

**EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA ACCIÓN DE SEMILLAS DE MORINGA
OLEÍFERA COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA REMOCIÓN DE
COLOR, EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO CENTENARIO
DEL MUNICIPIO DE PASTO.**

**FABIÁN ANDRÉS QUIÑONES VILLOTA
ERNESTO MEDARDO RIASCOS INSUASTY**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2018**

**EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA ACCIÓN DE SEMILLAS DE MORINGA
OLEÍFERA COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA REMOCIÓN DE
COLOR, EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO CENTENARIO
DEL MUNICIPIO DE PASTO.**

**FABIÁN ANDRÉS QUIÑONES VILLOTA
ERNESTO MEDARDO RIASCOS INSUASTY**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
ROBERTO SALAZAR CANO
I.C. M.Sc. en Ingeniería Sanitaria y Ambiental
Docente Titular Universidad de Nariño**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2018**

NOTA DE RESPONSABILIDADES

Los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el trabajo de grado son responsabilidad única y exclusiva de los educandos.

Artículo 1° acuerdo N° 324 del 11 de octubre de 1966 del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010, emanado del Honorable Consejo Académico.

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, octubre de 2017.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Dios, por entregarnos la vida, la salud y la oportunidad de disfrutar a nuestras familias, gracias a ellas por apoyarnos en las decisiones tomadas y en la culminación de esta etapa de nuestros proyectos de vida.

Al Ing. Roberto Salazar Cano, por su dirección en el estudio realizado.

A la Ing. Lorena Salazar, por el apoyo prestado en este proyecto.

Al profesor Roberto García, por el seguimiento brindado en el laboratorio de hidráulica, por su apoyo y colaboración en la parte experimental del proyecto.

A la profesora Alba Lucy Enríquez, por el seguimiento brindado en el laboratorio de química, por su apoyo y colaboración en la parte experimental del proyecto.

A la Universidad de Nariño, la cual abrió sus puertas para formarnos profesionalmente.

A cada docente que hizo parte de los procesos de formación.

A los evaluadores de este proyecto, por el tiempo dedicado a su revisión y sus valiosos aportes.

A todos los que fueron nuestros compañeros de clase, por su compañerismo, amistad y apoyo moral.

DEDICATORIAS

- A Dios, por sus infinitas bendiciones,
- Mis agradecimientos especiales a Luz Marina la mujer que ha estado a mi lado de manera incondicional, su ejemplo, dedicación y comprensión mantuvieron siempre mis deseos de declinar en muchos momentos difíciles,
- A Mi hijo Andrés Felipe motivo de mi vida
- A mis Padres y hermanos, motor de mis sueños y fuente permanente de motivación por sus palabras de apoyo y respaldo,
- A la Universidad de Nariño y todos sus docentes, por la academia y formación profesional
- A todos mis compañeros y amigos por su esfuerzo y dedicación

Fabián Andrés Quiñones Villota

- A Dios, por darme una familia especial, cimiento de mi vida profesional
- A Gladys e Irma Insuasty, por su unión, ejemplo de responsabilidad, superación y honradez
- A mi hermano Christian, por su modelo de vida
- A Sodeyma Ramos, por su amor, su tiempo y por enseñarme a valorar los detalles de la vida
- A mis tíos y primos, por su ejemplo y sacrificios
- A mi familia, a mis amigos y los que ya no nos acompañan físicamente por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.

Ernesto Medardo Riascos Insuasty

RESUMEN

Esta investigación evalúa y valida la eficiencia del coagulante proveniente de la semilla de Moringa Oleífera en la remoción de color en el agua que abastece la Planta de tratamiento Centenario, que suministra el agua potable a Pasto, cuyo principal problema es la remoción de color. Validando un método alternativo de bajo impacto ambiental para mejorar la calidad del agua.

Mediante ensayos de simulación de coagulación floculación (Prueba de Jarras, NTC 3903) se evalúa la eficiencia de porcentajes de remoción de color y turbiedad en la muestra 1 agua cruda de la Planta Centenario y la muestra 2 agua cruda de la quebrada El Barbero, con cuatro coagulantes, identificando y evaluando los parámetros de color, turbiedad, pH y alcalinidad y se selecciona C2 como el mejor coagulante, se realiza aguas sintéticas estableciendo un rango de acción del coagulante determinando que a mayor contenido de color y turbiedad existen mejores porcentajes de remoción.

Se toma la muestra 3 agua cruda de la Planta Centenario con color inicial verdadero de 232 UPC, turbiedad de 15,68 UNT y alcalinidad de 21 mg/L, se realiza prueba de Jarras con el coagulante C2, obteniendo una dosis óptima de 15 ml/L equivalente a una concentración de 187,5 p.p.m, determinando un porcentaje de remoción de color del 61.15%, de turbiedad 61.25% y alcalinidad sin variación considerable, Se realiza 5 ensayos con dosis óptima con el objetivo de tener 30 datos para validar el comportamiento del coagulante por medio de análisis de varianza de un solo factor (ANOVA), con un error (α) de 0.05 determinando que el coagulante y el proceso efectuado son válidos.

Comparando el coagulante natural frente al Policloruro de Aluminio (PAC) utilizado en la planta Centenario debido a sus altos contenidos de color, se obtiene un porcentaje de remoción de color de 61.15% frente al 99.57% logrado con el PAC.

Analizando costos la alternativa natural resulta similar a la utilización de PAC, teniendo en cuenta el impacto ambiental y humano.

ABSTRACT

This investigation evaluate and validate the efficiency of the coagulant which comes from morinfa oleifera seds in the remotion of colour in the water which provide the processing facilitie Centenario which is the responsable of provide clean water to Pasto. The main problem of this water is the remotion of colour that is why is necessary to look for an alternative method of low environmental impact which improve the quality of the water.

Through simulation test of cuagulation and flocculation (jar test, NTC 3903) is evaluated the efficiency of percents of colour remotion and turbidity in the samples number 1 which is compose with water without treatment provided of Centenario water Plant and the sample number 2 which comes from the ravine "el Barbero" with water in the same condition (raw water), with four coagulants identificating and testing the parameters of colour, turbidity, pH and alkalinity and is chosen the C2 as the best coagulant, is created synthetic water established an action range of the determined coagulant which shows that with mayor percent of colour or turbidity is better the remotion percents.

