparación del nopal.....	49
Figura 32. Comparación de flocs.....	50
Figura 33. Preparación solución de haba y sulfato.....	51
Figura 34. Comparación de flocs.....	52
Figura 35. Comparación de flocs.....	53
Figura 36. Grafica de comparación de Turbiedades	61
Figura 37. Grafica de Comparación de Conductividad.	61
Figura 38. Grafica de Comparación de Color Aparente.....	62
Figura 39. Grafica de Comparación de pH.....	63
Figura 40. Floculación 70% - 30%.....	64
Figura 41. Coagulación 50% - 50%.....	64
Figura 42. Coagulación 70% - 30% + 20 gr de nopal.....	65
Figura 43. Coagulación 50% - 50% + 20 gr de nopal.....	66

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Carta del sulfato de Aluminio.	17
Tabla 2. Valores máximos permisibles en agua potable.	22
Tabla 3. Parámetros iniciales del agua para haba molida.	22
Tabla 4. Parámetros iniciales del agua para haba molida y policloruro de aluminio.	26
Tabla 5. Dosis de coagulante para test de jarras.	27
Tabla 6. Parámetros iniciales del agua para haba en solución.	30
Tabla 7. Parámetros iniciales del agua para haba en solución y sulfato.	36
Tabla 8. Dosis de coagulante para laboratorio	38
Tabla 9. Parámetros iniciales del agua para combinación 50% - 50% y 70% - 30%.	44
Tabla 10. Resultados finales para combinación 70% haba – 30% sulfato.	45
Tabla 11. Resultados finales para combinación 50% haba – 50% sulfato.	45
Tabla 12. Parámetros iniciales del agua para nopal.	49
Tabla 13. Parámetros finales para Nopal en 10 y 20 gr.	50
Tabla 14. Parámetros iniciales del agua para haba en solución.	51
Tabla 15. Parámetros finales para combinación de 70% - 30% y 50% - 50%.	52
Tabla 16. Parámetros iniciales del agua para haba – nopal.	53
Tabla 17. Parámetros finales haba - Nopal en combinación 70% - 30% y 50% - 50%.	54
Tabla 18. Resultados de turbiedad para combinación 70% haba – 30% sulfato de aluminio.	54
Tabla 19. Resultados de turbiedad para combinación 50% haba – 50% sulfato de aluminio.	55
Tabla 20. Resultados de pH para combinación 70% haba – 30% sulfato de aluminio.	56
Tabla 21. Resultados de pH para combinación 50% haba – 50% sulfato de aluminio.	57
Tabla 22. Resultados de conductividad para combinación 70% haba – 30% sulfato de aluminio.	57
Tabla 23. Resultados de conductividad para combinación 50% haba – 50% sulfato de aluminio.	58
Tabla 24. Resultados de color aparente para combinación 70% haba – 30% sulfato de aluminio.	59
Tabla 25. Resultados de color aparente para combinación 50% haba – 50% sulfato de aluminio.	60
Tabla 26. Comparación final de flocs.	67

Resumen

El estudio comparativo de una mezcla de sulfato de aluminio y coagulantes naturales como el haba y su impacto en el tamaño de los floc, está basado en el tratamiento de aguas y el mejoramiento de las condiciones físico - químicas de la misma.

Con el estudio comparativo presentado a continuación, se buscó proponer una alternativa que pudiera satisfacer la necesidad de brindar una mejora en la calidad de agua a los habitantes de la vereda “la toma” del municipio de Sotaquirá, que fuera amigable con el medio ambiente y a la vez económica teniendo en cuenta las condiciones del entorno en el que se desarrolló el proyecto.

En la primera fase se determinó la problemática y las posibles soluciones a la misma. A partir de este punto se consultaron documentos relacionados con el tratamiento de agua y las características de diferentes componentes naturales que pudieran tener alguna efectividad a la hora de eliminar o disminuir parámetros negativos de la misma. Una vez conocida toda la información referente a los posibles coagulantes, se realizó una guía de cómo sería el plan de acción en la aplicación de los coagulantes y los métodos que se usarían en este proceso.

En la segunda fase se hizo uso de los laboratorios para ejecutar lo planeado en el paso anterior y de esta forma empezar a evaluar y comparar los resultados obtenidos. Durante esta fase se dieron algunos cambios como el uso de nopal como segundo agente coagulante y el desarrollo de diferentes estados de la mezcla del haba, con la intención de tener un panorama más amplio en cuanto a la comparación de qué método era más efectivo y aplicable al proyecto.

Por último, en la tercera y última fase del proyecto, se tomaron los resultados obtenidos en el laboratorio y los conceptos aprendidos durante la fase de investigación para plasmar el análisis y conclusión del proceso en el presente trabajo de grado.

Abstract

The comparative study of a mixture of aluminum sulfate and natural coagulants, such as fava bean, focuses on water treatment and the enhancement of the water's physical-chemical conditions. With the comparative study presented below, we aimed to propose an alternative that could improve water quality for the inhabitants of the 'La Toma' district in the municipality of Sotaquirá. This alternative would be environmentally friendly and cost-effective, considering the project's environmental context.

In the first phase, we identified problems and explored potential solutions. We consulted documents related to water treatment and studied the characteristics of various natural components that could effectively eliminate or reduce negative parameters. Once we had gathered information on possible coagulants, we created a guide outlining the plan of action for coagulant application and the methods to be employed in the process.

During the second phase, we conducted laboratory experiments based on the plan developed in the previous step. This allowed us to evaluate and compare the results obtained. Some adjustments were made during this phase, including the use of nopal as a secondary coagulating agent and the exploration of different stages in the bean mixture. Our goal was to gain a comprehensive understanding of which method was more effective and applicable to the project.

Finally, in the third and last phase of the project, we analyzed the results obtained in the laboratory and synthesized the concepts learned during the research phase. These findings informed the conclusion of our degree work.

Introducción

El tratamiento de aguas es un proceso fundamental que contempla diferentes elementos y aspectos, que en conjunto permiten el consumo de este recurso o en su defecto el mejoramiento del cuerpo hídrico más cercano de acuerdo con las condiciones exigidas por el gobierno colombiano en las resoluciones 2115 y 1575 del 2007, de manera que no afecten el ecosistema acuático. En este orden de ideas se presenta “el tratamiento de agua primario” en el cual se eliminan los sólidos gruesos y la materia orgánica, “el tratamiento de agua secundario” que elimina la materia orgánica y los nutrientes y “el tratamiento de agua terciario” que elimina material inorgánico y otros elementos, para lo que se utilizan diferentes procesos físico-químicos según las necesidades.

El objetivo principal del uso de materia orgánica como el haba y el nopal para el tratamiento de aguas en sus diferentes fases, consiste en dar accesibilidad a fuentes hídricas potables, a comunidades retiradas que no cuenten con muchos recursos, haciendo uso de productos de fácil acceso.

En el desarrollo del proyecto se planteó el uso de haba triturada en solución, como en combinación con sulfato de aluminio, de manera que disminuyera de forma sustancial la turbiedad y la presencia de cuerpos suspendidos (flocs), minimizando la función principal de coagulantes químicos, tomando como referencia investigaciones de distintos autores y ensayos experimentales que respaldaran la eficiencia de las soluciones anteriormente mencionadas.

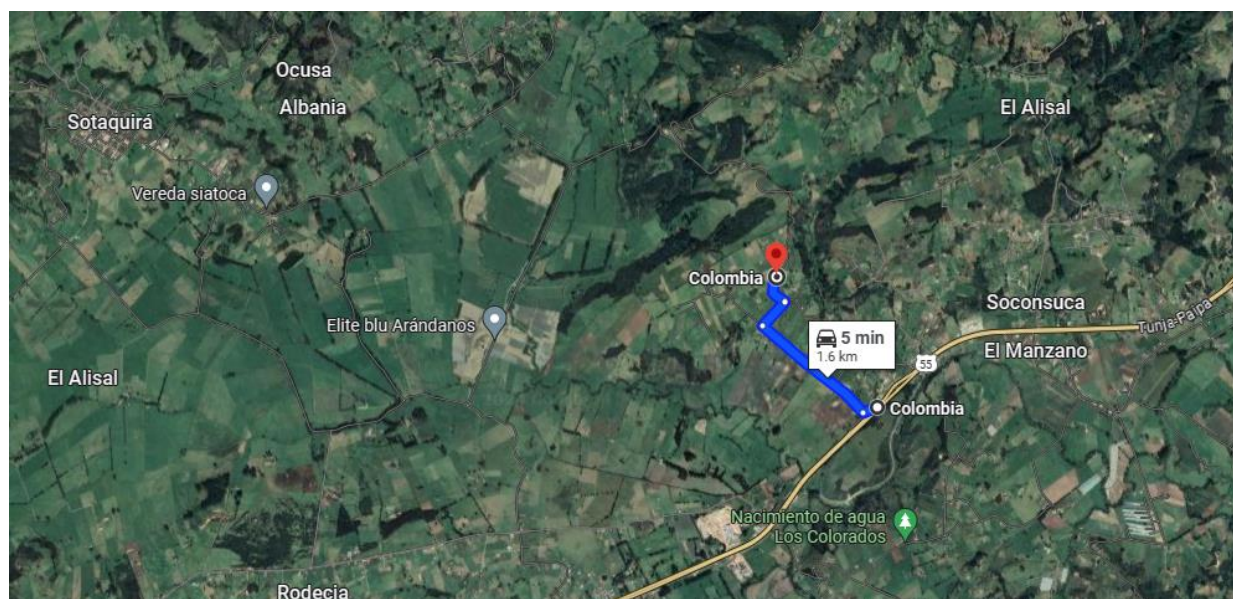
La implementación de equipos de gradación tipo A certificados o tipo B es fundamental para el desarrollo, evaluación y experimentación, es así que, se tengan dosis con mayor eficiencia, elementos con los que se contó en los laboratorios de aguas de la Universidad Santo Tomás, teniendo en cuenta los estándares generales de los distintos manuales.

1. Justificación

En las plantas de tratamiento de agua, es necesario hacer uso de coagulantes para la separación de los sólidos suspendidos y la materia orgánica natural (MON), con el fin de mejorar la claridad del agua y reducir la turbidez. Por lo general se hace uso de sulfato de aluminio u otros agentes químicos. La implementación de estos coagulantes para el proceso de potabilización del agua puede generar una serie de problemas de salud pública y ambiental.

Con relación a lo anterior en el sector de “La toma” en Sotaquirá la comunidad ubicada a 1.6 km de la vía Tunja – Paipa reportó irregularidades en las características del agua potable, ya que se evidenció un color amarillo-verdoso además de un sabor anormal, el cual es mitigado mediante la compra de filtros que cuentan con distintas capas granulares, solución que no es económicamente viable para todos los habitantes de esta comunidad por el costo elevado. La presencia de una represa aguas arriba permite la captación del agua para su posterior distribución, pero en este recorrido no se evidenció una planta de ningún tipo que garantice que es óptima o al menos segura la ingesta del agua en estas condiciones.

Figura 1. Ubicación del sector en estudio



Nota. Vista aérea ser sector en estudio. Fuente: Google Maps (2023).

El uso de coagulantes naturales como la semilla de moringa, el haba, el nopal o la cáscara de plátano, son eficaces en la eliminación de materia orgánica suspendida en el agua, por tal razón en la presente investigación se aplicó almidón de haba como coagulante, que al ser natural y biodegradable contrarresta un poco la problemática ambiental expuesta, dado que con el tiempo no se encontrarán residuos y cumple con la eliminación de partículas.

Los ensayos estandarizados como el test de jarras arrojaron resultados que posteriormente fueron comparados con los valores aceptables en la normativa “DECRETO 1575 DEL 2007”, la cual expone los valores máximos permisibles para los diferentes parámetros físicos-químicos, microbiológicos y radiológicos del agua para consumo humano en Colombia.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar alternativas de posibles coagulantes a partir de materia orgánica y comparar el tamaño de los flocs, para proponer una variante en el proceso de pretratamiento de agua potable en la zona de estudio.

2.2 Objetivos Especifico

- Medir el impacto de diferentes mezclas de coagulante natural con y sin sulfato de aluminio evaluando el impacto en remoción de turbiedad y color aparente.
- Realizar un análisis visual y comparativo de cómo se ve afectada la formación y tamaño de los flocs con el uso de coagulantes naturales.
- Relacionar el uso de la materia orgánica con los efectos que puedan presentar los diferentes parámetros definidos por la norma en el postratamiento.

3. Marco Teórico

Según la resolución 2115 de 2007 la potabilización del agua conlleva procesos necesarios para alcanzar la calidad y cumplimiento de los parámetros establecidos en la resolución (MinVivienda). Uno de los objetivos del tratamiento de aguas es la separación de los sólidos suspendidos con el fin de mejorar la claridad del agua y reducir la turbidez. La remoción de flocs en el agua, al igual que la materia orgánica natural (MON) se lleva a cabo mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación convencional (C/F/SED). Dicho proceso requiere el uso de un coagulante, por lo general sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Teniendo en cuenta lo anterior el objetivo del proyecto consistió en hacer uso del almidón de haba para disminuir la cantidad de sulfato de aluminio y a su vez intentar reducir los efectos nocivos que este puede producir en los humanos.

En concordancia se estableció que, es necesario implementar una metodología con enfoque cualitativo, en flexibilidad con una “Investigación de acción - participación” (IAP) con un alcance descriptivo; donde se buscó la efectividad del almidón de haba como coagulante para poder así reducir el porcentaje del uso del sulfato de aluminio, se induce que este estudio se condujo a escala de laboratorio usando ensayo de jarras.

- **Coagulante:** Elementos químicos o de carácter biológico usados en el tratamiento de aguas con el fin de neutralizar sólidos suspendidos presentes en un cuerpo de agua. [1]
- **Floculación:** Proceso que tiene como objetivo agrupar partículas presentes en el agua para posteriormente ser extraídos. [2]
- **Polisacáridos:** Carbohidratos presentes en la materia orgánica en general, compuestos por gran cantidad de azúcares y están unidos por enlaces glucosídicos. [3]

- **Turbiedad:** Parámetro utilizado para medir la cantidad del agua y su potabilidad, su valor puede variar según la presencia de contaminación microbiológica, presencia de compuestos tóxicos, etc. [4]
- **PH:** Es un valor que nos permite establecer el carácter que presenta un agua, ya sea ácida o básica(alcalina). [5]
- **Color aparente:** Parámetro de alta importancia que indica la calidad de un agua, este puede tener un alto impacto según la presencia de materia orgánica natural. [6]
- **Conductividad:** Es un valor que en el tratamiento de agua es realmente importante y que trata de evaluar la posibilidad que tiene un fluido para conducir una corriente eléctrica y que en su defecto demostraría la presencia de sales naturales. [7]
- **Sedimentación:** Proceso resultante de la formación y estabilización de partículas presentes en el agua. [8]
- **Tiempo de contacto:** El tiempo que el fluido permanece en contacto con un elemento del tratamiento o con un agente químico. [9]
- **Concentración de sólidos suspendidos:** Cantidad de cuerpos presentes en un cuerpo de agua definido. [10]
- **Enlaces químicos:** Son elementos que establecen y permiten la unión de moléculas para formar compuestos químicos. [11]

- **Interferencias químicas:** Sustancias químicas que están presentes como fosfatos u otros compuestos los cuales pueden afectar los procesos de coagulación. [12]
- **Carácter hidrofílico:** Capacidad que tiene una partícula de disolverse en un fluido(agua), son capaces de producir hidrógeno y por lo generar son polarizadas. [13]
- **Carácter hidrofóbico:** Es la posibilidad que pueden tener algunas partículas de repeler el agua. [14]
- **Ensayo de jarras:** Estudio del agua que se enfoca en analizar la interacción entre un coagulante y la generación de partículas, los efectos en parámetros de alta importancia y la eficiencia del componente químico - orgánico para cumplir su función. [15]

De acuerdo a la introducción del trabajo de grado con relación al tratamiento de agua potable se establecen 3 momentos: “tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario” los cuales tienen un objetivo específico ya descrito, en el proyecto se analizó la coagulación y floculación, procesos que son desarrollados en el tratamiento primario, se fundamenta en la aplicación de un agente químico que actúa como desestabilizador y a su vez permite la aglomeración de partículas suspendidas en el fluido; los coagulantes más comunes para este proceso son el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato férrico, cloruro férrico, etc.

Entre los efectos asociados al agente desestabilizador propuesto para el desarrollo de este proyecto se encuentran:

Tabla 1. Carta del sulfato de Aluminio.