The sample number 3 of raw water of Centenario Plant had a initial true colour of 232 UPC, turbidity of 15.68 UNT and alkalinity of 21 mg/l later is made jar test with the coagulant C2 having and optimus dose of 15 ml equivalent to a concentration of 187.5 p.p.m determinating a percent of remotion of colour of 61.15%, and turbidity of 61.25% and alkalinity without a considerable variation, is made 5 test with óptimal dose with the objective of have 30 dates and validate the behaviour of the coagulant through the analysis of the coagulant looking for just one factor (ANOVA) with a difference of 0.05 determinating that the coagulant and the process made it is valide.

Comparanting the natural coagulant with the aluminum polychloride (PAC) wich Is use un the processing facilities Centenario due the high presence of colour, has as result a percent of colour remotion of 61.15% compared with the 99.57% made by the PAC.

As a nutshell comparanting the cost of the natural alternative the results are similar if is used the PAC paying attention in the environmental impact and in human resources.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO TEÓRICO.....	25
1.1 POTABILIZACIÓN DE AGUA.	25
1.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	26
1.2.1 Turbiedad.	26
1.2.2 Color.....	27
1.2.3 pH.....	27
1.2.4 Alcalinidad.....	27
1.2.5 Naturaleza del color.	28
1.2.6 Los coloides.	29
1.3 USO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA LAM EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN DE LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS...	32
1.4 PRUEBA DE JARRAS	33
1.4.1 Mezcla rápida.....	33
1.4.2 Mezcla lenta.	34
1.4.3 Sedimentación.	34
1.5 NORMATIVIDAD COLOMBIANA SOBRE CALIDAD DEL AGUA.....	34
1.5.1 Decreto 1575 y resolución 2115/2007.....	34
2. METODOLOGÍA	36
2.1 PRIMERA ETAPA. DETERMINACIÓN DE LA MEJOR SOLUCIÓN COAGULANTE ORGÁNICA.	36
2.1.1 Preparación de la semilla.	36
2.1.2 Preparación de las soluciones coagulantes.	36
2.1.3 Determinación de la efectividad de los 4 coagulantes.....	39
2.1.4 Evaluación del coagulante con aguas de diferentes color y turbiedad	

	en aguas sintéticas.....	42
2.2	SEGUNDA ETAPA. EVALUACION Y VALIDACION DEL COAGULANTE EN CONDICIONES DE COLOR ALTO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO CENTENARIO	43
2.2.1	Caracterización de algunos parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos de la calidad de la fuente para su potabilización en la planta de tratamiento Centenario.....	43
2.2.2	Determinación de parámetros estadísticos para la validación de los resultados.....	44
2.2.3	Determinación de la dosis óptima de policloruro de aluminio (PAC).....	44
2.3	TERCERA ETAPA.	45
2.3.1	Identificación y evaluación de algunos parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos con efecto para la salud humana posteriormente al proceso de potabilización con coagulante natural proveniente de la semilla de Moringa Oleífera y al coagulante sintético policloruro de aluminio (PAC).	45
2.3.2	Eficiencia de remoción de color con la utilización de coagulante policloruro de aluminio (PAC) y coagulante natural proveniente la semilla de Moringa Oleífera y comparar los resultados obtenidos:	45
2.3.3	Evaluación económica de los costos de las dos alternativas y analiza la factibilidad de la implementación del coagulante natural proveniente la semilla de moringa oleífera.	46
3.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	47
3.1	PRIMERA ETAPA	47
3.1.1	Determinación de la mejor solución coagulante natural.....	47
3.1.2	Evaluación del coagulante con aguas de diferentes color y turbiedad en aguas sintéticas.....	52
3.2	SEGUNDA ETAPA.....	53
3.2.1	Evaluación y validación del coagulante en condiciones de color alto en la planta de tratamiento centenario.	53

3.2.2	Caracterización de algunos parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos de la calidad de la fuente para su potabilización en la planta de tratamiento Centenario.....	60
3.2.3	Determinación de parámetros estadísticos para la validación de los resultados.....	61
3.2.4	Determinación de la dosis óptima de policloruro de aluminio (PAC).....	63
3.3	TERCERA ETAPA	64
3.3.1	Identificación y evaluación de algunos parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos con efecto para la salud humana, posterior al proceso de potabilización con coagulante natural proveniente de la semilla de moringa oleífera y al coagulante sintético policloruro de aluminio (PAC).....	64
3.3.2	Eficiencia de remoción de color con la utilización de coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) y coagulante natural proveniente la semilla de moringa oleífera y comparación de los resultados obtenidos.....	66
3.3.3	Evaluación económica de los costos de las dos alternativas y analizar la factibilidad de la implementación del coagulante natural proveniente la semilla de Moringa Oleífera.....	67
4.	CONCLUSIONES.....	69
5.	RECOMENDACIONES	71
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

LISTAS DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.	Diagrama de proceso de potabilización convencional.	26
Figura 2.	Clasificación de los coloides.	30
Figura 3.	Preparacion de Semilla	36
Figura 4.	Pesaje de semilla de MO y NaCl.	36
Figura 5.	Materiales e insumos para preparación de coagulante.	37
Figura 6.	Agitacion del coagulante.	38
Figura 7.	Decantacion 15 horas -4°C.	38
Figura 8.	Filtracion con bomba de vacio.	39
Figura 9.	Separación de faces.	39
Figura 10.	Toma de muestra.	
Figura 11.	Homogenizacion de la muestra.	39
Figura 12.	Llenado de jarras	
Figura 13.	Medicion de alcalinidad.	39
Figura 14.	Medición de parámetros.	
Figura 15.	Turbidímetro marca Hf Sc.	40
Figura 16.	Colorímetro marca HACH.	40
Figura 17.	Montaje para prueba de Alcalinidad.	40
Figura 18.	Test de jarras.	41
Figura 19.	Aplicación de coagulante.	41
Figura 20 y 21.	Preparación agua sintética en dilución de bentonita.	42
Figura 22.	Alícuotas solución.	43
Figura 23.	Test de jarras.	43
Figura 24 y 25.	Toma de muestra temporada de Invierno 2016.	43
Figura 26 y 27.	Test de jarras.	44
Figura 28 y 29.	Resultados dosis óptima.	45

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.	Características de las sustancias productoras de color en el agua. ...	28
Tabla 2.	Diferencias entre color y turbiedad.	29
Tabla 3.	Características físicas y químicas del agua para consumo humano...	35
Tabla 4.	Descripción de coagulantes.	38
Tabla 5.	Parámetros iniciales muestra 1.	47
Tabla 6.	Porcentaje de remoción de color con dosificaciones de coagulante altas.	47
Tabla 7.	Porcentaje de remoción de color con dosificaciones de coagulante bajas.	48
Tabla 8.	Parámetros iniciales muestra 2.	49
Tabla 9.	Porcentaje de remoción de color con dosificaciones de coagulante...	50
Tabla 10.	Parámetros iniciales aguas sintéticas.	52
Tabla 11.	Porcentaje de remoción de color aguas sintéticas.	52
Tabla 12.	Parámetros iniciales muestra 3.	53
Tabla 13.	Resumen dosis óptima.	55
Tabla 14.	Parámetros físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos muestra 3.	60
Tabla 15.	Datos de color para validación del coagulante.	61
Tabla 16.	Análisis de varianza color.	62
Tabla 17.	Datos de turbiedad para validación del coagulante.	62
Tabla 18.	Análisis de varianza turbiedad.	63
Tabla 19.	Comparación de parámetros fisicoquímicos luego del proceso de potabilización.	65
Tabla 20.	Evaluación económica.	67

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Porcentajes de remoción de color vs dosificaciones altas.....	48
Gráfica 2. Porcentajes de remoción de color vs dosificaciones bajas.....	49
Gráfica 3. Comparación de coagulantes.....	51
Gráfica 4. Comportamiento coagulante moringa oleífera.....	53
Gráfica 5. Comportamiento de color vs dosificación de coagulante.....	57
Gráfica 6. Porcentaje de remoción de color vs dosificación de coagulante.	58
Gráfica 7. Comportamiento de turbiedad vs dosificación de coagulante	59

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Evaluación del coagulante C1 en la muestra de agua número 1.....	75
Anexo 2. Evaluación del coagulante C1 en la muestra de agua número 1.....	76
Anexo 3. Evaluación del coagulante C2 en la muestra de agua número 1, dosificaciones altas.....	77
Anexo 4. Evaluación del coagulante C2 en la muestra de agua número 1, dosificaciones bajas.....	78
Anexo 5. Evaluación del coagulante C3 en la muestra de agua número 1, dosificaciones altas.....	79
Anexo 6. Evaluación del coagulante C3 en la muestra de agua número 1, dosificaciones bajas.....	80
Anexo 7. Evaluación del coagulante C4 en la muestra de agua número 1, dosificaciones altas.....	81
Anexo 8. Evaluación del coagulante C4 en la muestra de agua número 1, dosificaciones bajas.....	82
Anexo 9. Evaluación del coagulante C1 en la muestra de agua número 2, dosificaciones altas.....	83
Anexo 10. Evaluación del coagulante C1 en la muestra de agua número 2, dosificaciones bajas.....	84
Anexo 11. Evaluación del coagulante C2 en la muestra de agua número 2, dosificaciones altas.....	85
Anexo 12. Evaluación del coagulante C2 en la muestra de agua número 2 dosificaciones bajas.....	86
Anexo 13. Evaluación del coagulante C3 en la muestra de agua número 2, dosificaciones altas.....	87
Anexo 14. Evaluación del coagulante C3 en la muestra de agua número 2, dosificaciones bajas.....	88
Anexo 15. Evaluación del coagulante C4 en la muestra de agua número 2, dosificaciones altas.....	89
Anexo 16. Evaluación del coagulante C4 en la muestra de agua número 2, dosificaciones bajas.....	90
Anexo 17. Evaluación del coagulante C2 con aguas sintéticas de diferentes color y turbiedad.....	91
Anexo 18. Determinación de dosis óptima ensayo 1, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.....	92
Anexo 19. Determinación de dosis óptima ensayo 2, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.....	93
Anexo 20. Determinación de dosis óptima ensayo 3, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.....	94

Anexo 21. Determinación de dosis óptima ensayo 4, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.....	95
Anexo 22. Determinación de dosis óptima ensayo 5, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.....	96
Anexo 23. Determinación de dosis óptima ensayo 6, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.....	97
Anexo 24. Determinación de dosis óptima ensayo 7, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.....	98
Anexo 25. Determinación de dosis óptima ensayo 8, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.....	99
Anexo 26. Determinación de dosis óptima ensayo 9, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.....	100
Anexo 27. Determinación de dosis óptima ensayo 10, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.....	101
Anexo 28. Validación del comportamiento del coagulante C2 en la muestra de agua número 3 ensayo 1.....	102
Anexo 29. Validación del comportamiento del coagulante C2 en la muestra de agua número 3 ensayo 2.....	103
Anexo 30. Validación del comportamiento del coagulante C2 en la muestra de agua número ensayo 3.....	104
Anexo 31. Validación del comportamiento del coagulante C2 en la muestra de agua número 3 ensayo 4.....	105
Anexo 32. Validación del comportamiento del coagulante C2 en la muestra de agua número 3 ensayo 5.....	106
Anexo 33. Determinación de dosis óptima con coagulante PAC en la muestra de agua número 3 ensayo 1.....	107
Anexo 34. Determinación de dosis óptima con coagulante PAC en la muestra de agua número 3 ensayo 2.....	108

INTRODUCCIÓN

La presente investigación busca evaluar y validar tecnologías ambientalmente viables, concernientes a la utilización de coagulantes naturales en sistemas de potabilización de agua, mediante la aplicación de un coagulante extraído de las semillas de Moringa Oleífera, atendiendo la necesidad de validar un método alternativo de bajo impacto ambiental que pueda contribuir a mejorar la calidad del agua para consumo humano en comunidades rurales y de igual manera a nivel macro en poblaciones urbanas, evaluando la opción de remplazar los coagulantes convencionales por coagulantes naturales.