Identificación	Sulfato de aluminio
Información sobre los riesgos para la salud	• Riesgo de cáncer: No hay evidencia de que el sulfato de aluminio cause cáncer en animales. Esto se basa en los resultados de pruebas que han sido publicados en estudios que están al alcance del departamento de Salud y Servicio • Riesgo para la reproducción: No hay evidencia de que el sulfato de aluminio afecte la reproducción. Esto se basa en los resultados de pruebas que han sido publicados en estudios que están al alcance del departamento de Salud y Servicio • Otro efecto a largo plazo: El sulfato de aluminio puede irritar los pulmones. Es posible que la exposición repetida cause bronquitis, tos, flema y/o falta de aire.
Maneras de reducir la exposición	• Donde sea posible, encierre las operaciones y use ventilación por extracción localizada en el lugar de las emisiones químicas. Sí no se usa ventilación por extracción localizada ni se encierran las operaciones, se deben usar respiradores. • Usar ropa de protección • Lavarse minuciosamente posterior a tener exposición al químico
Equipos de protección individual	• Ropa que cubra todo el cuerpo • Protección para los ojos • Protección respiratoria (de ser necesario)

Fuente: New Jersey Department of Health and Senior Service 2001

La exposición a altas concentraciones de los productos puede generar efectos a largo plazo, por esta razón es necesario establecer dosificaciones y volúmenes fijos que sean óptimos en el tratamiento sin perder de vista los efectos que pueden generar por su consumo.

En el caso del proyecto la falta de una planta de tratamiento y el personal idóneo para la misma en la zona de estudio, llevaría a que la comunidad sea quien entre en contacto con esos químicos para el tratamiento del agua, que como se mencionó anteriormente con el uso incorrecto puede ser nocivo para la salud. Por esa razón uno de los objetivos fue aminorar el riesgo empleando coagulantes naturales.

Este proceso químico se da en dos momentos:

1. El componente químico y natural actúan de forma independiente, donde el agente químico se desempeña como un desestabilizador y neutralizador de partículas beneficiando la formación de flocs. Y, por su parte, el coagulante natural reduce la carga superficial, minimizando la repulsión entre las mismas.
2. El componente químico y natural actúan en conjunto, permitiendo la formación de puentes en una mayor escala, lo que genera que la masa y el volumen de los flocs sea mayor.

El tratamiento de aguas utilizando coagulantes naturales desempeña un papel fundamental en la mejora de la calidad del agua en regiones con recursos limitados y dificultades para acceder a productos químicos industriales. Este enfoque se centra en alternativas respetuosas con el medio ambiente y de bajo costo.

Diversos estudios han demostrado que la *Moringa oleífera* puede eliminar hasta el 96% de la turbidez del agua [16], en comparación a ello el haba tiene un porcentaje de 93.13% de remoción lo que las convierten en opciones sostenibles para comunidades con limitaciones

económicas [17]. Además, existen investigaciones realizadas con coagulantes naturales para su uso en procesos de desinfección, lo que podría reducir la dependencia de productos químicos halógenos.

La moringa, el haba y el nopal muestran similitudes en cuanto a su composición biológica, asemejando los procesos y resultados, lo cual permitió tomar investigaciones sobre el coagulante natural más analizado (moringa), para orientar de la mejor manera el proyecto en algunas limitaciones bibliográficas relacionadas con el haba y el nopal como coagulantes naturales.

A nivel global, se reconoce la importancia de proporcionar agua de calidad para prevenir enfermedades gastrointestinales, especialmente en comunidades desfavorecidas. Varios estudios han evaluado la eficiencia de coagulantes naturales, como la Moringa oleífera, en la clarificación del agua. A pesar de alcanzar altas tasas de remoción de turbidez, es necesario llevar a cabo investigaciones adicionales para garantizar la idoneidad del agua tratada según las normativas locales.

Es importante resaltar que la utilización de coagulantes naturales, puede ofrecer una solución eficiente, económica y respetuosa con el medio ambiente para el tratamiento del agua en regiones con recursos limitados. La búsqueda de alternativas naturales desempeña un papel esencial en la mejora del acceso al agua potable y la protección de la salud pública, en particular en regiones desfavorecidas.

Cabe destacar que a nivel científico aún existen inquietudes sobre la exposición al sulfato de aluminio en el agua potable y su posible relación con la enfermedad de Alzheimer. Aunque algunos estudios han insinuado una asociación entre el sulfato de aluminio y la enfermedad, los resultados son variables y se necesita una mayor investigación para establecer cualquier relación con claridad.

Los municipios en estado de abandono cada vez son más, y la búsqueda por dar el suministro de agua se ha convertido en una carrera contra el tiempo, la población en general junto a los distintos sectores económicos requiere un flujo continuo y fijo de agua para subsistir dignamente y salir adelante junto con sus familias, muchos de estos sectores se caracterizan por no tener acceso a educación superior por lo que la mano de obra calificada es mínima o simplemente no hay.

Colombia se caracteriza por ser uno de los países más diversos en temas de flora y fauna, lo cual permite desarrollar y evaluar distintas metodologías para el tratamiento de aguas que tengan como eje la utilización de los elementos presentes en el ecosistema que a su vez sean renovables.

Los procesos de tratamiento amigables con el ambiente permiten el desarrollo para las comunidades que se interesan por mantener el equilibrio en el ecosistema, dado que en la mayoría de los casos los residuos del tratamiento tienen un segundo uso, tales como la elaboración de ladrillos a partir de lodos residuales del tratamiento de aguas.

La presencia de algunos elementos en la materia vegetal son los que permitirán saber en una primera instancia si una planta "x" puede funcionar y que tanto podría hacerlo, teniendo en cuenta la necesidad presente y en la parte del tratamiento en la que se quiera implementar.

Teniendo en cuenta análisis previos que resaltan a los polisacáridos como los protagonistas para el tratamiento de aguas de una forma eficiente; las propiedades que presenta la materia orgánica para reducir el índice de turbiedad es de sus mayores virtudes, pero estudios demuestran que modifican significativamente valores como el pH y la conductividad principalmente, el haba(vicia faba) al contar con los componentes anteriormente mencionados y tener cargas opuestas a las de las partículas suspendidas en el agua, genera una desestabilización y de esta se empiezan a generar acumulaciones de materia orgánica

(flocs). Generar combinaciones entre coagulantes químicos y naturales puede ayudar en la reducción de costos por volumen además de que su eficiencia puede verse beneficiada.

4. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se plantearon 3 fases importantes: En la primera se exploraron distintos procesos en cuanto a la preparación y el uso del haba como coagulante natural, esto con la intención de comparar por medio del test de jarras el procedimiento que fuera más efectivo a la hora de modificar los parámetros iniciales del agua. Por otro lado, en la segunda fase se tomó el método más eficiente elegido anteriormente y se realizaron laboratorios más específicos, enfocados a recoger datos que permitieran encontrar la dosificación óptima que disminuyera costos y acercara los valores medidos (Color aparente, PH, turbiedad, conductividad), teniendo en cuenta los aceptados por la norma para agua de consumo humano luego del laboratorio. Por último, en la tercera fase se determinó de forma visual el impacto que generó el uso de materia natural como coagulante en la formación, tamaño y sedimentación de flocs, proceso realizado por medio de la comparación de los resultados obtenidos entre la solución de haba y un segundo agente natural (nopal).

4.1. Primera Fase: Elección De Metodología

Dichos parámetros en Colombia están representados en el marco jurídico de calidad del agua por normas y decretos que establecen obligaciones, competencias, responsabilidades y lineamientos para garantizar el suministro de agua potable en la población como en el Decreto 1575 de mayo 9 de 2007 "Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano". [18]

Tabla 2. Valores máximos permisibles en agua potable.

VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES SEGÚN DECRETO 1575 DE 2007		
PARAMETRO	OBLIGATORIO	RECOMENDADO
TURBIEDAD (UNT)	5	2.5
PH	6.5 – 8.5	7
CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1.500	750
COLOR APARENTE (UH)	15	7.5
 Valor Recomentado  Rango Aceptable  No cumple		

Fuente. Propia

En relación con los valores obtenidos se infiere que la elección del método más eficaz fue el resultado directo de la comparación entre las 4 diferentes presentaciones de haba usadas en el laboratorio: Test de jarras con haba molida, Test de jarras con haba molida y sulfato de aluminio, Test de jarras con haba en solución y Test de jarras con haba en solución y sulfato de aluminio. Dichos procedimientos son descritos a continuación.

4.1.1. Test De Jarras Con Haba Molida

En relación con lo anterior, en un primer momento hubo una toma de datos iniciales con ayuda de los equipos de laboratorio, cuyos resultados son presentados en la tabla 3, estos valores fueron necesarios para evaluar los cambios luego del proceso.

Tabla 3. Parámetros iniciales del agua para haba molida.

PARAMETROS INICIALES DEL AGUA					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Pt/Co (Hz)	ng/1
MUESTRA 1	5,05	6,87	0,00	173	< 50
MUESTRA 2	5,43	6,56	0,00	163	<50

PARAMETROS INICIALES DEL AGUA					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	$\mu\text{S/cm}$	Pt/Co (Hz)	ng/l
MUESTRA 3	5,22	6,47	0,00	174	<50
PROMEDIO	5,23	6,63	0,00	170	<50
Valor Recomentado Rango Aceptable No cumple					

Fuente: Propia

Para la preparación del test de jarras se colocaron 1500 ml de la muestra de agua en 4 beakers distintos y se marcaron con la cantidad de coagulante de haba en polvo que se usaría en cada uno (5 gr, 10 gr, 15 gr y 20 gr) respectivamente.

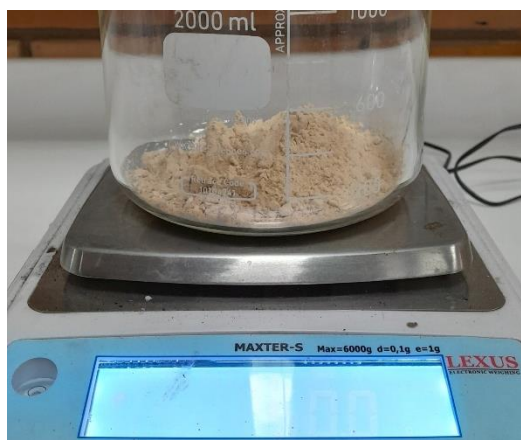
Figura 2. Jarras para aplicación directa del coagulante de haba.



Nota. Muestras de agua tomadas de la vereda La Toma Fuente: Propia

En cuanto al procesamiento del haba para aplicación directa, fue necesario retirar las cascarras del haba para luego poder triturarla y molerla, posteriormente se pasó por tamiz 200 hasta obtener 50gr de la muestra resultante con la granulometría más pequeña ya que solo esta se usaría en la aplicación.

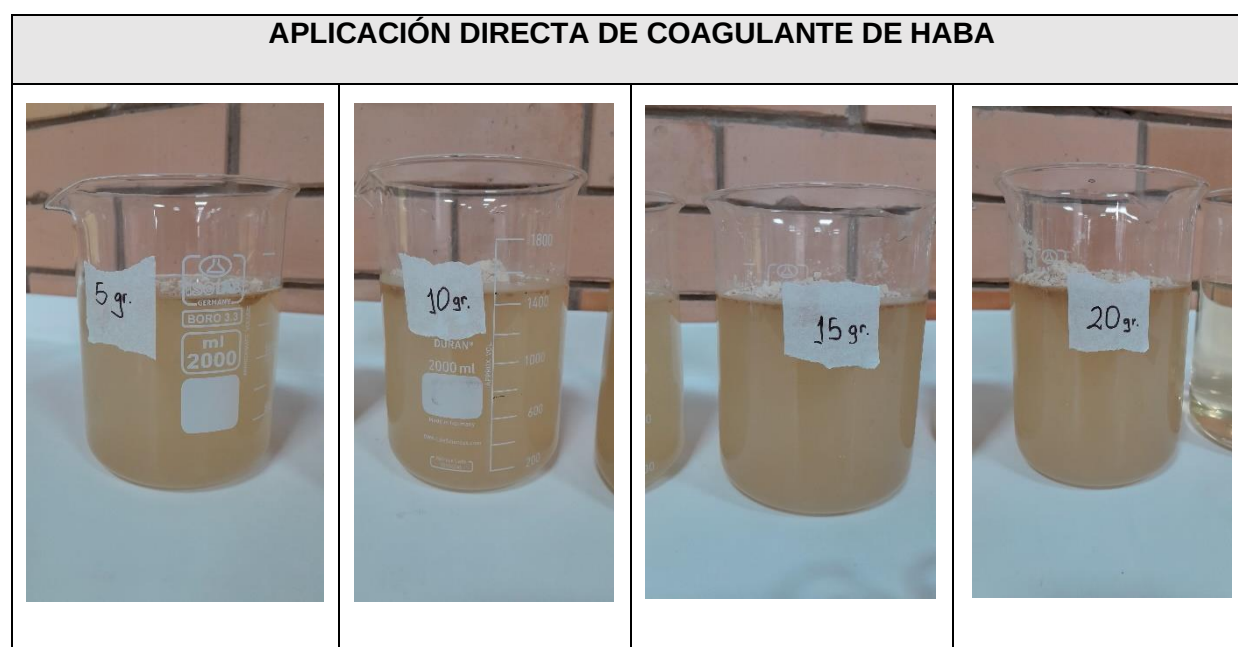
Figura 3. Haba resultante del tamiz 200



Nota. Muestras de haba triturada y tamizada. Fuente: Propia

A continuación, se procedió a aplicar de forma directa la cantidad de haba correspondiente a cada beaker, pero sin exponer la mezcla a agitación (Figura 4), ya que al no tener ningún agente químico que ayudase a la coagulación y sedimentación de partículas el resultado podría empeorar mucho más la turbiedad y el color aparente del agua. Simplemente se dejó actuar y sedimentar de forma natural por 2 días

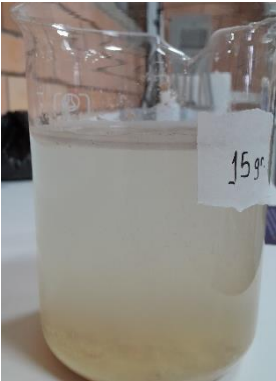
Figura 4. Aplicación directa de coagulante de haba, momento 0



Nota. Aplicación de los diferentes gramajes en seco de haba triturada. Fuente: Propia

Luego de transcurrido el tiempo establecido, se observó que el uso de coagulante agregado de forma directa generó un aumento en el color del agua, aparte de una capa de hongos sobre la superficie y la fermentación de la mezcla, que al estar estática no presentaba ningún olor, pero al ser agitada liberaba fetidez (olor desagradable). Por lo que fue descartado este método de aplicación para la segunda fase del proyecto al tener más efectos negativos que los presentes en el agua sin tratar.

Figura 5. Resultados finales haba directa.

RESULTADOS FINALES			
Capa de hongo	Hongos	Mezcla heterogénea	Color del agua
			
NOTAS: La mezcla no es totalmente homogénea, los parámetros de turbiedad y color aparente aumentaron, hay presencia de una capa de hongos en la superficie y la fermentación de la mezcla genero un mal olor en la misma.			

Fuente: Propia

4.1.2. Test De Jarras Con Haba Molida Y Policloruro De Aluminio

Se llevaron a cabo las mediciones iniciales mediante el uso de equipos de laboratorio. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4, y dichos valores fueron esenciales para analizar las modificaciones ocurridas durante el proceso.

Tabla 4. *Parámetros iniciales del agua para haba molida y policloruro de aluminio.*

PARAMETROS INICIALES DEL AGUA					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	$\mu\text{S/cm}$	Pt/Co (Hz)	ng/l
MUESTRA 1	7,96	3,4	0,00	128	< 50
MUESTRA 2	7,26	3,5	0,00	117	<50
MUESTRA 3	10,4	3,45	0,00	108	<50
PROMEDIO	8,54	3,45	0,00	117,66	<50
Valor Recomendado Rango Aceptable No cumple					

Fuente. Propia

Con la solución de policloruro existente en el laboratorio con concentración del 10%, quedaron definidas las soluciones empleadas en el test de jarras.

Figura 6. *Disolución policloruro.*

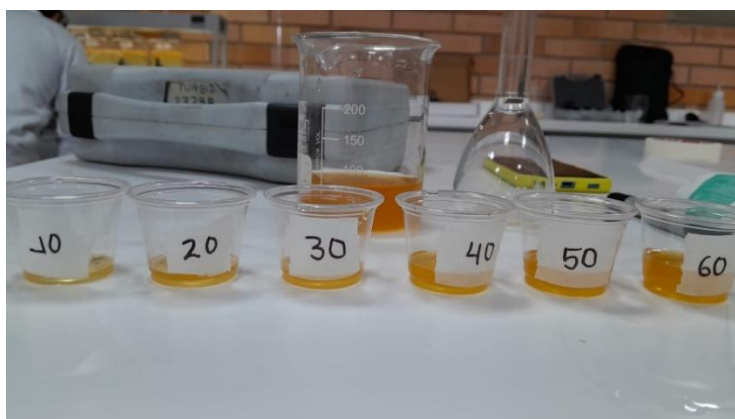
Fuente. Propia

Usando la muestra de agua cruda y la tabla de dosificación establecida para el laboratorio del test de jarra tabla 5; El volumen de policloruro correspondiente a cada beaker tuvo una aplicación simultaneas.

Tabla 5. Dosis de coagulante para test de jarras.

TABLA DOSIS DE COAGULANTE	
Intervalo	Volumen en ml
10	1.5
20	3.0
30	4.5
40	6.0
50	7.5
60	9.0

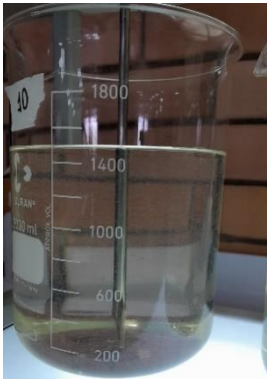
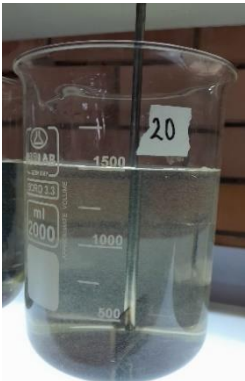
Fuente. Laboratorio de aguas Universidad Santo Tomas

Figura 7. Dosificaciones

Fuente. Propia

Luego de la aplicación del coagulante en los beakers se sometieron 1 min a 100 rpm (revoluciones por minuto), luego a 15 min en mezcla lenta a 40 rpm y por último 30 min en sedimentación, donde los resultados visuales (color y cantidad/tamaño de flocs) junto con los datos medidos por los equipos, arrojaron que la dosificación optima estaría entre las jarras de 10 y 20 mg/L.

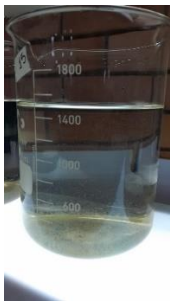
Figura 8. Resultados más óptimos.

RESULTADOS MAS OPTIMOS	
BEAKER DE 10	BEAKER DE 20
	
TURBIEDAD: 2.20	TURBIEDAD: 1,63
PH: 5,82	PH: 5.57

Fuente. Propia

Luego de obtener los resultados más óptimos y sabiendo que el pH disminuye a medida que el policloruro aumenta debido a que este es un ácido, se repitió el procedimiento, pero ahora con dosificaciones más cercanas a las de resultados más óptimos (10,15,20,25).

Figura 9. Resultados Segunda ronda de dosificación.

RESULTADOS MAS OPTIMOS			
BEAKER DE 10	BEAKER DE 15	BEAKER DE 20	BEAKER DE 25
			

Fuente. Propia

Para la segunda fase hubo una selección de las dosis 15 mg/L - 20 mg/L como más óptimas, las cuales fueron combinarlas con el coagulante de haba en polvo en una proporción de 20% haba - 80% policloruro.

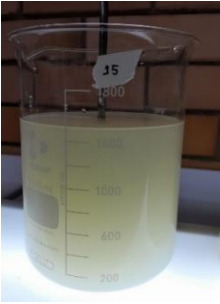
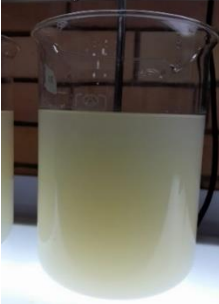
Figura 10. 20% haba en polvo para la dosificación de 15 y 20 mg/L.



Fuente. Propia

Luego de la aplicación del coagulante y el policloruro, los beakers fueron sometidos 1 min a 100 rpm (revoluciones por minuto), luego 15 min en mezcla lenta a 40 rpm y por último 30 min en sedimentación, donde los resultados obtenidos fueron muy parecidos al método anterior, descartando también la metodología por los malos resultados obtenidos luego del laboratorio comparados con los valores iniciales.

Figura 11. Resultados finales haba directa + policloruro de aluminio.

RESULTADOS FINALES	
BEAKER DE 15	BEAKER DE 20
	
NOTAS: Incremento la turbiedad y el color aparente pero no se evidencio presencia de hongos ni altos grados de fermentación.	

Fuente. Propia

4.1.3. Test De Jarras Con Haba En Solución

Se llevaron a cabo las mediciones iniciales mediante el uso de equipos de laboratorio. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6, y dichos valores fueron esenciales para analizar las modificaciones ocurridas durante el proceso.

Tabla 6. Parámetros iniciales del agua para haba en solución.

PARAMETROS INICIALES DEL AGUA					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	$\mu\text{S/cm}$	Pt/Co (Hz)	ng/l
MUESTRA 1	5,05	6,87	0,00	173	< 50
MUESTRA 2	5,43	6,56	0,00	163	<50
MUESTRA 3	5,22	6,47	0,00	174	<50
PROMEDIO	5,23	6,63	0,00	170	<50
Valor Recomendado Rango Aceptable No cumple					

Fuente. Propia

Previo al proceso de preparar la solución de haba al 10%, fue necesario retirar las cascarras del haba para luego poder triturarla y molerla, posteriormente se pasó por tamiz 200 hasta obtener 50gr de la muestra resultante con granulometría más pequeña ya que solo esta se usaría en la aplicación.

Figura 12. Haba resultante del tamiz 200.



Fuente. Propia

Realizada una disolución compuesta por 50 gr de haba en polvo junto con 500ml de agua, se sometió a 100 rpm (revoluciones por minuto) hasta conseguir una mezcla homogénea cuidando no dejar sedimentos ni grumos.

Figura 13. *Mezcla de haba con agua.*



Fuente. Propia

El proceso realizado el mismo día de la preparación de la muestra para el laboratorio de “test de jarras con haba molida”, también sirvió para crear un margen de tiempo útil para el coagulante natural. En condiciones normales el coagulante químico tiene una vida útil de 3 meses luego de su preparación, sin embargo, los resultados obtenidos para el coagulante natural fueron mucho menores.

En los 8 días posteriores a la preparación del coagulante natural, hubo evidencias de fermentación y no fue posible hacer uso del mismo, por lo que se dedujo que la preparación de la solución debía ser el mismo día del test de jarras con aplicación inmediata, para evitar los efectos de la descomposición orgánica en el agua tratada.

Figura 14. Mezcla de haba con agua.

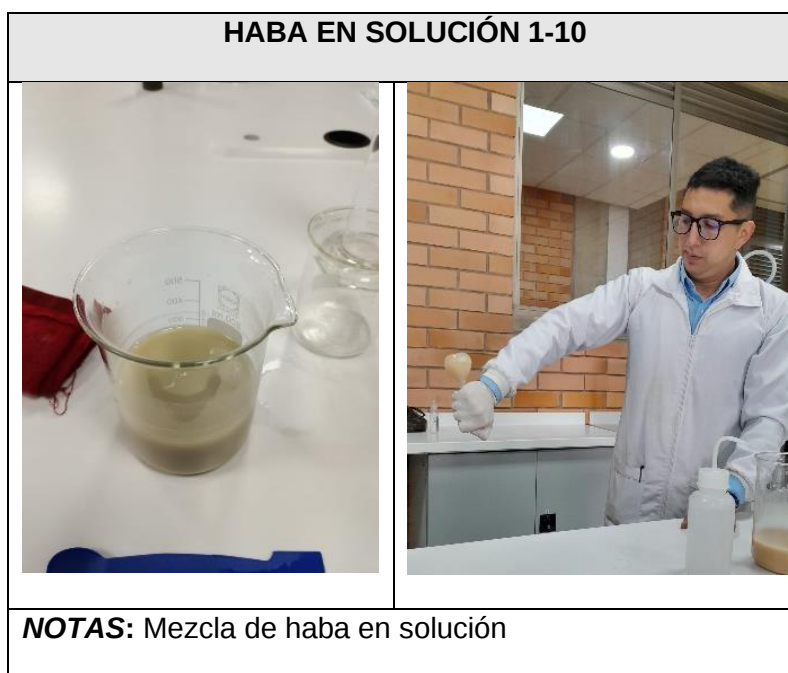
HABA EN SOLUCIÓN	
8 días luego de la preparación	
	
NOTAS: Aparte de la fermentación al intentar limpiar el recipiente de la solución se encontró que la parte sedimentada se volvió una masa viscosa difícil de remover (imagen a la derecha)	

Fuente. Propia

Teniendo en cuenta lo anterior se volvió a realizar el proceso de preparación de coagulante el mismo día de aplicación para evitar el error cometido anteriormente.

En la preparación de coagulante natural en relación 1-10 se llevó a cabo la disolución de 25 gr de haba en polvo en 250 ml de agua destilada durante 10 min a 100rpm hasta tener una mezcla homogénea. En un balón aforado se vertieron 25 ml de la solución que luego fueron completados con agua destilada hasta la línea de aforo y se agitó.

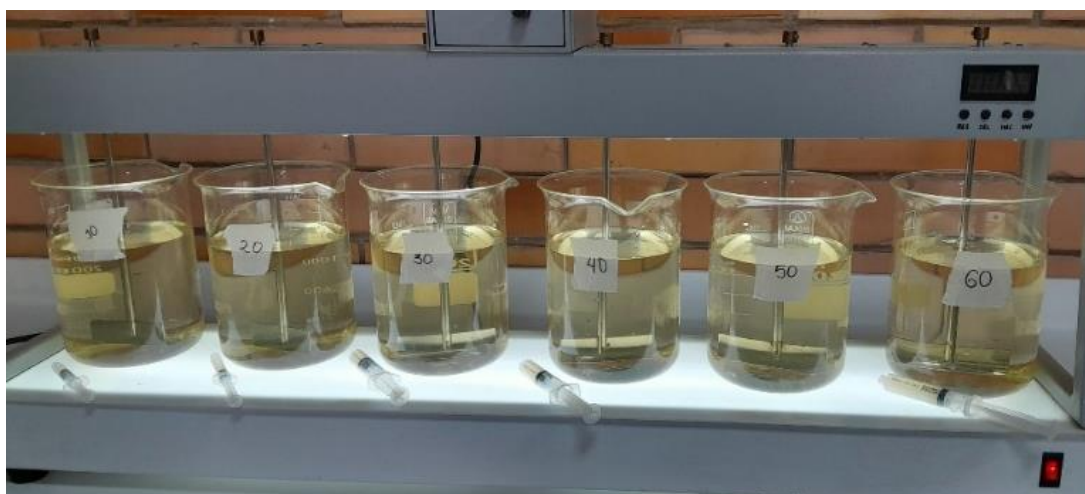
Figura 15. Mezcla de haba con agua.



Fuente. Propia

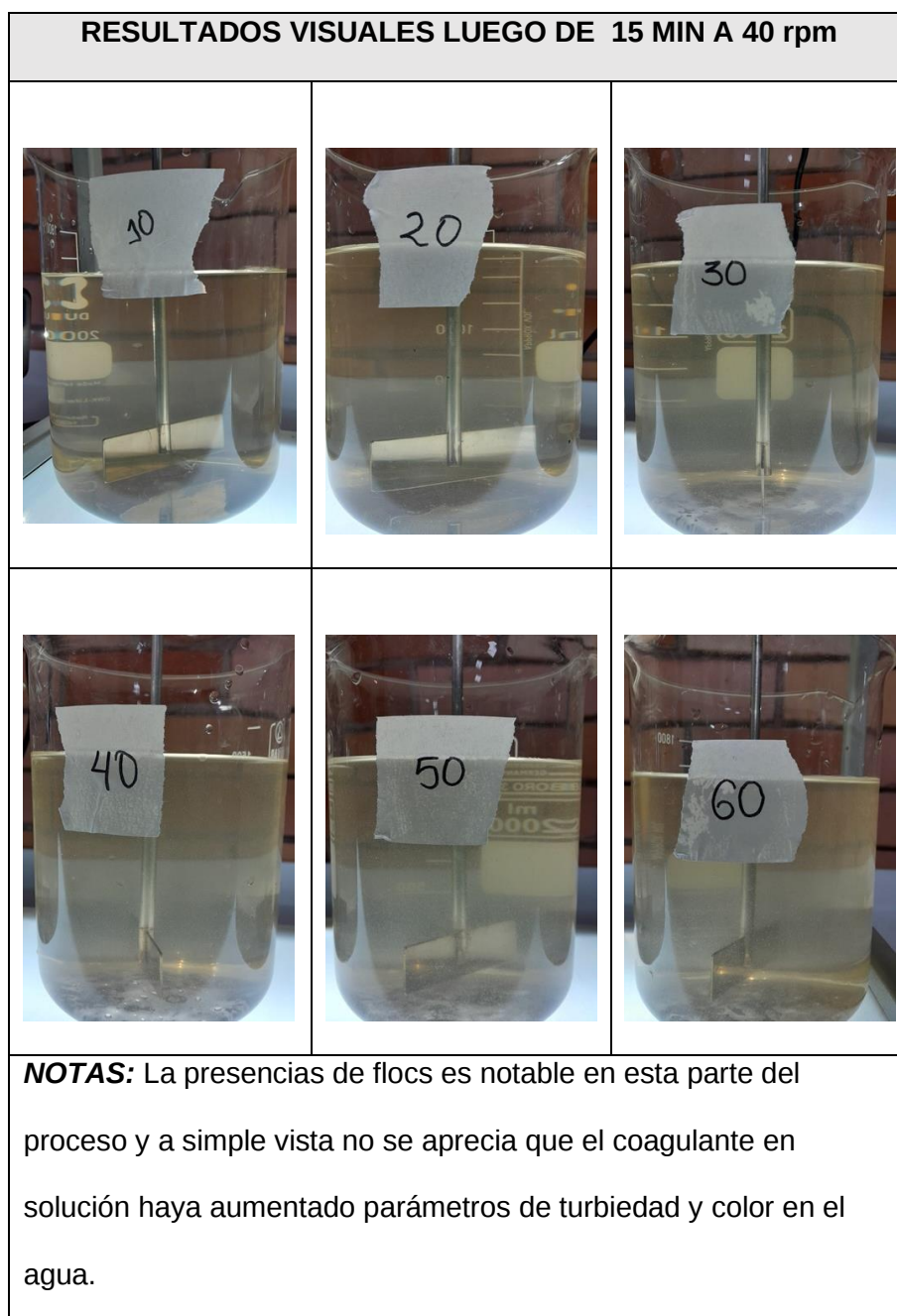
Usando la muestra de agua cruda y la tabla de dosificación establecida para el laboratorio del test de jarra tabla 5; El volumen de policloruro de aluminio correspondiente a cada beaker tuvo una aplicación simultaneas.

Figura 16. Beakers y su dosis correspondiente.



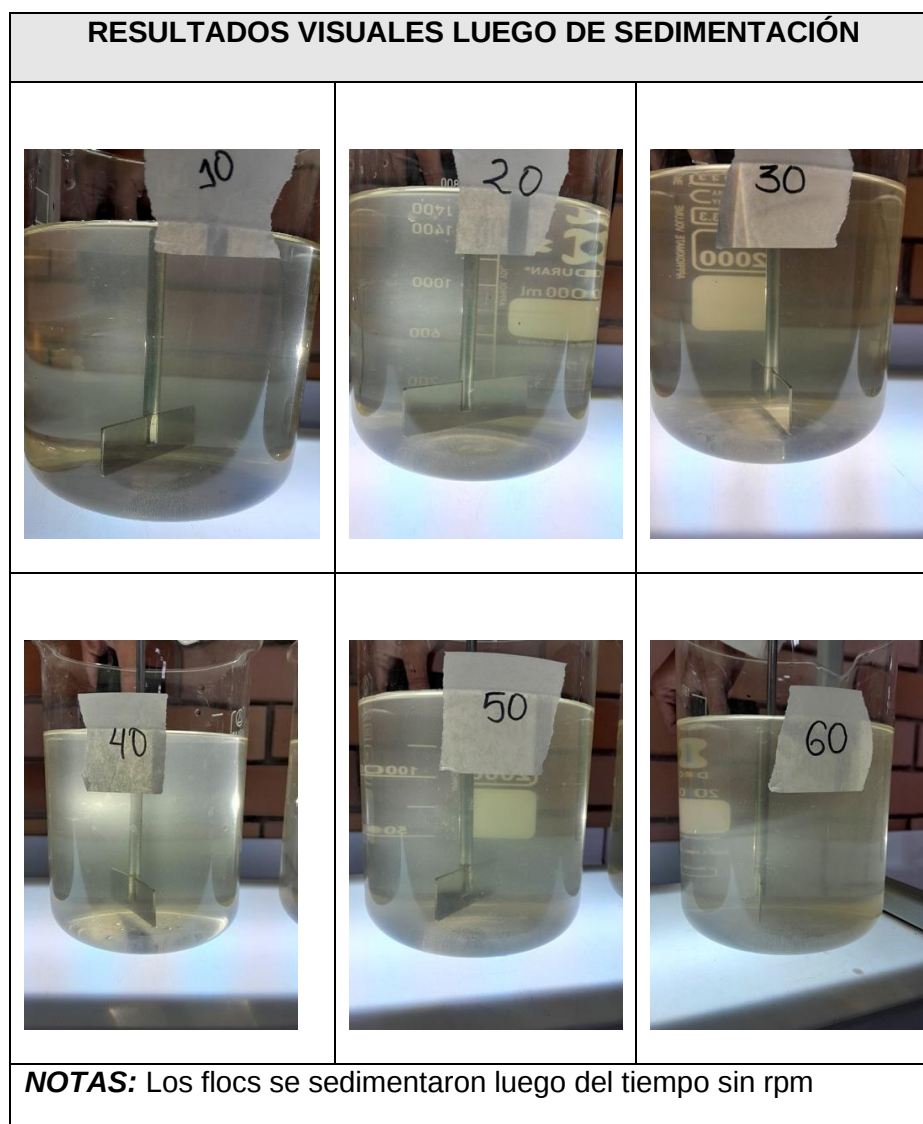
Fuente. Propia

Figura 17. 15min de test de jarras a 40 rpm.