Para muchas comunidades en los países en desarrollo la cobertura de agua potable es deficiente y no cumple con la demanda que exige día a día el continuo crecimiento y el desbordante avance demográfico, debido a la mala relación existente entre la Comunidad, el Ambiente, la Ciencia y Tecnología.

Según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios¹, cerca del 60% de la población colombiana recibe agua apta para el consumo humano, conforme a los reportes de autoridades sanitarias mostrando así una gran problemática de fondo. Nariño es un Departamento de contrastes. Ya que en los últimos años la cobertura del servicio de acueducto ha mejorado, pero no se miran avances en la calidad del agua que se consume, según el Instituto Departamental de Salud de Nariño², la cobertura del servicio de acueducto es del 83 %. En la actualidad, en los 64 Municipios de Nariño operan 1.303 acueductos y únicamente, el 23 % de los nariñenses, que representan una población de 385.000 personas, están consumiendo agua potable.

En la ciudad de Pasto según informe de gestión presentado por Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A. E.S.P. en el mes de febrero de 2014 “se presentaron dos condiciones desfavorables en la Planta Centenario, las unidades de filtración llegaron a su estado más crítico y el agua del río Pasto presentó valores de color, turbiedad y alcalinidad de difícil tratabilidad”³. Situación que la convierte en una de las aguas de más difícil tratamiento a nivel nacional.

¹ SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS. Agua de calidad, un reto para Colombia.2014. (Citado Julio 2014). Disponible en < <http://www.superservicios.gov.co/Sala-de-prensa/Comunicados>>

² INSTITUTO DEPARTAMENTAL DE SALUD NARIÑO. En Nariño hay más cobertura de agua, pero con baja calidad. 2014 (citado Julio 2014). Disponible en < <http://www.eltiempo.com/colombia/calif/agua-potable-en-narino/14319477> >

³ EMPRESA DE OBRAS SANITARIAS DE PASTO EMPOPASTO S.A. E.S.P. Informe de gestión 2013. p, 8.

Por tal razón la planta de tratamiento Centenario cambio la utilización de coagulante sulfato de aluminio por Policloruro de Aluminio, que permite un mejor comportamiento en la remoción de color, turbiedad, sustancias orgánicas, producción menor de lodo, mayor velocidad de reacción y un mejor comportamiento en aguas con temperaturas bajas. Sin embargo es necesario un proceso de pretratamiento de pH en aguas con baja alcalinidad que consiste en la adición de cal hidratada para que pueda reaccionar el Policloruro de Aluminio, ya que, “Un pH demasiado alto para la coagulación puede bajar la remoción de sustancia orgánica”⁴. Así mismo, el elevado costo de adquisición del Policloruro de Aluminio se convierte en una desventaja al optar por este coagulante, ya que es 5 veces más costoso que el Sulfato de Aluminio.

El presente estudio hace énfasis en la reducción de valores de color del agua que llega a la planta de tratamiento Centenario, teniendo en cuenta que es el parámetro más crítico. Uno de los valores de color aparente más alto registrado en esta planta está alrededor de 7000 Unidades de Platino Cobalto (UPC) y en cuanto a la turbiedad se registra como dato máximo 3000 Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), en esta investigación se hace el análisis de algunos parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos con efecto para la salud humana, para así establecer la eficiencia del coagulante natural proveniente de la semilla de Moringa Oleífera frente al coagulante sintético Policloruro de Aluminio (PAC).

“Los coagulantes de origen natural han demostrado ventajas en relación con los productos químicos como biodegradabilidad, baja toxicidad y baja producción de lodos. En este grupo, uno que ha despertado gran interés a la comunidad científica es el coagulante que se extrae de las semillas del árbol de Moringa Oleífera, Su efecto clarificante ya era conocido desde épocas remotas por las mujeres rurales de Sudán, que lo utilizaban para tratar las aguas de alta turbiedad del Nilo”⁵. Además que el coagulante proveniente de las semillas de Moringa Oleífera no produce variaciones considerables en el pH del agua tratada. La Moringa Oleífera pertenece a la familia monogénica Moringácea, con trece especies distribuidas por África, Madagascar y la India.

⁴ MURILLO, Diana. Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. cita a. Potabilización con Diferentes Coagulantes de Aluminio y Hierro, XXI Congreso de Centroamérica y Panamá de Ingeniería Sanitaria y Ambiental “El Reto”. 2011. p, 40.

⁵ JANH. Citado por SANDOVAL Martha y LAINES José. Evaluación de extractos de semillas de Moringa oleífera y sus efectos en el agua tratada. Investigaciones en ciencias biológicas Tomo I. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 2014. p, 391.

Esta familia se originó por la dificultad de colocar en alguna otra el anómalo género *Moringa*, como lo reconoció el ingeniero de montes D. Domingo Vidal y Soler, destinado en Manila entre 1877 y 1883 ⁶.

Su cultivo se destaca por su rusticidad, gran capacidad de rebrote, rápido crecimiento y gran versatilidad: puede ser cultivado como árbol aislado o en muy altas densidades. En Nicaragua, como forraje, se han llegado a obtener 78 toneladas de materia fresca por corte, de la que un 80 % es agua, con una intensidad de 8 cortes por año y una densidad de plantación de un millón de plantas por hectárea⁷.

Uno de los factores a tener en cuenta es la agro sostenibilidad que ofrece el cultivo del árbol de Moringa Oleífera, debido a que ofrece un gran porcentaje de aprovechamiento de todos sus componentes, generando un impacto económicamente positivo o favorable para la población agrícola de las zonas con bajas y medias pluviosidades, y suelos con pocas características de fertilidad, ya que la planta se desarrolla sin grandes exigencias. Proyectándose como una alternativa social para el departamento de Nariño.