Fuente. Propia

Figura 18. 30 min de sedimentación.



Fuente. Propia

En el proceso se obtuvieron buenos resultados en cuanto al coagulante natural como formador de flocs y no se evidenció un incremento negativo de los valores tomados inicialmente, por lo que se consideró una opción viable, sin embargo, fue necesario realizar el ultimo test de jarras para poder elegir la mejor metodología.

4.1.4. Test De Jarras Con Haba En Solución Y Sulfato De Aluminio

Se llevaron a cabo las mediciones iniciales mediante el uso de equipos de laboratorio. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7, y dichos valores fueron esenciales para analizar las modificaciones ocurridas durante el proceso.

Tabla 7. *Parámetros iniciales del agua para haba en solución y sulfato.*

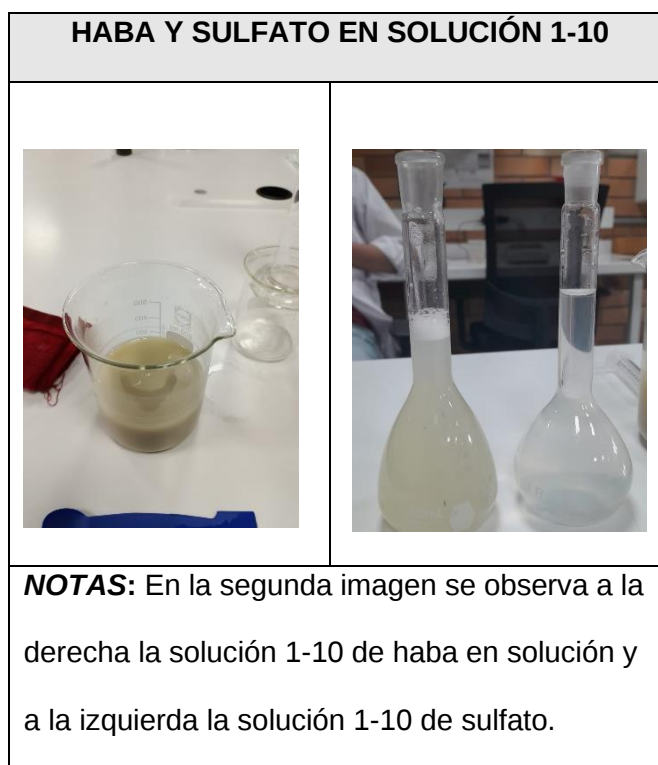
PARAMETROS INICIALES DEL AGUA					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	μS/cm	Pt/Co (Hz)	ng/l
MUESTRA 1	5,05	6,87	0,00	173	< 50
MUESTRA 2	5,43	6,56	0,00	163	<50
MUESTRA 3	5,22	6,47	0,00	174	<50
PROMEDIO	5,23	6,63	0,00	170	<50
 Valor Recomendado  Rango Aceptable  No cumple					

Fuente. Propia

Previo al proceso de preparar la solución de haba al 10%, fue necesario retirar las cascarras del haba para luego poder triturarla y molerla, posteriormente se pasó por tamiz 200 hasta obtener 50gr de la muestra resultante con granulometría más pequeña ya que solo esta se usaría en la aplicación.

En la preparación de coagulante natural en relación 1-10 se llevó a cabo la disolución de 25 gr de haba en polvo en 250 ml de agua destilada durante 10 min a 100rpm hasta tener una mezcla homogénea. En un balón aforado se vertieron 25 ml de la solución que luego fueron completados con agua destilada hasta la línea de aforo y se agitó.

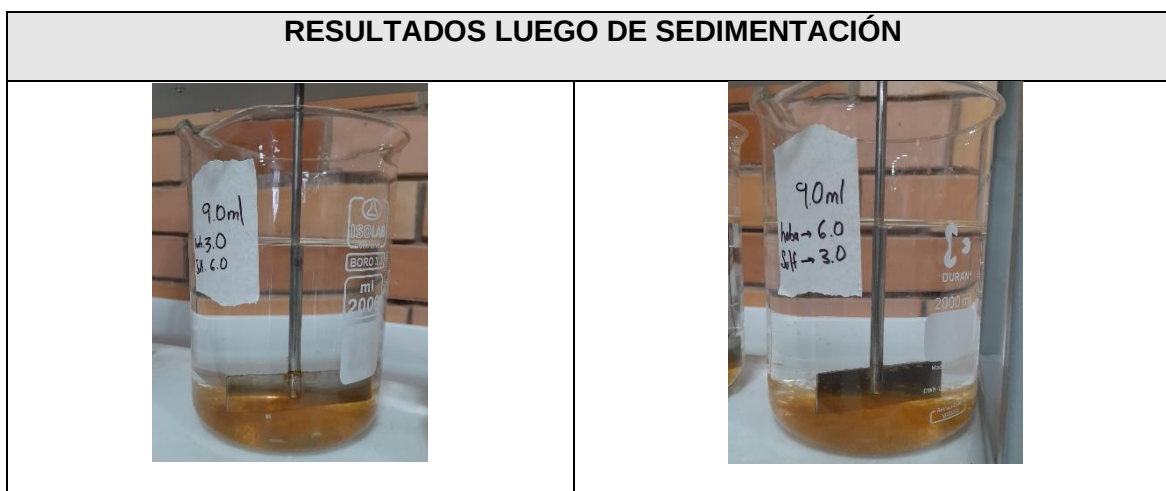
Figura 19. Mezcla de haba con agua y sulfato.



Fuente. Propia

Teniendo las soluciones listas se dispuso aplicar en dos beakers con 1500ml de la muestra de agua una dosificación de 66.6% haba – 33.3% sulfato y otra de 66.6% sulfato – 33.3% haba.

Figura 20. Sedimentación de haba y sulfato.



RESULTADOS LUEGO DE SEDIMENTACIÓN
NOTAS: No solo se evidencio una mayor cantidad de flocs sedimentados, sino que también, los parámetros visuales de color y turbidez fueron los más efectivos

Fuente. Propia

Según los análisis realizados entre los 4 métodos, la dosificación más eficiente fue la obtenida en el “Test De Jarras Con Haba En Solución Y Sulfato De Aluminio”, no solo porque cumplió con la idea principal del proyecto de disminuir el componente químico en el tratamiento, sino también, porque es el que mejores resultados visuales presentó en el agua, por esta razón fue el método elegido para realizar la segunda fase del proyecto en la que se buscó la dosis más opima en cuanto a estándares de aceptabilidad del agua y economía.

4.2. Segunda Fase: Búsqueda De Dosificación Optima

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la primera fase, el paso a seguir fue usar la preparación del coagulante de haba con mejores resultados para ahora replicarlo con las diferentes dosificaciones planteadas para los test de jarras (tabla 5 u 8), con la intención de encontrar las proporciones más optimas de sulfato de aluminio y haba necesarias para cumplir con los parámetros de la norma en agua potable.

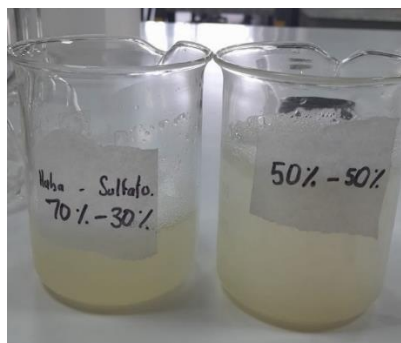
Tabla 8. *Dosis de coagulante para laboratorio*

TABLA DOSIS DE COAGULANTE	
Intervalo	Volumen en ml
10	1.5
20	3.0
30	4.5
40	6.0
50	7.5
60	9.0

Fuente. Laboratorio de aguas Universidad Santo Tomas

Para el análisis se realizó un laboratorio en el cual se compararon los resultados obtenidos en 2 test de jarras en combinación 70% haba – 30% sulfato y 50% haba – 50% sulfato:

Figura 21. Dosificaciones solución de haba.



Fuente. Propia

4.2.1. 70% Haba – 30% Sulfato De Aluminio

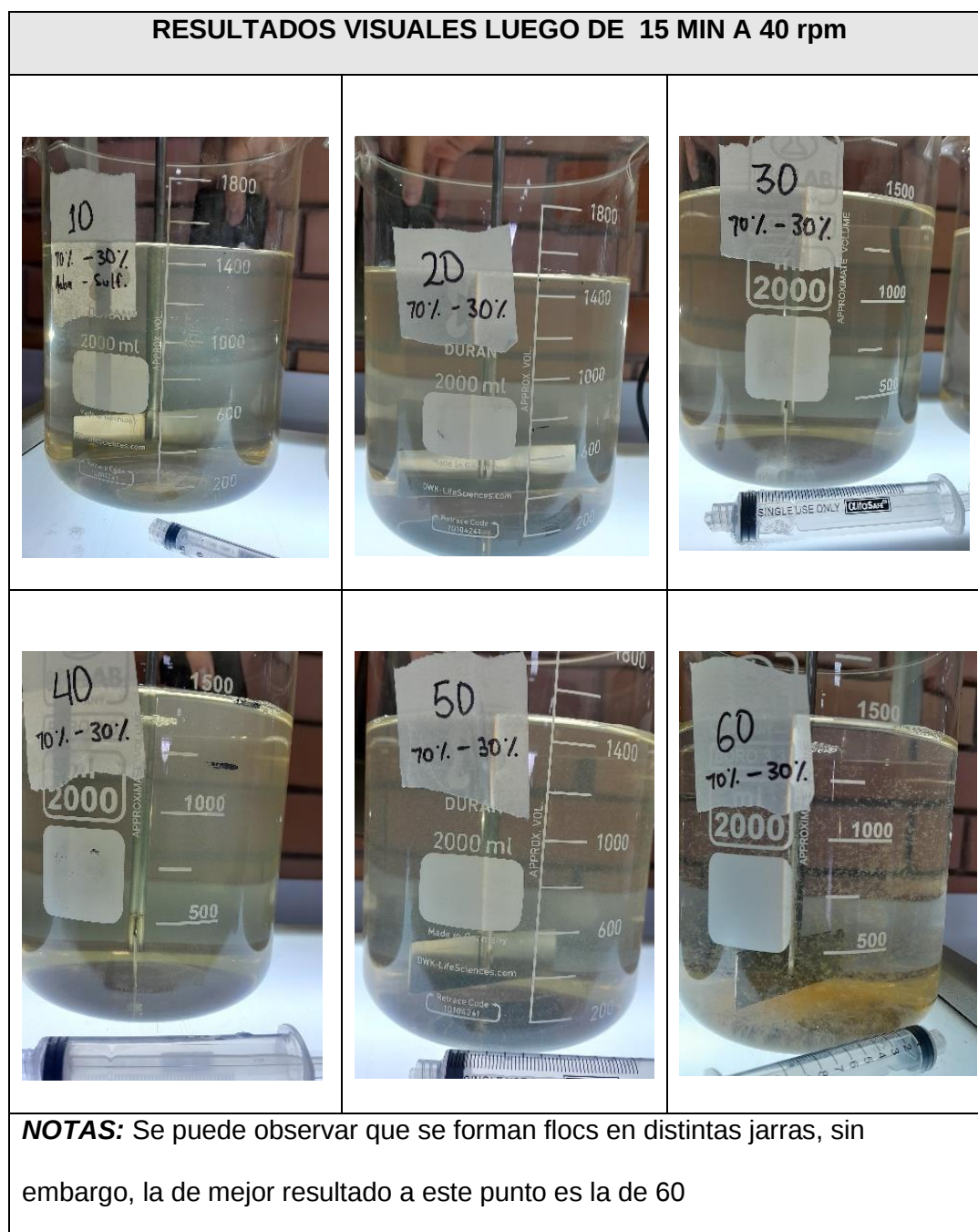
En el primer test de jarras se evaluaron las dosificaciones 10, 20, 30, 40, 50 y 60 (tabla 8) cuyo volumen correspondiente estaba constituido en un 70% de coagulante de haba y el 30% restante de sulfato de aluminio. Por ejemplo, en el beaker de 60, el volumen correspondiente fue de 9.0 ml, por tanto, en el momento de aplicación del coagulante se hizo uso de dos jeringas: una contenía 6.3 ml (70% de 9.0ml) de solución de haba y la otra contenía 2.7 ml (30% de 9.0ml) sulfato de aluminio. De esta manera con cada una de los beakers.

Figura 22. Test de Jarras de 70% - 30%



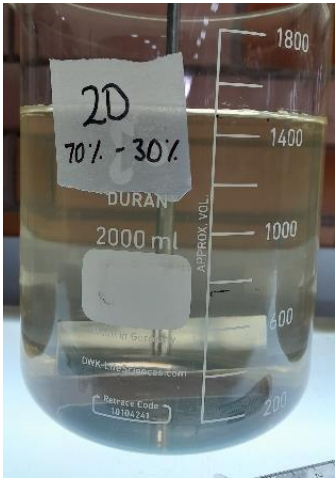
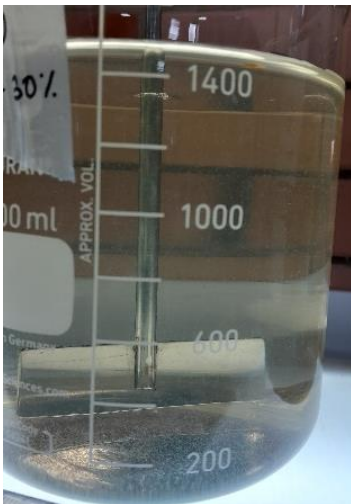
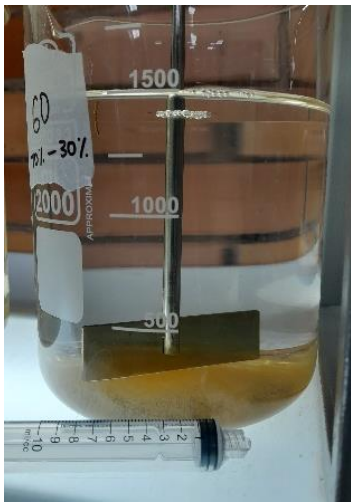
Fuente. Propia

Figura 23. 15min de test de jarras a 40 rpm.



Fuente. Propia

Figura 24. 30 min de sedimentación

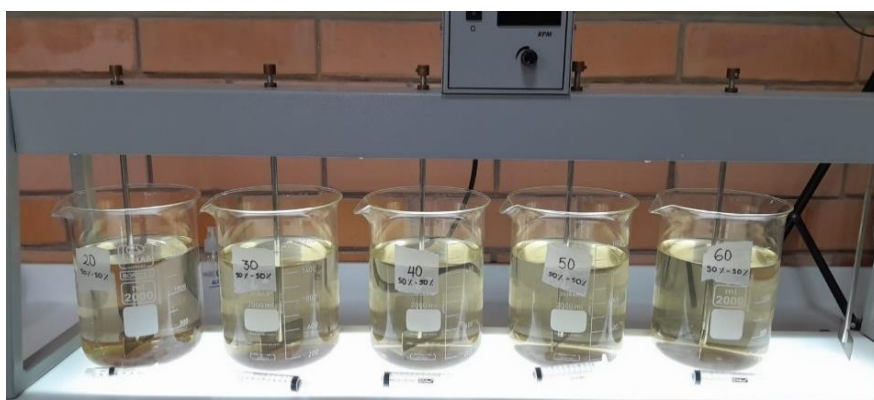
RESULTADOS VISUALES LUEGO DE SEDIMENTACIÓN		
		
		
NOTAS: Luego de los 30 min de sedimentación se observa que la mejor dosis en esta proporción fue la de 60 mg/L ya que no solo es visible la presencia de floccs sino que también el tamaño y peso de estos permite su sedimentación.		

Fuente. Propia

4.2.2. 50% Haba – 50% Sulfato De Aluminio

En el segundo se evaluaron las dosificaciones 20, 30, 40, 50 y 60 (tabla 8) cuyo volumen correspondiente estaba constituido en un 50% de coagulante de haba y el 50% restante de sulfato de aluminio. Por ejemplo, en el beaker de 60, el volumen correspondiente fue 9.0 ml por tanto en el momento de aplicación del coagulante se hizo uso de dos jeringas: una contenía 4.5 ml (50% de 9.0ml) de solución de haba y la otra contenía 4.5 ml (50% de 9.0ml) sulfato de aluminio. De esta manera con cada uno de los beakers.

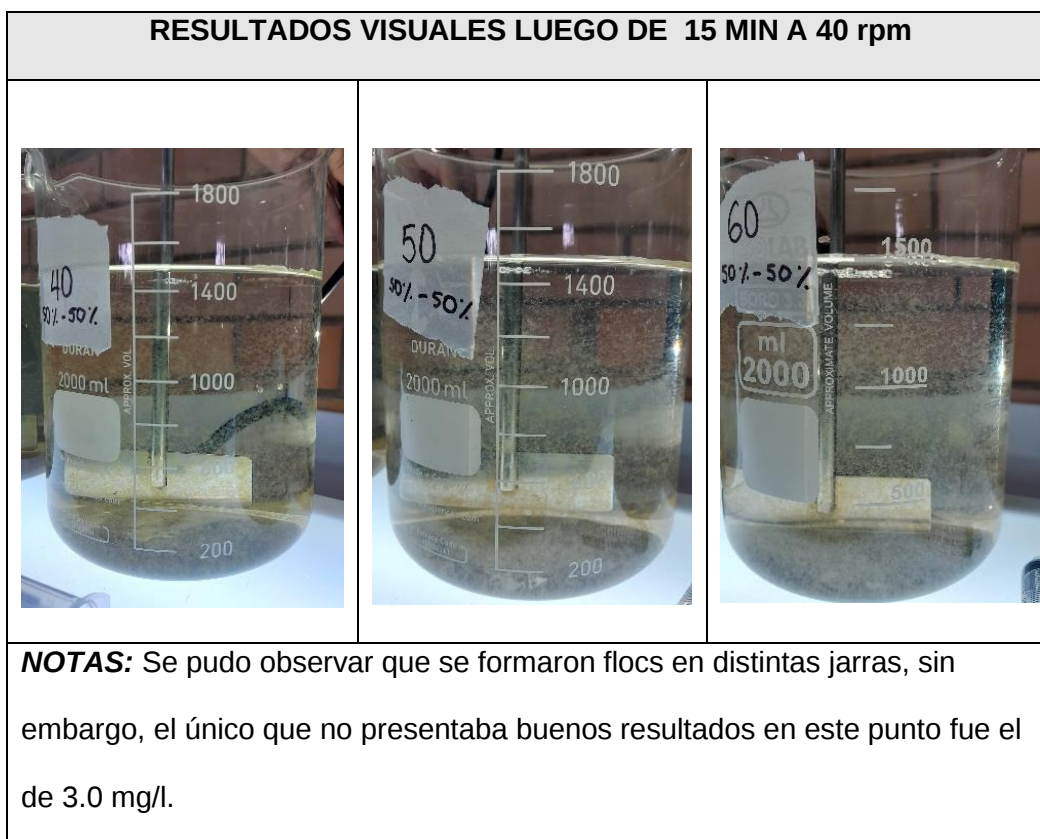
Figura 25. Test de Jarras de 50% - 50%



Fuente. Propia

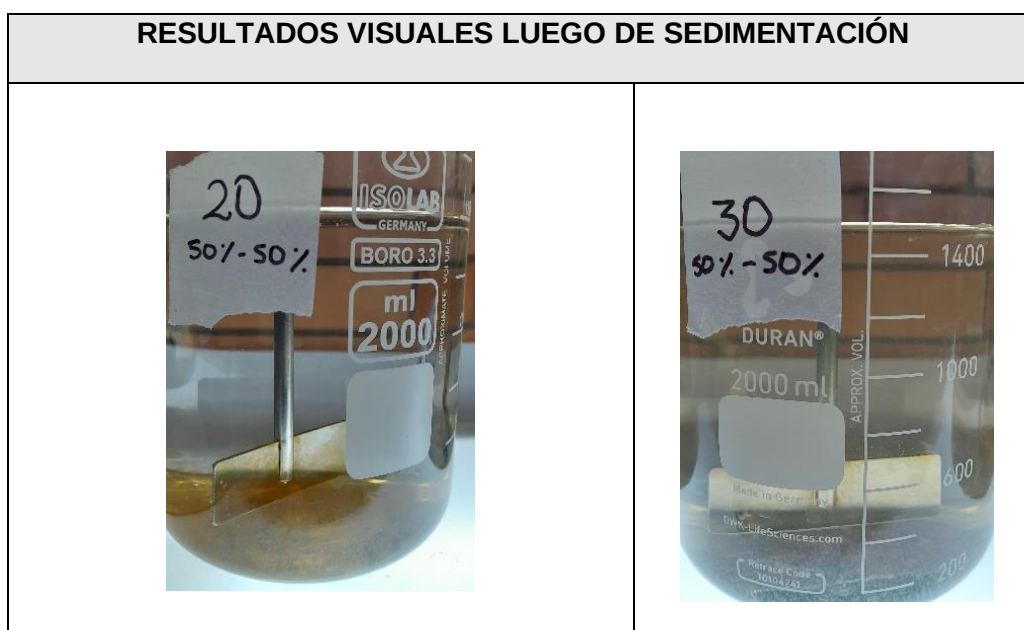
Figura 26. 15min de test de jarras a 40 rpm

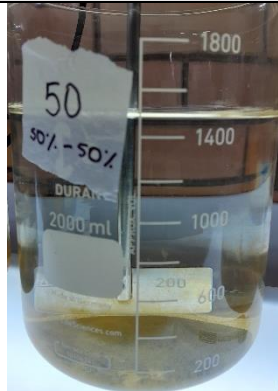
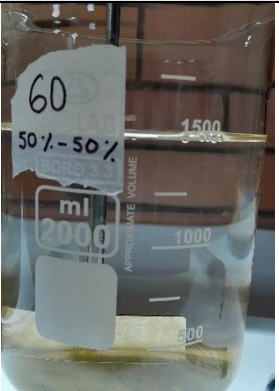




Fuente. Propia

Figura 27. 30 min de sedimentación.



RESULTADOS VISUALES LUEGO DE SEDIMENTACIÓN		
		
NOTAS: Luego de los 30 min de sedimentación se observó que la mayoría de jarras tuvo un buen desempeño, pero la mejor dosis en esta proporción fue la de 20 (1.5 ml/L) ya que no solo es visible la presencia de flocs sino que también el tamaño y peso de estos permite su sedimentación, mientras que en las demás aún no terminaba este proceso.		

Fuente. Propia

Los procedimientos de preparación de la solución de haba y del sulfato de aluminio se encuentran expuestos en la fase anterior (numeral 4.1.4).

Luego de realizados los dos test de jarras se obtuvo los siguientes resultados

Tabla 9. *Parámetros iniciales del agua para combinación 50% - 50% y 70% - 30%.*

PARAMETROS INICIALES DEL AGUA					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	$\mu\text{S/cm}$	Pt/Co (Hz)	ng/l
MUESTRA 1	4,74	7,44	0,021	194	< 50
MUESTRA 2	4,90	7,45	0,022	199	<50
PROMEDIO	4.82	7.44	0,0215	196	<50
Valor Recomentado Rango Aceptable No cumple					

Fuente. Propia

Tabla 10. Resultados finales para combinación 70% haba – 30% sulfato.

PARAMETROS FINALES DEL AGUA 70% - 30%					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	μS/cm	Pt/Co (Hz)	ng/l
10	5.31	6.84	0.025	203	< 50
20	6.18	6.85	0.022	245.5	<50
30	6.43	7.14	0.026	237.5	< 50
40	7.26	6.88	0.026	224.5	<50
50	6.83	6.99	0.023	202	< 50
60	1.98	6.97	0.026	111	<50
 Valor Recomendado  Rango Aceptable  No cumple					
NOTA: Para cada parámetro se tomaron 2 datos, pero para mejor facilidad de lectura los datos mostrados en la tabla corresponden al promedio de las 2 muestras en cada parámetro.					

Fuente. Propia

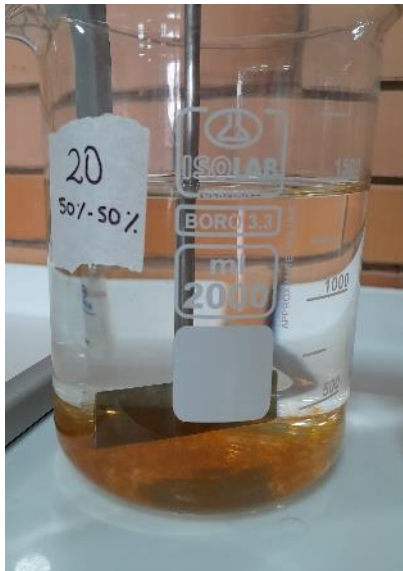
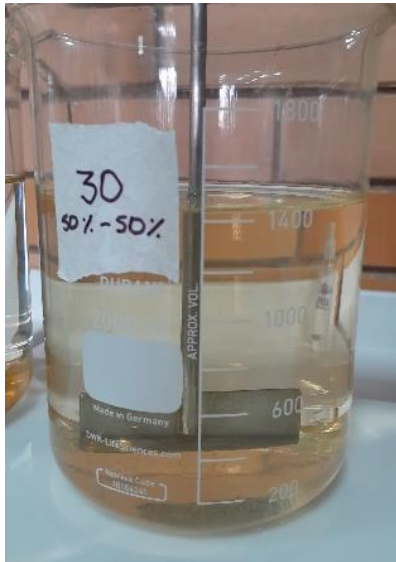
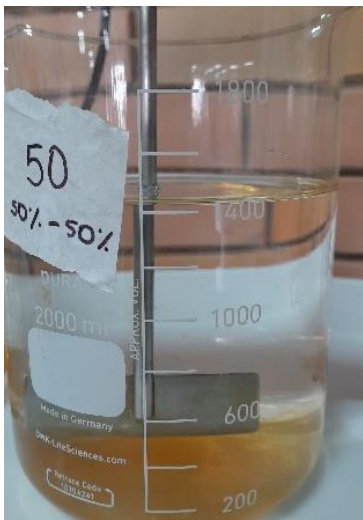
Tabla 11. Resultados finales para combinación 50% haba – 50% sulfato.

PARAMETROS FINALES DEL AGUA 50% - 50%					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	μS/cm	Pt/Co (Hz)	ng/l
20	0.44	6.94	0.006	69	< 50
30	5.28	6.80	0.027	209	<50
40	0.58	6.56	0.022	192	< 50
50	0.39	6.56	0.028	41.5	<50
60	0.6	5.22	0.030	55	<50
 Valor Recomendado  Rango Aceptable  No cumple					
NOTA: Para cada parámetro se tomaron 2 datos, pero para mejor facilidad de lectura los datos mostrados en la tabla corresponden al promedio de las 2 muestras en cada parámetro.					

Fuente. Propia

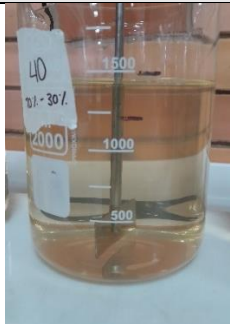
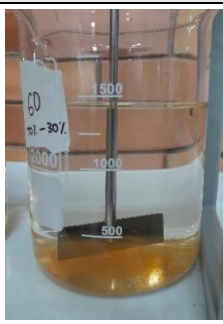
También se registraron los resultados visuales de cada test luego de transcurridas 2h

Figura 28. 120 min de sedimentación 50% - 50%.

RESULTADOS VISUALES LUEGO DE SEDIMENTACIÓN		
		
RESULTADOS VISUALES LUEGO DE SEDIMENTACIÓN		
		
NOTAS: Se pudo observar que todos tuvieron buenos resultados visuales		

Fuente. Propia

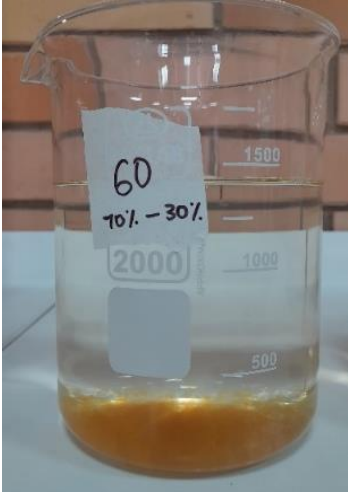
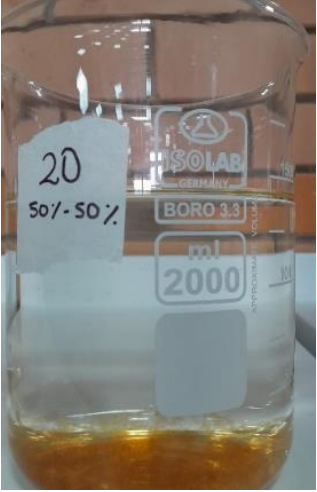
Figura 29. 120 min de sedimentación 70% - 30%.

RESULTADOS VISUALES LUEGO DE SEDIMENTACIÓN		
		
RESULTADOS VISUALES LUEGO DE SEDIMENTACIÓN		
		
NOTAS: Por el contrario, en estos resultados se pudo observar que el único visualmente aceptable es el de 60.		

Fuente. Propia

Luego de tener en cuenta la evaluación visual y los parámetros medidos se escogieron los mejores resultados de cada combinación para la siguiente fase.

Figura 30. Resultados más óptimos.

RESULTADOS MAS OPTIMOS	
70% - 30%	50% - 50%
	
TURBIEDAD: 1.98	TURBIEDAD: 0.44
PH: 6.97	PH: 6.94
COLOR: 111	COLOR: 69

Fuente. Propia

4.3. Tercera Fase: Comparación De Floccs

Para la última fase del proyecto se propuso determinar cómo afectaba el componente natural del coagulante de haba en el proceso de formación de floccs. Para ello también se hizo uso del nopal como segundo agente natural en el tratamiento del agua, esto para tener un rango más amplio de comparación a la hora de analizar los efectos que puede generar la materia orgánica en la estabilidad y tamaño de floccs.

4.3.1. Floculación del Nopal

Para la preparación del nopal fue necesario eliminar la capa exterior y cortar en cuadros el resultante, haciendo uso de 10 y 20 gr del mismo y realizando el mismo procedimiento del test de jarras, pero sin ningún coagulante químico (1 min a 100 rpm, 15 min a 40 rpm y 30 min en sedimentación).

Figura 31. Preparación del nopal.

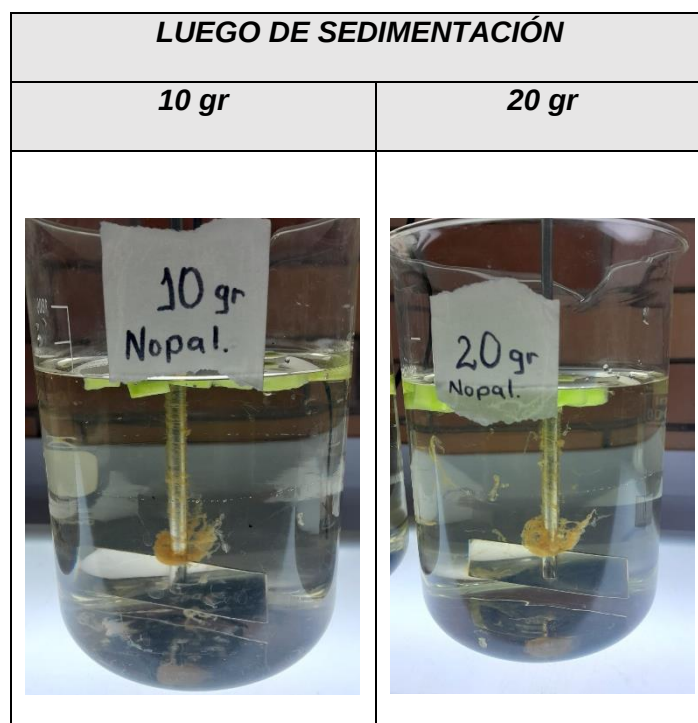


Fuente. Propia

Tabla 12. Parámetros iniciales del agua para nopal.