Las acción de las semillas de Moringa Oleífera siendo una alternativa natural, económica y que se puede cultivar en países tropicales como Colombia, está en auge a nivel de producción y la utilización de la semilla a manera de coagulante natural en el mundo, por lo que es necesario que se realicen investigaciones con el fin de identificar sus fortalezas y debilidades frente a tratamientos convencionales. Es importante destacar que el coagulante se obtiene como subproducto de la extracción de aceite de las semillas de Moringa Oleífera.

PROBLEMA

Descripción del problema

Una problemática de la calidad del agua en la mayoría de plantas de tratamiento del Departamento de Nariño, es el parámetro correspondiente al color, ya que existe un alto índice de color en los afluentes debido a sustancias orgánicas e inorgánicas y al arrastre de sedimentos de las cuencas hidrográficas, la adecuación de este parámetro a las especificaciones del decreto 1575 de 2007 y a la resolución 2115 de 2007 para la calidad del agua de consumo humano,

⁶ VIDAL Y SOLER, S. Sinopsis de familias y géneros de plantas leñosas en Filipinas. Introducción a la flora forestal del archipiélago filipino. Manila Filipinas.1889.

⁷ FOIDL N., MAKKAR H.P.S., BECKER K. The potential of Moringa oleifera for agricultural and industrial use. In: Proceedings of International Workshop What development potential for Moringa products? Oct 29th to Nov 2nd. Dar Es Salaam, Tanzania. 2001.

indica un valor máximo aceptable de color real de 15 Unidades de Platino Cobalto (UPC), cumplir con esta condición se ha convertido en el principal problema en la planta de tratamiento de agua Centenario de la ciudad de Pasto.

La planta Centenario a cargo de la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A. E.S.P., es la que realiza la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, conexos y asociados de la ciudad de Pasto. En la planta se utilizaba como coagulante el Sulfato de Aluminio, que fue remplazado totalmente por el coagulante sintético Policloruro de Aluminio (PAC), coagulante químico que representa un alto costo de adquisición el cual supera los \$1.200.000.000 anuales que representan 1.189.061 k. Además requiere de pretratamientos como el uso de Bicarbonato de Sodio para controlar las condiciones de baja alcalinidad para valores inferiores a 15 p.p.m., y dosificaciones de Policloruro de Aluminio mayores de 70 p.p.m., y tratamientos adicionales como el uso de Cal Hidratada para la estabilización del pH incrementando los gastos anuales para la empresa y generando la presencia de más residuos químicos provenientes de los tratamientos principales y secundarios en los lodos de sedimentación.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo actúa el coagulante proveniente de las semillas de Moringa Oleífera respecto a la remoción de color en el agua frente al coagulante Policloruro de Aluminio utilizado en la planta de tratamiento Centenario del Municipio de Pasto?

OBJETIVOS

Objetivo general. Evaluar y validar la acción de semillas de Moringa Oleífera como alternativa natural para la remoción de color, en la planta de tratamiento Centenario del Municipio de Pasto.

Objetivos específicos. Caracterizar algunos parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos de la calidad de la fuente para su potabilización en la planta de tratamiento Centenario.

Identificar y evaluar algunos de los parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos con efecto para la salud humana posteriormente al proceso de potabilización con coagulante natural proveniente de la semilla de Moringa Oleífera y al coagulante sintético Policloruro de Aluminio (PAC).

Establecer la eficiencia de remoción de color con la utilización de coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) y coagulante natural proveniente la semilla de Moringa Oleífera y comparar los resultados obtenidos.

Evaluar económicamente los costos de las dos alternativas y analizar la factibilidad de la implementación del coagulante natural proveniente de la semilla de Moringa Oleífera.

JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que uno de los problemas más relevantes a nivel mundial es brindar agua potable y de calidad a las comunidades. Colombia a pesar, de los intentos que se han realizado de aumentar la cobertura del agua potable a la población, la mayoría de los sistemas de agua rurales no se encuentran provistos con estructuras físicas adecuadas y mecanismos químicos para reducir los parámetros de color y turbidez del agua, y aún si lo estuvieran, la necesidad de asesoramiento técnico y los costos asociados al manejo impedirían su sostenibilidad y por lo tanto no resolverían de manera permanente los problemas de color y baja calidad de agua para consumo.

La OMS⁸, estima que el 94 % de los casos de diarrea podrían evitarse mediante modificaciones del medio, por ejemplo, a través de intervenciones que permitan aumentar la disponibilidad de agua limpia y mejorar el saneamiento y la higiene. “Cuando exista conciencia de que la disponibilidad de tecnologías eficaces no es suficiente por sí sola para brindar mejoras sanitarias. Se asumió que existen considerables obstáculos para su aplicación, la falta de apropiación de los rápidos avances recientes sumado a los déficits en investigación y la falta de acceso a la información son un impedimento para lograr cumplir los objetivos”⁹.

La OMS¹⁰, encabezada por la Red Internacional agencia creada con la misión de contribuir a que se cumplan los objetivos de desarrollo del milenio de reducir a la mitad la proporción de personas que carecen de abastecimiento de agua potable y de disminuir la mortalidad infantil, se planteó cuatro objetivos fundamentales: sensibilización, comunicación, investigación y aplicación.

En este sentido, uno de los principales objetivos de las instituciones y universidades en el mundo debe ser contribuir en la incansable tarea de agotar sus esfuerzos en incentivar la investigación para dar solución a las problemáticas que presentan las comunidades, ampliando y profundizando los conocimientos y así beneficiarlas con el propósito de resolver estos mismos.

Por lo tanto, la presente investigación atiende la necesidad de validar un método alternativo que pueda contribuir a mejorar la calidad del agua, para consumo en

⁸ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SALUD.OMS. Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares. 2007. p, 7.

⁹ *Ibíd.*, p.18.

¹⁰ *Ibíd.*, p.15.

comunidades rurales y de igual manera a nivel macro en poblaciones urbanas, buscando evaluar y validar la opción de remplazar los coagulantes convencionales por coagulantes naturales.