PARAMETROS INICIALES DEL AGUA					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	$\mu\text{S/cm}$	Pt/Co (Hz)	ng/l
MUESTRA 1	4.37	7.56	0,34	149	< 50
MUESTRA 2	4.36	7.76	0,35	154	<50
MUESTRA 3	4.32	8.08	0.34	145	<50
PROMEDIO	4.35	7.8	0,343	149	<50
Valor Recomendado Rango Aceptable No cumple					

Fuente. Propia

Figura 32. Comparación de flocs.

Fuente. Propia

Tabla 13. Parámetros finales para Nopal en 10 y 20 gr.

PARAMETROS FINALES NOPAL					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	$\mu\text{S/cm}$	Pt/Co (Hz)	ng/l
10 gr	1.29	8.3	0.048	86.5	< 50
20 gr	1.02	8.35	0.054	89	< 50
Valor Recomentado Rango Aceptable No cumple					
NOTA: Para cada parámetro se tomaron 2 datos, pero para mejor facilidad de lectura los datos mostrados en la tabla corresponden al promedio de las 2 muestras en cada parámetro.					

Fuente. Propia

4.3.2. Floculación de la solución de haba y sulfato de aluminio

El proceso se desarrolló mediante el test de jarras con los resultados más efectivos encontrados durante la fase, con el fin de poder evaluar de forma concreta el comportamiento de la floculación y sedimentación.

Figura 33. Preparación solución de haba y sulfato.



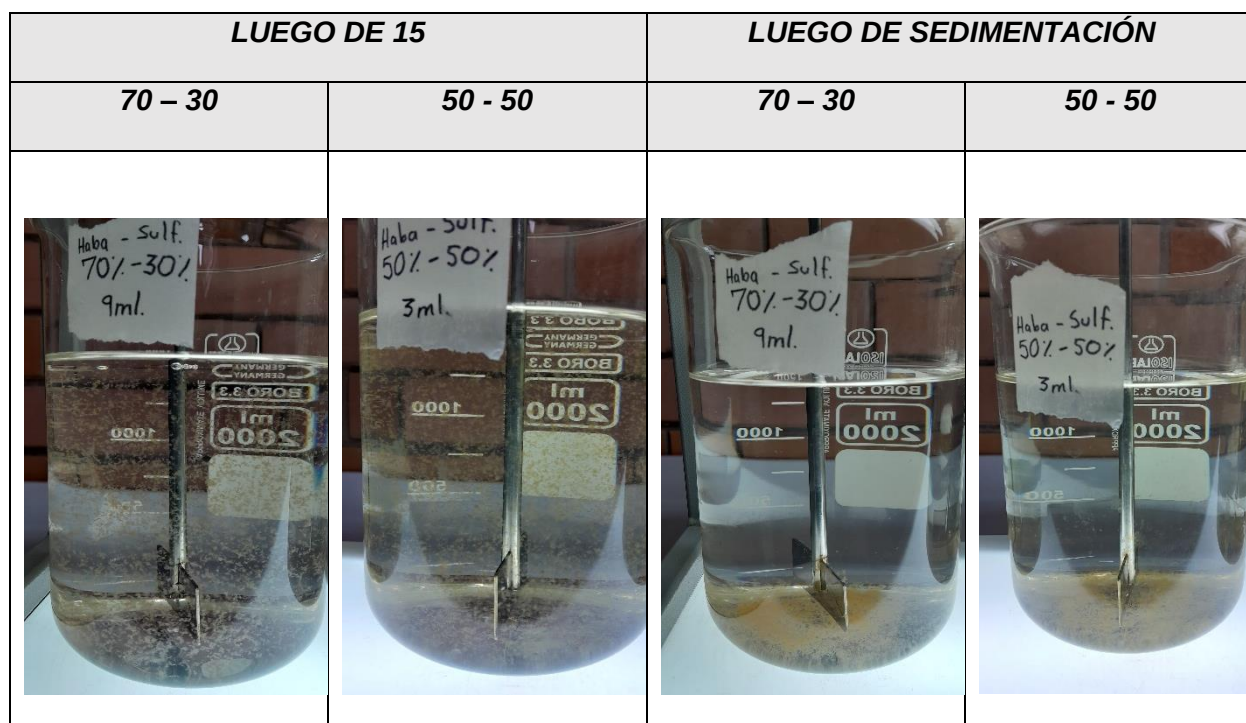
Fuente. Propia

Tabla 14. Parámetros iniciales del agua para haba en solución.

PARAMETROS INICIALES DEL AGUA					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	$\mu\text{S/cm}$	Pt/Co (Hz)	ng/l
MUESTRA 1	3.78	6.79	0,00	123	< 50
MUESTRA 2	3.79	6.71	0,00	144	<50
PROMEDIO	3.78	6.75	0,00	133	<50
Valor Recomendado Rango Aceptable No cumple					

Fuente. Propia

Los parámetros medidos en la 3° fase fueron netamente visuales, por lo que para el análisis de los resultados se tuvo en cuenta el tamaño de los flocs visibles, la cantidad de los mismos y que tanto tiempo tardaban en sedimentarse.

Figura 34. Comparación de flocs.

Fuente. Propia

Tabla 15. Parámetros finales para combinación de 70% - 30% y 50% - 50%.

PARAMETROS FINALES					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	μS/cm	Pt/Co (Hz)	ng/l
70 -30	1.69	6.26	0.015	37	< 50
50 - 50	1.03	6.31	0.005	18.5	< 50
Valor Recomentado Rango Aceptable No cumple					
NOTA: Para cada parámetro se tomaron 2 datos, pero para mejor facilidad de lectura los datos mostrados en la tabla corresponden al promedio de las 2 muestras en cada parámetro.					

Fuente. Propia

4.3.3. Floculación del Nopal + Solución de Haba y sulfato de aluminio

Para el desarrollo de un análisis más amplio, se comparó el comportamiento de la solución de haba junto con el sulfato de aluminio en concentración de 70% – 30% y 50% – 50% agregando 20 gr de nopal en cada una.

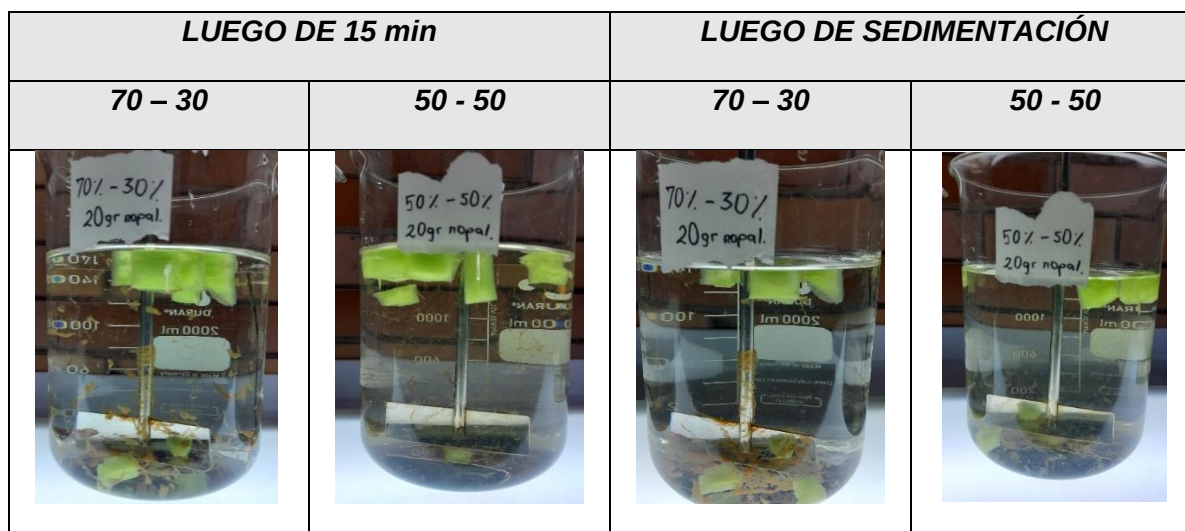
Tabla 16. *Parámetros iniciales del agua para haba – nopal.*

PARAMETROS INICIALES DEL AGUA					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	μS/cm	Pt/Co (Hz)	ng/l
MUESTRA 1	3.78	6.79	0,00	123	< 50
MUESTRA 2	3.79	6.71	0,00	144	<50
PROMEDIO	3.78	6.75	0,00	133	<50
Valor Recomendado Rango Aceptable No cumple					

Fuente. Propia

Los parámetros medidos en la 3° fase fueron netamente visuales, por lo que para el análisis de los resultados se tuvo en cuenta el tamaño de los flocs visibles, la cantidad de los mismos y que tanto tiempo tardaban en sedimentarse.

Figura 35. *Comparación de flocs.*



Fuente. Propia

Luego del proceso de floculación y sedimentación, se tomaron los resultados obtenidos en cada parámetro para poder realizar un análisis de las variaciones respecto a los datos iniciales.

Tabla 17. *Parámetros finales haba - Nopal en combinación 70% - 30% y 50% - 50%.*

PARAMETROS FINALES NOPAL					
PARAMETROS	TURBIEDAD	PH	CONDUCTIVIDAD	COLOR APARENTE	SOLIDOS EN SUSPENSIÓN
	UNT	[-]	$\mu\text{S/cm}$	Pt/Co (Hz)	ng/1
70 -30	1.41	6.26	0.040	33.5	< 50
50 – 50	2.85	6.54	0.034	107	< 50
Valor Recomentado Rango Aceptable No cumple					
NOTA: Para cada parámetro se tomaron 2 datos, pero para mejor facilidad de lectura los datos mostrados en la tabla corresponden al promedio de las 2 muestras en cada parámetro.					

Fuente. Propia

5. Análisis de Resultados

❖ TURBIEDAD:

En la tabla 18, se presentaron los resultados de turbiedad obtenidos de los ensayos que contenían una combinación de solución de haba en un 70% y sulfato de aluminio en 30% para los diferentes volúmenes usados en el test de jarras.

Tabla 18. *Resultados de turbiedad para combinación 70% haba – 30% sulfato de aluminio.*

VALORES		GRAFICA
Turbiedad	para muestras de 70-30	Turbiedad con combinacion 70-30
Vol. Aplicado (ml)	-	
1,5	5,315	
3	6,18	
4,5	6,435	
6	7,26	

VALORES		
7,5	6,83	
9	1,985	
NOTAS: Esta combinación no mostró efectos positivos, pero se vio una relación proporcional entre el volumen y la remoción de turbiedad, donde a mayor volumen mayor es la remoción de turbiedad.		

Fuente. Propia

En la tabla 19, se presentaron los resultados de turbiedad obtenidos en los ensayos que contenían una combinación de solución de haba en un 50% y sulfato de aluminio en 50% para los diferentes volúmenes usados en el test de jarras.

Tabla 19. Resultados de turbiedad para combinación 50% haba – 50% sulfato de aluminio.

VALORES		GRAFICA
Turbiedad	para muestras de 50 - 50	Turbiedad con combinacion 50-50
Vol. Aplicado (ml)	-	
1,5	-	
3	0,445	
4,5	5,285	
6	0,58	
7,5	0,395	
9	0,6	
NOTAS: En comparación con la solución de 70 - 30 la solución actual, compuesta por 50% haba y 50% sulfato de aluminio presentó los mejores resultados en cuanto a remoción de turbiedad, es importante aclarar que la finalidad de esta prueba fur tratar de llegar a valores de turbiedad de 0 UNT o cercano.		

Fuente. Propia

❖ **pH:**

En la tabla 20, se presentan los resultados de pH obtenidos de los ensayos que contenían una combinación de solución de haba en un 70% y sulfato de aluminio en 30% para los diferentes volúmenes usados en el test de jarras.

Tabla 20. Resultados de pH para combinación 70% haba – 30% sulfato de aluminio.

VALORES		GRAFICA														
pH	para muestras de 70-30	pH con combinacion 70-30 <table><caption>Data points from the graph</caption><thead><tr><th>Volumen de coagulante aplicado (ml)</th><th>Resultados de Ph</th></tr></thead><tbody><tr><td>1,5</td><td>6,84</td></tr><tr><td>3</td><td>6,85</td></tr><tr><td>4,5</td><td>7,14</td></tr><tr><td>6</td><td>6,88</td></tr><tr><td>7,5</td><td>6,99</td></tr><tr><td>9</td><td>6,97</td></tr></tbody></table>	Volumen de coagulante aplicado (ml)	Resultados de Ph	1,5	6,84	3	6,85	4,5	7,14	6	6,88	7,5	6,99	9	6,97
Volumen de coagulante aplicado (ml)	Resultados de Ph															
1,5	6,84															
3	6,85															
4,5	7,14															
6	6,88															
7,5	6,99															
9	6,97															
Vol. Aplicado (ml)	-															
1,5	6,84															
3	6,85															
4,5	7,14															
6	6,88															
7,5	6,99															
9	6,97															

NOTAS: En principio se sabe que la materia orgánica puede generar un aumento de pH pues en algunas situaciones tiende a generar gases y algunos subproductos que acidifican, en este caso ese efecto fue casi nulo y nos permitió cumplir con la normativa y sus valores admisibles.

Fuente. Propia

En la tabla 21, se presentaron los resultados de pH obtenidos de los ensayos con una combinación de solución de haba en un 50% y sulfato de aluminio en 50% para los diferentes volúmenes usados en el test de jarras.

Tabla 21. Resultados de pH para combinación 50% haba – 50% sulfato de aluminio.

VALORES		GRAFICA																
pH	para muestras de 50 - 50	pH con combinacion 50-50 <table border="1"><thead><tr><th>Volumen de coagulante aplicado (ml)</th><th>Resultados de Ph</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>7,5</td></tr><tr><td>1,5</td><td>-</td></tr><tr><td>3</td><td>6,94</td></tr><tr><td>4,5</td><td>6,8</td></tr><tr><td>6</td><td>6,56</td></tr><tr><td>7,5</td><td>6,56</td></tr><tr><td>9</td><td>5,22</td></tr></tbody></table>	Volumen de coagulante aplicado (ml)	Resultados de Ph	0	7,5	1,5	-	3	6,94	4,5	6,8	6	6,56	7,5	6,56	9	5,22
Volumen de coagulante aplicado (ml)	Resultados de Ph																	
0	7,5																	
1,5	-																	
3	6,94																	
4,5	6,8																	
6	6,56																	
7,5	6,56																	
9	5,22																	
Vol. Aplicado (ml)	-																	
1,5	-																	
3	6,94																	
4,5	6,8																	
6	6,56																	
7,5	6,56																	
9	5,22																	

NOTAS: Los resultados de este ensayo indican las deficiencias que genera el tener un volumen elevado, por esta razón se ve que hay una alcalinización del agua para la muestra con el volumen de 9ml

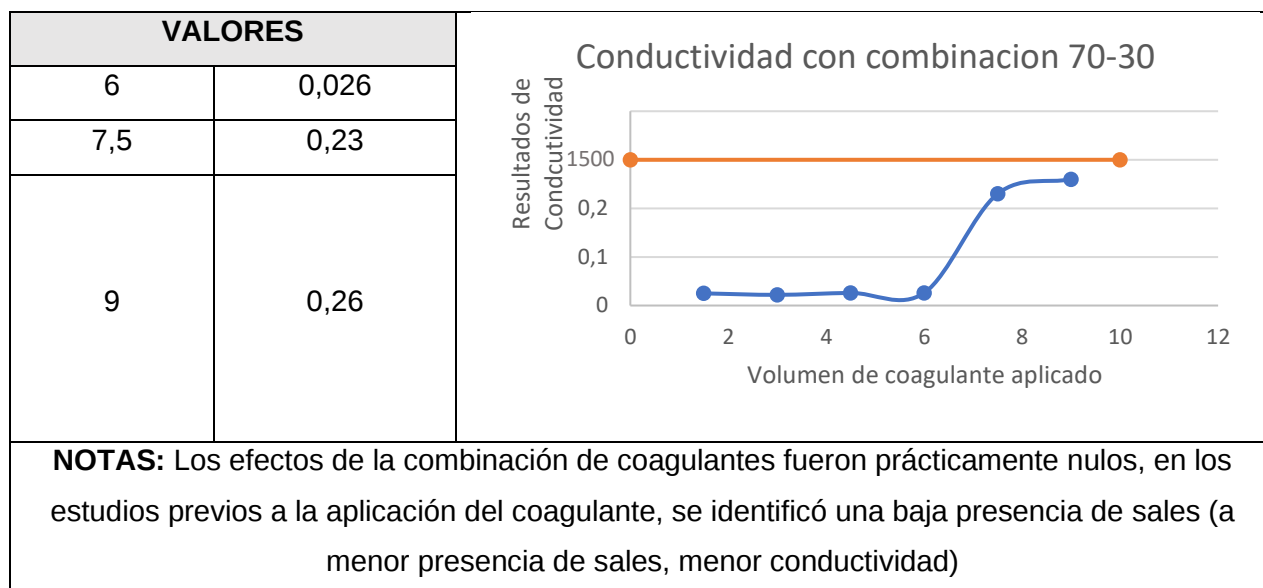
Fuente. Propia

❖ CONDUCTIVIDAD:

En tabla 22, se presentan los resultados de conductividad obtenidos de los ensayos que contenían una combinación de solución de haba en un 70% y sulfato de aluminio en 30% para los diferentes volúmenes usados en el test de jarras.

Tabla 22. Resultados de conductividad para combinación 70% haba – 30% sulfato de aluminio.

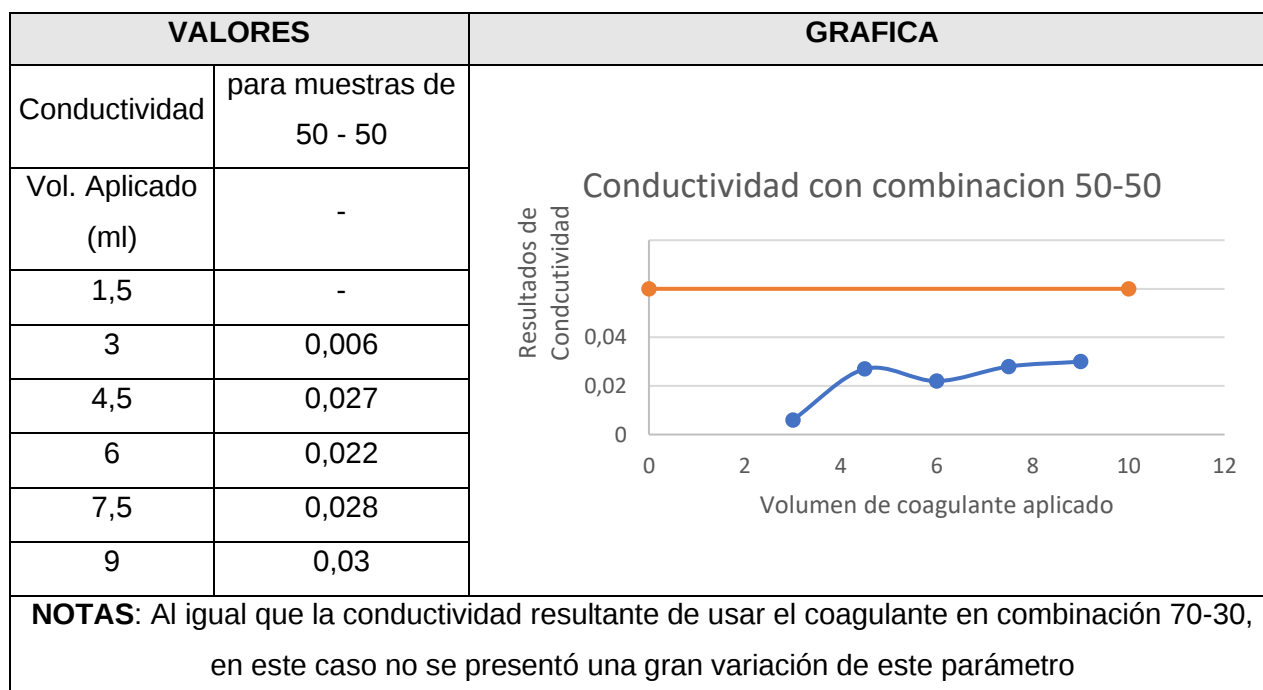
VALORES		GRAFICA
Conductividad	para muestras de 70-30	
Vol. Aplicado (ml)	-	
1,5	0,025	
3	0,022	
4,5	0,026	



Fuente. Propia

En la tabla 23, se presentaron los resultados de conductividad obtenidos de los ensayos con una combinación de solución de haba en un 50% y sulfato de aluminio en 50% para los diferentes volúmenes usados en el test de jarras.

Tabla 23. Resultados de conductividad para combinación 50% haba – 50% sulfato de aluminio.



Fuente. Propia

❖ COLOR APARENTE:

En cuanto a la medición del color aparente, es importante aclarar que el valor máximo aceptable dispuesto en la normativa correspondiente al tratamiento de aguas para consumo humano es de 15 UH. Sin embargo, para el proyecto se tomó como valor máximo 100 UH, esto debido a que visualmente fue un resultado bastante aceptable. La razón de esta variación en la medición del parámetro, se debe a que, para obtener resultados menores de 15 UH es necesario usar equipos de alta precisión.

En la tabla 24, se presentaron los resultados de color aparente obtenidos de los ensayos que contenían una combinación de solución de haba en un 70% y sulfato de aluminio en 30% para los diferentes volúmenes usados en el test de jarras.

Tabla 24. Resultados de color aparente para combinación 70% haba – 30% sulfato de aluminio.

VALORES		GRAFICA														
Color aparente	para muestras de 70-30	Color con combinacion 70-30 <table><caption>Data points from the graph</caption><thead><tr><th>Volumen de coagulante aplicado (ml)</th><th>Resultados de Color</th></tr></thead><tbody><tr><td>1,5</td><td>203</td></tr><tr><td>3</td><td>245,5</td></tr><tr><td>4,5</td><td>237,5</td></tr><tr><td>6</td><td>224,5</td></tr><tr><td>7,5</td><td>202</td></tr><tr><td>9</td><td>111</td></tr></tbody></table>	Volumen de coagulante aplicado (ml)	Resultados de Color	1,5	203	3	245,5	4,5	237,5	6	224,5	7,5	202	9	111
Volumen de coagulante aplicado (ml)	Resultados de Color															
1,5	203															
3	245,5															
4,5	237,5															
6	224,5															
7,5	202															
9	111															
Vol. Aplicado (ml)	-															
1,5	203															
3	245,5															
4,5	237,5															
6	224,5															
7,5	202															
9	111															

NOTAS: La sedimentación que generó la combinación de 70-30 mostró ineficiencias a la hora de precipitar la materia orgánica presente. El volumen de coagulante es un factor influyente que produce resultados favorables cuando aumenta.

Fuente. Propia

En la tabla 25, se presentaron los resultados de color aparente obtenidos de los ensayos con una combinación de solución de haba en un 50% y sulfato de aluminio en 50% para los diferentes volúmenes usados en el test de jarras.

Tabla 25. Resultados de color aparente para combinación 50% haba – 50% sulfato de aluminio.

VALORES		GRAFICA																
Color aparente	para muestras de 50 - 50	Color con combinacion 50-50 <table><thead><tr><th>Volumen de coagulante aplicado</th><th>Resultados de Color</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>100</td></tr><tr><td>3</td><td>69</td></tr><tr><td>4,5</td><td>209</td></tr><tr><td>6</td><td>192</td></tr><tr><td>7,5</td><td>41,5</td></tr><tr><td>9</td><td>40</td></tr><tr><td>10</td><td>100</td></tr></tbody></table>	Volumen de coagulante aplicado	Resultados de Color	0	100	3	69	4,5	209	6	192	7,5	41,5	9	40	10	100
Volumen de coagulante aplicado	Resultados de Color																	
0	100																	
3	69																	
4,5	209																	
6	192																	
7,5	41,5																	
9	40																	
10	100																	
Vol. Aplicado (ml)	-																	
1,5	-																	
3	69																	
4,5	209																	
6	192																	
7,5	41,5																	
9	40																	

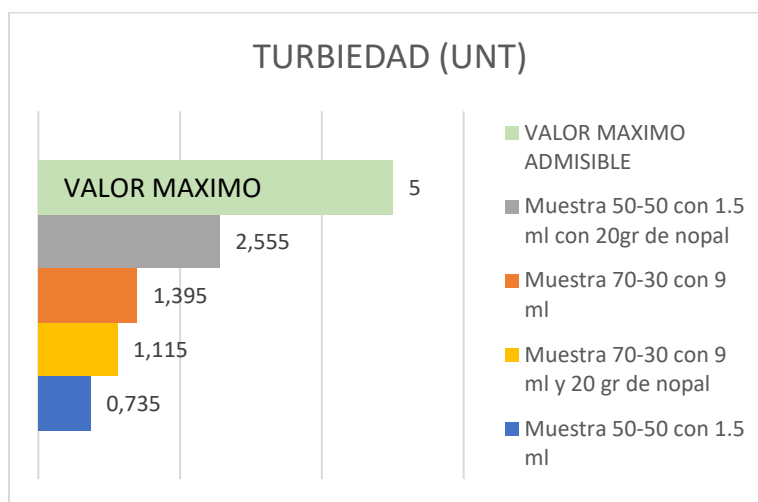
NOTAS: Teniendo en cuenta las condiciones de estudio y el entorno con el que se trabajó se ven modificadas las condiciones admisibles y se tuvo que 3 de las 5 muestras dieron valores inferiores a 100 UH

Fuente. Propia

❖ RESULTADOS COMPARATIVOS FINALES:

Para un mejor análisis en los resultados se realizó una comparación grafica representada en la figura 36, entre los resultados de cada una de las combinaciones realizadas en laboratorio para el parámetro de turbiedad.

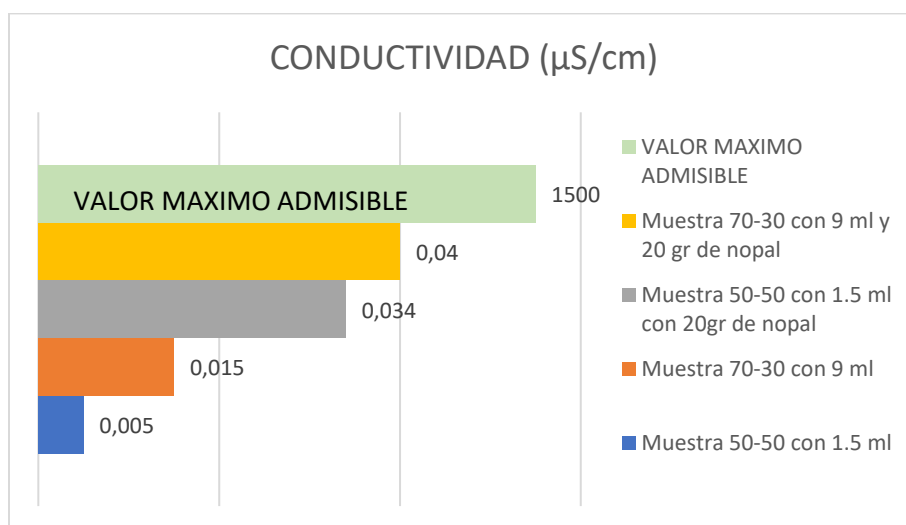
Figura 36. Grafica de comparación de Turbiedades



Nota: Se observo según la gráfica que todas las muestras en sus distintas combinaciones fueron aceptables, ya que se encuentran bajo el valor máximo admisible de 5 UNT dispuesto en la normativa correspondiente al tratamiento de aguas para consumo humano. Fuente: Propia

Para un mejor análisis en los resultados se realizó una comparación grafica representada en la figura 37, entre los resultados de cada una de las combinaciones realizadas en laboratorio para el parámetro de conductividad.

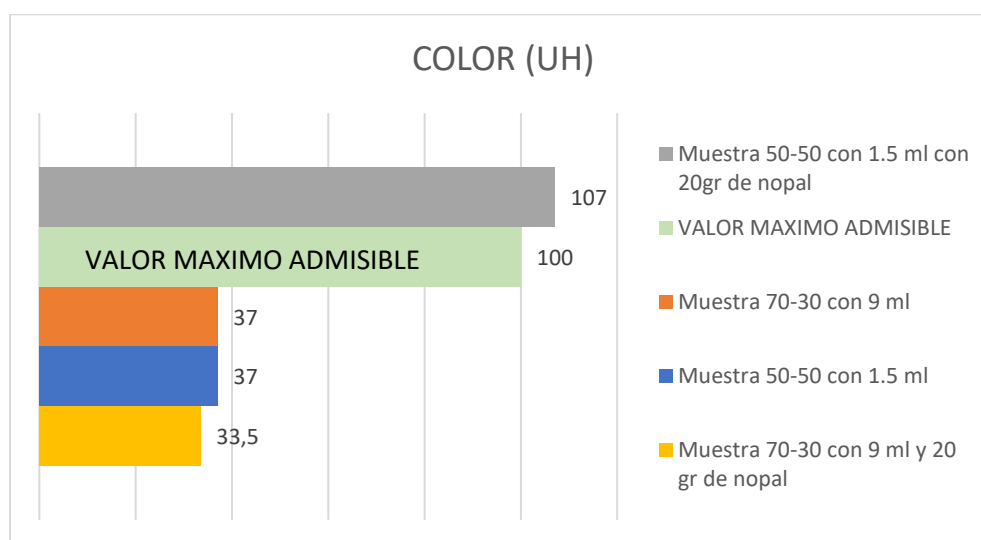
Figura 37. Grafica de Comparación de Conductividad.



Nota: Se observo según la gráfica que todas las muestras en sus distintas combinaciones fueron aceptables ya que se encuentran bajo el valor máximo admisible de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dispuesto en la normativa correspondiente al tratamiento de aguas para consumo humano. Fuente: Propia.

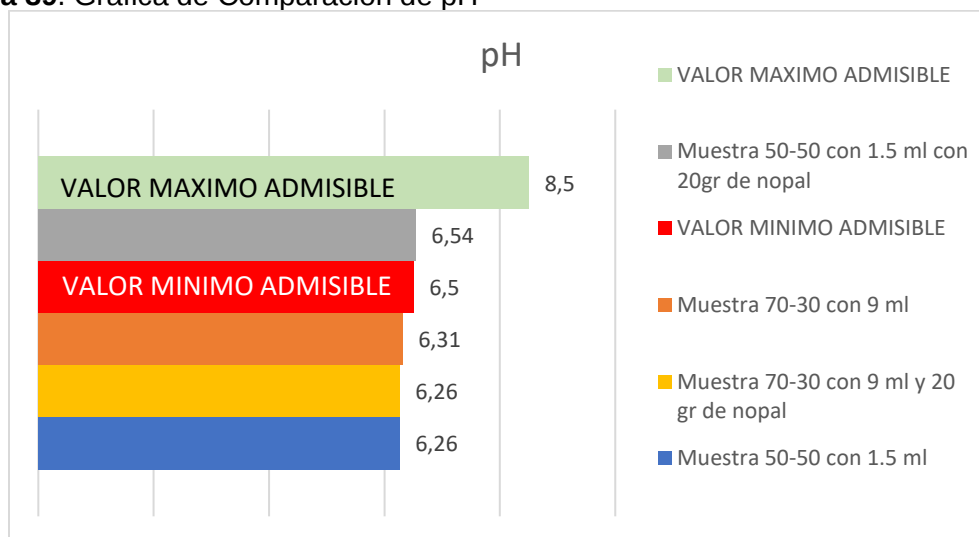
Para un mejor análisis en los resultados se realizó una comparación grafica representada en la figura 38, entre los resultados de cada una de las combinaciones realizadas en laboratorio para el parámetro de color aparente.

Figura 38. Grafica de Comparación de Color Aparente.



Nota: Se pudo observar según la gráfica que solo la muestra de 50 – 50 con agregado de 20 gr de nopal, no cumplió con el valor máximo admisible de 100 UH dispuesto para este proyecto. Fuente: Propia.

Para un mejor análisis en los resultados se realizó una comparación grafica representada en la figura 39, entre los resultados de cada una de las combinaciones realizadas en laboratorio para el parámetro de pH.

Figura 39. Grafica de Comparación de pH

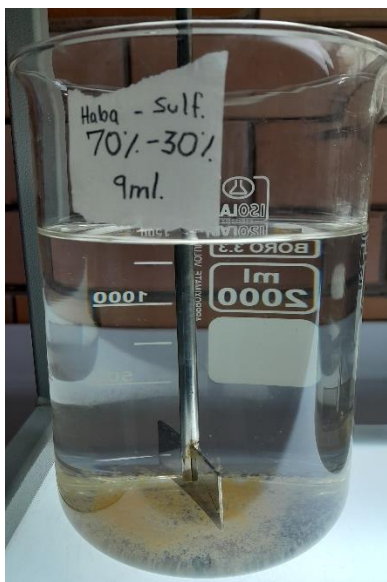
Fuente. Propia

Nota: Se pudo observar según la gráfica que todas las muestras en sus distintas combinaciones fueron aceptables ya que se encontraban muy cercanas a el valor mínimo admisible de 6.5, Sin embargo, la muestra 50-50 con 1.5ml y presencia de 20gr de nopal si se encontró dentro del rango permitido dispuesto en la normativa correspondiente al tratamiento de aguas para consumo humano.