ANTECEDENTES

El trabajo de Fayos¹¹. Basado en, estudiar la utilización de coagulantes naturales extraídos de semillas autóctonas como un método de potabilización de agua para países en vías de desarrollo, concluye que el protocolo desarrollado para la extracción del compuesto activo, es sencillo y puede adaptarse fácilmente a zonas de escasos recursos, permitiendo su utilización para la clarificación del agua cruda. Dicho protocolo ha sido contrastado en la aplicación real en Ecuador, ofreciendo resultados prometedores en la reducción de la turbidez y de la concentración bacteriana, en combinación con el cloro, además los coagulantes naturales estudiados representan una alternativa a considerar en la clarificación de aguas superficiales de turbidez elevada, para zonas de escasos recursos.

Otra investigación realizada en Honduras por Nuñez¹². La cual evaluó la efectividad de la semilla de Moringa Oleífera como coagulante natural del agua destinada al consumo humano proveniente del río Neteapa. A través de análisis de calidad de agua se evaluaron las propiedades coagulantes de las proteínas contenidas en la semilla de Moringa Oleífera, el estudio se realizó con muestras de agua del río Neteapa el cual abastece el casco urbano del Municipio de Morocelí y con semillas de Moringa Oleífera provenientes de la zona sur de Honduras.

Se realizaron ensayos con cuatro dosis de la semilla de Moringa Oleífera en tres rangos de turbidez entre 0 – 500 UNT obteniendo una eficiencia de reducción de hasta el 98%. La semilla de la planta Moringa Oleífera cultivada en el sur de Honduras, puede ser utilizada sin dificultad en los hogares de áreas rurales y en zonas que presenten problemas de turbidez en el agua destinada al consumo, ya que su extracción no demanda ninguna metodología compleja y por su fácil adaptación a distintos climas y suelos se vuelve muy accesible a los mismos. Para reducir la turbidez de 1l de agua que mantengan niveles de 5 a 500 UNT se necesitan de 0.15 a 0.50gr que equivaldrían a 3 o 4 semillas, lo que reduce considerablemente los costos de clarificación en comparación con otros compuestos comerciales. Otra conclusión del trabajo indica que este método puede convertirse en una alternativa eficiente y accesible para el pretratamiento

¹¹ FAYOS, Beatriz. Metodología de extracción in situ de coagulantes natural para la clarificación de agua superficial. aplicación en países en vías de desarrollo. Universidad Politécnica de Valencia. Seguridad Industrial y Medio Ambiente. 2007. p, 17.

¹² NUÑEZ, Eliana, Validación de la efectividad de la semilla de Moringa oleífera como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras. Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. 2007. p, 3.

de agua destinada al consumo humano en el Municipio de Moriceli, que actualmente presenta los niveles de turbidez más elevados de la región y están por encima del valor máximo permisible en Honduras (5 UNT), alcanzando en época de lluvias alrededor de 198.3 UNT.

Según Quirós & otros¹³, se evaluó la efectividad de los productos naturales moringa (*Moringa Oleífera*), mozote de caballo (*Triumfetta semitriloba*), tuna (*Cactus lefaria*) y quitosano para remover el color en agua de río y agua artificial, para consumo humano. Se utilizó agua del Río Humo, que es el principal afluente de la toma de agua que ingresa a la Planta Potabilizadora de Tres Ríos proveniente del Embalse El Llano, con la intención de sustituir los productos importados sulfato de aluminio o el floculante catiónico KF-930-S, que son utilizados en el proceso de potabilización. Como agua artificial se empleó agua del tubo con caolín y ácidos húmicos. Los productos naturales se evaluaron como coagulantes, y como floculantes. El agua de río se caracterizó por contener alto color, baja turbidez, baja alcalinidad y dureza y alta sobresaturación de oxígeno disuelto. En muestras de agua de río el producto natural que como coagulante presentó la mejor remoción de color fue el quitosano con un 30 % de eficiencia, comparado con un 89 % aplicando el tratamiento convencional.

En agua artificial, el producto natural que mostró la mejor remoción de color, al ser evaluado como coagulante único, fue la tuna con una eficiencia del 94 % dejando un valor de DQO del agua tratada de 21 mg/l, en comparación con el tratamiento convencional con un 89 % de remoción y una DQO final de 10,3 mg/l. En agua artificial, el producto natural que como floculante mostró la mejor remoción de color, fue la tuna con un 96 % de eficiencia y una DQO del agua tratada de 42 mg/l. La moringa mostró una actividad coagulante del 89 % en la remoción del color cuando el agua presentó una turbidez de al menos 20 NTU. Los productos naturales ensayados no son sustituibles de forma total por los productos comerciales ya fuera como coagulantes o floculantes en el tratamiento de agua artificial o del Río Humo. Se recomienda extraer los principios activos de los productos naturales para reducir la carga orgánica en el agua tratada.

En este trabajo de Mendoza & otros¹⁴, se evaluó la eficiencia de la Moringa Oleífera como coagulante en la potabilización de aguas crudas sintéticas con valores de turbidez entre 7 y 49 NTU. Se estudiaron los parámetros turbidez, color, pH y alcalinidad. Los resultados indican que el extracto acuoso de Moringa

¹³ QUIRÓS, N y VARGAS, M y JIMÉNEZ, J. Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el Río Humo, Reserva Forestal Río Macho. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Química. 2010.

¹⁴ MENDOZA, I y FERNÁNDEZ, N y ETTIENE, G y DÍAZ, A. Uso de la Moringa oleífera como coagulante en la potabilización de las aguas. Instituto para la Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM). Departamento de Química, Ciclo Básico, Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Maracaibo-Venezuela. 2000.

utilizado en el proceso de coagulación a dosis entre 10 y 20 ppm remueve la turbidez de 49, 29, 20, 15, 11 y 7 NTU a valores iguales o por debajo de los establecidos por las Normas de Calidad del Agua en el proceso de sedimentación. Los valores de turbidez del agua filtrada oscilaron entre 0,5 y 1,5 NTU. El color disminuyó de 30, 25 y 15 UC a valores entre 5 y 10 UC. Se observó una variación mínima en el pH y la alcalinidad de las aguas tratadas con Moringa Oleífera.