❖ **RESULTADOS COMPARATIVOS DE FLOCS:**

Para el análisis de los resultados fue necesaria una comparación visual de las 4 combinaciones realizadas en laboratorio, en la figura 40 se presentó el resultado de floculación en la combinación 70% - 30% del parámetro de tamaño y cantidad de floccs.

Figura 40. Floculación 70% - 30%.



Fuente. Propia

Nota: La muestra uno de 70% haba - 30% sulfato presentó una coagulación apropiada, el tamaño de las flocs con respecto al de 50% - 50% fue mayor y la sedimentación de los flocs es probablemente la más eficiente en las cuatro muestras presentadas.

Para el análisis de los resultados fue necesaria una comparación visual de las 4 combinaciones realizadas en laboratorio, en la figura 41 se presentó el resultado de floculación para combinación 50% - 50% para el parámetro de tamaño y cantidad de flocs.

Figura 41. Coagulación 50% - 50%.

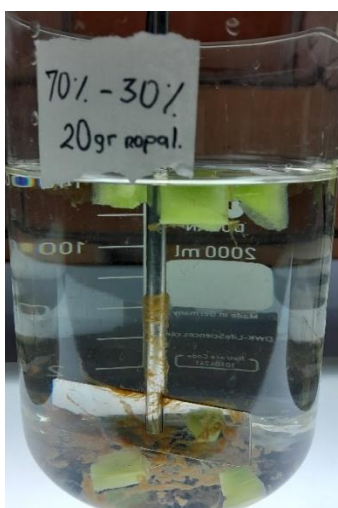


Fuente. Propia

Nota: En la muestra 50% - 50% presentó una coagulación correcta, el tamaño de los flocs con respecto a la muestra de 70% - 30% fue un poco más reducida y para tener la sedimentación por completo requirió más de 30 min y además de ello visualmente se vio que es un poco más turbia que el agua de 70% - 30%

Para el análisis de los resultados fue necesaria una comparación visual de las 4 combinaciones realizadas en laboratorio, en la figura 42 se presentó el resultado de floculación para combinación 70% - 30% + 20 gr de nopal para el parámetro de tamaño y cantidad de flocs.

Figura 42. Coagulación 70% - 30% + 20 gr de nopal.

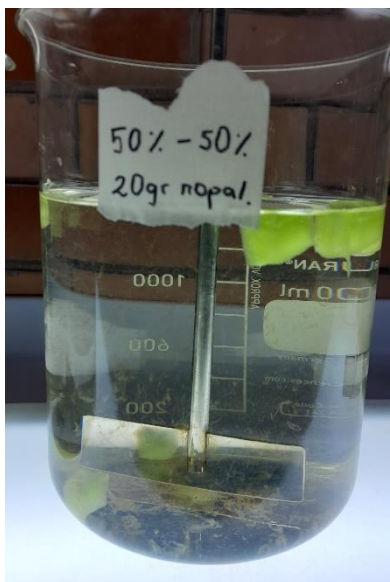


Fuente. Propia

Nota: La muestra que corresponde a la combinación de 70% - 30% con 20 gramos de nopal presento cambios significativos de forma visual: La floculación se generó mucho más rápido, los flocs presentaron un mayor tamaño y lo que se identificó luego de los 30 minutos de sedimentación es que hubo partes del nopal que se sedimentaron, a diferencia de la combinación de 50% - 50% en el que no se tiene mucha evidencia de ello, en cuanto a la claridad del agua se vio más limpia que la de 50% - 50% + 20 gramos de nopal. Pero continuó teniendo mejor claridad la muestra de 70% - 30%.

Para el análisis de los resultados fue necesaria una comparación visual de las 4 combinaciones realizadas en laboratorio, en la figura 43 se presentó el resultado de floculación para combinación 50% - 50% + 20 gr de nopal para el parámetro de tamaño y cantidad de flocs.

Figura 43. Coagulación 50% - 50% + 20 gr de nopal.

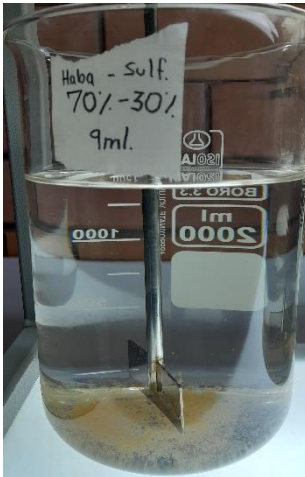
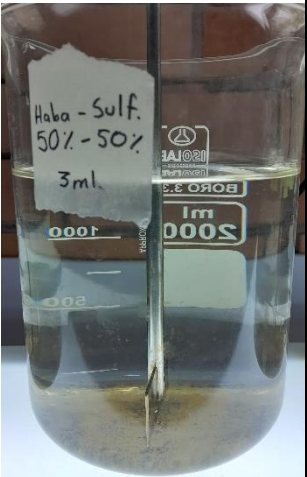
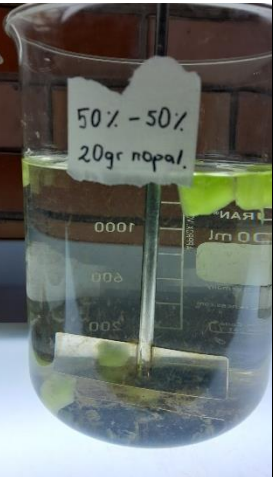


Fuente. Propia

Nota: En la muestra correspondiente a 50% - 50% + 20 gramos de nopal, se pudo observar que los flocs fueron de menor tamaño y posterior a los 30 minutos de sedimentación aún se encontraban muchos cuerpos suspendidos en el agua, por lo tanto, fue necesario incrementar el tiempo correspondiente al proceso, el cual ha sido mucho más rápido en las otras muestras como en el caso de 70% - 30%

En la tabla 26, se evidenció la comparación visual de los cuerpos suspendidos (flocs) luego de cada proceso.

Tabla 26. Comparación final de flocs.

COMPARACIÓN FINAL LUEGO DE 30 MIN DE SEDIMENTACIÓN			
70% – 30%	50% - 50%	70% – 30% + 20 gr de nopal	50% - 50% + 20 gr de nopal
			
NOTAS: En la comparación visual de tamaño y cantidad de flocs se evidencio que la dosis más optima y eficiente resultado ser la de 70% - 30% con un volumen de 9 ml, cabe resaltar que los flocs generados en la muestra de 70% - 30% + 20 gr de nopal obtuvieron un mayor tamaño y el tiempo de sedimentación fue el mejor, pero el tamaño de los cuerpos suspendidos dificultó la remoción de los mismos (atascamiento de los flocs en los agitadores mecánicos), por eso no se tomó como el más viable, aunque fue igual de efectivo.			

Fuente. Propia

6. Conclusiones

- El uso exclusivo de almidón de haba (haba en polvo) no es viable para este tipo de tratamiento de agua debido a que incrementa parámetros como la turbiedad y el color aparente.
- No es posible preparar la solución de haba y dejarla para un posterior uso, como si es posible con la solución de sulfato de aluminio, ya que la fermentación con el paso de los días afecta los resultados.
- El haba disminuye sus propiedades al no estar fresca.
- A pesar de que la materia orgánica suele acidificar el agua, en este caso, debido a la combinación con el sulfato de aluminio, se observó prácticamente neutralizado este fenómeno natural.
- La combinación entre coagulante natural y coagulante químico, mostró que para el caso de 70-30 a mayor volumen de coagulante, mejores son los resultados en cuanto a remoción de turbiedad, sin embargo, en algunos casos los equipos usados en los ensayos mostraron valores bajos a pesar de que mediante un análisis visual no era acorde este resultado.
- Teniendo en cuenta que el valor inicial de turbiedad fue de 3.985 UNT, para las diferentes propuestas de tratamiento se obtuvo que: "La muestra de 50% Haba - 50% Sulfato de Aluminio tuvo una reducción promedio del 81.55% con respecto al valor inicial" "La muestra de 70% Haba - 30% Sulfato de Aluminio tuvo una reducción promedio del 64.99% con respecto al valor inicial" "La muestra de 50% Haba - 50% Sulfato de Aluminio más 20 gr de nopal tuvo una reducción promedio del 35.88% con respecto al valor inicial" "La muestra de 70% Haba - 30% Sulfato de Aluminio más 20 gr de nopal tuvo una reducción promedio del 72.02% con respecto al valor inicial"

- Mediante un ensayo de prueba y error se encontró que los volúmenes ideales para el tratamiento de esta agua según el método a usar son: “Para la muestra de 50% Haba - 50% Sulfato de Aluminio es de 1.5 ml/1500 ml de agua” “Para la muestra de 70% Haba - 30% Sulfato de Aluminio es de 9 ml/1500 ml de agua” “Para la muestra de 50% Haba - 50% Sulfato de Aluminio más 20 gr de nopal es de 1.5 ml más 20 gr de nopal por cada 1500 ml de agua” “Para la muestra de 70% Haba - 30% Sulfato de Aluminio más 20 gr de nopal es de 9 ml más 20 gr de nopal por cada 1500 ml de agua”.
- En cuanto al impacto observado del componente orgánico presente en el tratamiento de aguas, se pudo deducir que el coagulante natural facilitó la unión de las partículas suspendidas aumentando el tamaño de los flocs, mientras que el agente químico, en este caso el sulfato de aluminio cumplía la función de sedimentar dichas partículas.

7. Recomendaciones

- No usar muestras de agua que hayan excedido las 24 horas desde su toma.
- En el momento de realizar la toma de muestras de agua, hacer uso de recipientes previamente lavados con jabón neutro para evitar la contaminación de agentes externos que pudieran alterar los parámetros iniciales.
- Al usar una nueva muestra de agua siempre tomar los parámetros iniciales, ya que los factores climáticos, la época del año, incluso la temperatura o el tránsito de gente pueden variarlos sin importar que siempre sea la misma fuente de captación.
- Usar habas frescas y recién trituradas (24h Max).
- No hacer uso de la materia orgánica si esta se encuentra fermentada, puede afectar los resultados del laboratorio.
- Para la solución de haba, se recomienda emplear relaciones de 1/10 con volúmenes mínimos de 250ml para lograr una correcta disolución del polvo del haba.

- En el proceso de preparación de polvo del haba, se sugiere realizar la operación de manera manual, permitiendo así la separación de la cáscara del haba del fruto como tal.
- Se recomienda la no hidratación del haba previo a su molido, ya que esto podría acelerar su proceso de fermentación.
- Posterior al tratamiento con la materia orgánica, se recomienda el uso de papel filtro u otro método mecánico para eliminar partículas y sólidos sedimentados.
- Se recomienda para el caso de las soluciones de 50% haba - 50% sulfato de aluminio 70% haba y 30% sulfato, aumentar el tiempo de sedimentación de manera que el proceso sea más efectivo para su posterior eliminación.

8. Bibliografía

Resolución 2115 - 2007. (n.d.). Gov.co. Retrieved January 13, 2024.

<https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>

Bautista, Á. S., García, K. X. Á., Cervera, A. M. L., Domínguez, F. M. V., Guerrero, D. G. H., Guerra, N. E. P., & Padilla, Y. M. M. (2022). Uso del mucílago del nopal en el tratamiento de aguas para su potabilización. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 16, 1–9. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3786>

Gil, M. (2021, November 12). ¿Cómo diseñar y formar un buen floc? iAgua.

<https://www.iagua.es/blogs/mauricio-gil/como-disenar-y-formar-buen-floc>

Noguera, I. B. (2022, April 26). Floculación para el tratamiento de aguas. *Ingeniería Química Reviews*. <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2022/04/floculacion-trtamiento-de-aguas.html>

(N.d.). Org.Co. Retrieved January 3, 2024.

http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100029

(N.d.-b). Researchgate.net. Retrieved January 3, 2024, (PDF) Moringa Oleifera; Importancia, Funcionalidad y Estudios Involucrados., Sánchez-Peña, Y.A.; Martínez-Ávila,

G.C.G.; Sinagawa-García, S.R.; Vázquez-Rodríguez, J.A., AQM Acta Química Mexicana, Vol.5, Pag.25-29, Revistas Arbitradas. 2013. (researchgate.net)

Lédo, P. G. S., Lima, R. F. S., Paulo, J. B. A., & Duarte, M. A. C. (2009). Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleifera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad. CIT Informacion Tecnologica, 20(5), 3–12.
<https://doi.org/10.4067/s0718-07642009000500002>

Karen Paola Contreras Lozano, Yelitza Aguas Mendoza, Jairo, Guadalupe Salcedo Mendoza, Rafael Olivero Verbel, Gean Pablo Mendoza Ortega. (2014). El Nopal (Opuntia ficus-indica) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua*.

9.Referencias

- LMI An Ingersol Rand Business, «LMI pumps,» s.f. [En línea]. Available: <https://www.lmipumps.com/es-co/technologies/coagulation-and-flocculation-in-water-treatment#:~:text=La%20coagulaci%C3%B3n%20es%20el%20proceso,proceso%20para%20neutralizar%20la%20carga.>
- [2] Equipos y Laboratorio de Colombia, «Equipos y Laboratorio de Colombia,» s.f. [En línea]. Available: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/floculacion.>
- [3] agrovin, «agrovin,» 22 marzo 2021. [En línea]. Available: [https://agrovin.com/polisacaridos-que-son-y-para-que-sirven/.](https://agrovin.com/polisacaridos-que-son-y-para-que-sirven/)
- [4] Higieneambiental.com, «Higieneambiental.com,» 24 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable.>
- [5] waterboards.ca.gov, «Folleto Informativo pH,» s.f. [En línea]. Available: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf.
- [6] Higieneambiental.com, «Higieneambiental.com,» 17 mayo 2019. [En línea]. Available: <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/color-del-agua-parametro-indicador-de-calidad.>

- [7] waterboards.ca.gov, «Cartilla Informativa de Conductividad,» [En línea]. Available: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf.
- [8] Universidad de Jaén, «Ujaén,» 15 marzo 2005. [En línea]. Available: <https://www4.ujaen.es/~ecastro/proyecto/operaciones/movimiento/sedimentacion.html#:~:text=Se%20trata%20de%20una%20operaci%C3%B3n,transferencia%20de%20cantidad%20de%20movimiento.>
- [9] F. J. L. Garachana, «club iagua,» 29 enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/francisco-jose-lara-garachana/evaluacion-tiempo-contacto-efectivo-tanques-cloracion-simulacion.>
- [10] DANE, «FICHA TECNICA Sistema de Información del Medio Ambiente,» s.f. [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos_suspension.pdf.
- [11] OpenStax College, «Khan Academy,» s.f. [En línea]. Available: <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/chemistry-of-life/introduction-to-biological-macromolecules/a/chemical-bonds-article.>
- [12] Upct, «Análisis de aguas,» s.f. [En línea]. Available: https://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf.
- [13] Thierry corp, «Thierry Germany,» s.f. [En línea]. Available: <https://www.thierry-corp.com/es-mx/plasma-knowledgebase/hidrof%C3%ADlico>.
- [14] bioquibi, «Interacciones hidrofóbicas,» s.f. [En línea]. Available: <https://bioquibi.webs.ull.es/temascompletos/InteraccionesNC/agua/hidrofobicos.htm>.
- [15] Empresa de servicios publicos de pitalito E.S.P, «Empitalito,» 15 agosto 2018. [En línea]. Available: https://www.empitalito.gov.co/images/procesos_y_procedimientos/B-OPERATIVO/B.01.01.PR.07---PROCEDIMIENTO-PRUEBA-DE-JARRAS.pdf?%23zoom=85&%3Bscrollbar=0&%3Btoolbar=0&%3Bnavpanes=0#:~:text=Prueba%20de%20jarras%3A%20ensayo%20de,mediante%20la%20adici%C3%B3n%20
- [16] M. Sandoval y J. Laines, «Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metalicos para tratamineto de aguas superficiales,» Universidad Autónoma de Yucatán, Merida , 2012.
- [17] J. Moreira y C. Moreira, «Revista colon ciencias,tecnologia y negocios,» 7 Agosto 2021. [En línea]. Available: [http://portal.amelica.org/ameli/journal/215/2152932006/html/#:~:text=As%C3%AD%20mismo%20el%20coagulante%20de,l%20\(Figura%203\)..](http://portal.amelica.org/ameli/journal/215/2152932006/html/#:~:text=As%C3%AD%20mismo%20el%20coagulante%20de,l%20(Figura%203)..)
- [18] Colombia Potencia de la Vida, «minvivienda,» 11 noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/gestion-institucional/calidad-del-agua-para-consumo-humano.>