Las semillas son de mucha utilidad como uno de los mejores floculantes naturales conocidos y se emplean ampliamente en la depuración y purificación de aguas fluviales y aguas turbias. También se emplea en la clarificación de miel y del jugo de la caña de azúcar (Gassensschmidt et al., 1995). Uno de los análisis del autor nos informa que el agente coagulante es una proteína con una masa molecular de 6,5kDa, mientras Ghebremichael et al. (2005) sugieren que es una proteína catiónica, con una masa molecular menor de 6,5kDa. Recíprocamente, para Okuda et al. (2001), el componente activo no es una proteína, polisacárido o lípido, sino un polielectrolito orgánico, con un peso molecular de aproximadamente 3,0kDa. Aunque algunos grupos de investigadores parecen estar de acuerdo que el agente activo es una proteína catiónica.

El primer escrito de Ndabigengesere et al. (1995), aclara comprensivamente, los mecanismos de la coagulación básicos inherentes a la M. oleífera. Sugiere que sus agentes activos coagulantes son las proteínas catiónicas diméricas y su principal mecanismo de coagulación la adsorción y la neutralización de carga.

En muchos casos, las partículas de impurezas están cargadas negativamente y los polielectrolitos catiónicos son los coagulantes más eficaces, que predicen el uso de la Moringa, como agente de coagulación (Bolto & Gregory, 2007).

Su capacidad coagulante, se puede reforzar más allá por la adición de cationes. En un estudio dirigido por Okuda et al. (2001), se establece que los cationes bivalentes (por ejemplo Ca^{2+} y Mg^{2+}) refuerzan, significativamente, el efecto coagulante de los extractos, en la cual, los cationes pueden tener adsorbido los componentes activos para formar una red estructural insoluble para capturar las partículas suspendidas de caolín.

Santos et al. (2009) investigaron la actividad aglutinante de la lectina extraída de diferentes tejidos de la M. oleífera; las preparaciones de lectina (cMoL) mostraron actividad coagulante, similar al sulfato de aluminio. El ensayo de la actividad coagulante, se basó en el método descrito por Ghebremichael et al. (2005). Para ello, prepararon soluciones con alta (250–300 NTU) y media (125–150 NTU) turbidez. Afirman, que las preparaciones de lectina tienen actividad coagulante en aguas con alta y con media turbidez. La capacidad de remoción de dos extractos de proteínas coagulantes de la M. oleífera obtenidos en solución salina, utilizando agua de río, induciendo la turbidez con caolín (turbidez inicial fue de 170 NTU), la compararon Sánchez et al. (2010b). De su estudio, se tiene que la dosis óptima

está cerca de 0,5mg/L y que la turbidez final del extracto de un solo paso es casi dos veces más alta, que la turbidez obtenida con el extracto de dos pasos¹⁵. Pritchard et al. (2010) adelantaron un proyecto de investigación, con el fin de observar la actuación de la *Moringa oleífera* comparada con el sulfato de aluminio y el sulfato férrico. Para ello, usaron un agua modelo sembrada con *E. coli* y una turbidez de 146 NTU, creada artificialmente con caolín; aguas crudas de diferentes fuentes, agua de río, con una turbidez <5 NTU; otra con turbidez de 45 NTU y agua híbrida, una mezcla de los dos tipos de agua. Los resultados mostraron que la *M. oleífera* removió el 84% de turbiedad y el 88% de *Estcherichia coli*, en el agua modelo; en el agua de río de baja turbidez (<5 NTU), los resultados mostraron una reducción de *E. coli*, del 82%, para la *Moringa oleífera*. En agua turbia de río de 45 NTU la remoción de turbidez fue de 76% y una reducción de *Estcherichia coli* del 93%, con *Moringa oleífera*¹⁶.

¹⁵ SANTOS, A.F.S.; LUZ, L.A.; ARGOLLO, A.C.C.; TEIXRIRA, J.A.; PAIVA, P.M.G.; COELHO, L.C.B.B. Isolation of a seed coagulant *Moringa oleifera* lectin. *Process Biochem.* 2009.

¹⁶ PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G., A study of the parameters affecting the effectiveness of *Moringa oleifera* in drinking water purification. 2010.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 POTABILIZACIÓN DE AGUA.

El agua pura no existe en la naturaleza, el agua lluvia recoge impurezas mientras pasa a través del aire. Los ríos y quebradas recogen impurezas provenientes del suelo y de las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, transportándolas a los lagos, embalses y mares. Existe menos posibilidad de polución en las aguas superiores de un río, donde la población es escasa, pero en ningún caso puede considerarse un agua superficial carente de contaminación, a pesar de que la purificación natural ocurre en todo cuerpo de agua gracias a la sedimentación y muerte de las bacterias patógenas¹⁷.

Las impurezas en el agua pueden encontrarse en solución o en suspensión. La materia suspendida debe removerse, al igual que toda sustancia disuelta que se halle en exceso o que haga el agua inadecuada para uso doméstico o industrial. El tipo de polución que puede ocurrir en el agua y las medidas que deben tomarse para prevenirla o removerla varían con la fuente de donde proviene el agua.

Por otra parte, de acuerdo con el tipo de impurezas presentes, el agua puede aparecer como turbia o coloreada, o ambas. El conocimiento de la naturaleza y características de estos contaminantes es básico para poder entender los procesos de remoción.

La calidad requerida del agua, en cada caso, depende del uso que se le vaya a dar y del propósito de dicho uso, la aspiración como ingenieros y usuarios es contar con un suministro de agua suficiente, limpio, seguro, es decir, en cantidad suficiente y de calidad adecuada.

El proceso convencional de potabilización de agua consiste en mejorar las condiciones del agua cruda de un afluente, dependiendo de la alcalinidad y la presencia de ciertos metales se realizan pretratamientos que consisten en la adición de cal y oxidantes, posteriormente, se pasa a un proceso de coagulación donde se agrega en una mezcla rápida el coagulante en dosis óptimas determinadas con anterioridad que pueden ser sales de aluminio, hierro o polímeros cuya función es aglomerar las partículas mediante una mezcla lenta, proceso denominado floculación, para facilitar su sedimentación el agua pasa al sedimentador en donde se decantan las partículas en forma de flocs, se filtra toda el agua para eliminar las partículas aglomeradas suspendidas y se procede a la adición de cloro para desinfección y su posterior almacenamiento y distribución.

¹⁷ ARBOLEDA VALENCIA. J, "Teoría y práctica de la purificación del agua", ACODAL III Ed. McGraw Hill 2000.

(Ver figura 1).



Figura 1. Diagrama de proceso de potabilización convencional.

1.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Considerando el agua como un compuesto químico producto de la unión de una molécula de oxígeno con dos de hidrógeno, el agua pura solamente podría existir en el laboratorio y esto bajo condiciones especiales. En la naturaleza el agua al entrar en contacto con el suelo va adquiriendo elementos o compuestos que desvirtúan su condición original tanto desde el punto de vista físico, esto es que se hacen tangibles a la vista, al gusto y al olfato, como desde el punto de vista químico, que pueden necesitar, en la mayoría de los casos, análisis específicos para comprobar su presencia¹⁸.

1.2.1 Turbiedad. Es causada por materia suspendida y coloidal tal como arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica dividida finamente, plancton y otros microorganismos microscópicos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que causa la luz al ser dispersada y absorbida en vez de transmitida sin cambios en la dirección del nivel de flujo a través de la muestra: en otras palabras, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. A mayor intensidad de dispersión de la luz, la turbiedad será mayor. La correlación de la turbiedad con el peso o concentración del número de partículas de material suspendido es difícil debido a que el tamaño, forma e índice de refracción de las partículas afecta las propiedades de dispersión de la luz de la suspensión. La determinación de turbiedad es de gran importancia

¹⁸ SALAZAR CANO. R, Sistemas de Potabilización del Agua, 2008.

en aguas para consumo humano y en un gran número de industrias procesadoras de alimentos y bebidas. La arcilla es quizás la causa más común de turbiedad en las aguas. Comúnmente se entiende por arcilla un material natural, terroso, de gránulos muy finos, que se vuelve plástico cuando se mezcla con cierta cantidad de agua. Varios análisis de arcilla han demostrado que ésta se compone principalmente de sílice, aluminio y agua, frecuentemente con cantidades apreciables de hierro, manganeso y potasio.

1.2.2 Color. Resulta de la presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. La expresión color se debe considerar que define el concepto de “color verdadero”, esto es, el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad. El término “color aparente” engloba no sólo el color debido a sustancias disueltas sino también a las materias en suspensión y se determina en la muestra original sin filtrarla o centrifugarla.

El color puede determinarse por espectrofotometría o por comparación visual. Este último resulta más sencillo y consiste en la comparación de la muestra con soluciones coloreadas de concentraciones conocidas. El método estandarizado utiliza patrones de platino cobalto y la unidad de color (UPC) es la producida por 1 mg/l de platino en la forma de ion cloroplatinado¹⁹.

1.2.3 pH. El pH es una de las pruebas más comunes para conocer parte de la calidad del agua. El pH indica la acidez o alcalinidad, en este caso de un líquido como es el agua, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno (H⁺). Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 considerado neutro. Las soluciones con un pH inferior a 7.0 se consideran ácidos. Las soluciones con un pH por encima de 7.0, hasta 14.0 se consideran bases o alcalinos. Todos los organismos están sujetos a la cantidad de acidez del agua y funcionan mejor dentro de un rango determinado.

1.2.4 Alcalinidad. Es importante conocer la alcalinidad del agua para realizar procesos de ablandamiento por precipitación, la alcalinidad significa la capacidad tampón del agua; la capacidad del agua de neutralizar. Evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básico o ácido. La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7. Sin embargo, cuando la acidez es alta en el agua la alcalinidad disminuye, puede causar condiciones dañinas para la vida acuática. En química del agua la alcalinidad se expresa en PPM o el mg/l de carbonato equivalente del calcio.

¹⁹ ROMERO ROJAS. J, Calidad del agua, Escuela Colombiana de Ingeniería. 2000.

La alcalinidad total del agua es la suma de las tres clases de alcalinidad; alcalinidad del carbonato, del bicarbonato y del hidróxido.

1.2.5 Naturaleza del color. Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hidrogeno y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, maderas, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efectos de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al^{+++} o el Fe^{+++} ,²⁰.

Cualquiera que sea su origen, el conjunto de compuestos responsables de color, recibe el nombre de sustancias húmicas. Si bien la estructura molecular de dichas sustancias no es bien conocida, se sabe que básicamente contienen carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno en porcentajes variables y que se muestran propiedades ácidas con pesos moleculares que van desde 200 hasta más de 50.000. Se clasifican en cuatro fracciones: ácido fúlvico, ácido húmico, ácido himatomelánico y carbón húmico. Las propiedades de estos compuestos se pueden ver en la tabla 1.

Sustancia	Proporción en el agua %	Solubilidad	Peso Molecular	Composición %		
				C	H	N
Acido Fúlvico	58 – 86	Soluble en álcali no precipita en ácidos	-	54.87 a 59.32	5.56 a 6.47	0.57 a 2.41
Acido húmico	3.8 – 16.2	Soluble en álcali precipitaron HCL insoluble en alcohol	<500	39.0 a 51.00	4.52 a 4.80	11.86 a 2.39
Acido himatomelánico	10.2 – 32.2	Soluble en álcali precipita con HCL insoluble en alcohol	800	-		
Carbón húmico	-	Insoluble en álcali	-	-		

Tabla 1. Características de las sustancias productoras de color en el agua.

Fuente: Arboleda Valencia. J, "Teoría y práctica de la purificación del agua", ACODAL III Ed. McGraw Hill 2000.

²⁰ ARBOLEDA VALENCIA. J, "Teoría y práctica de la purificación del agua", ACODAL III Ed. McGraw Hill 2000.

La remoción del color es una función del tratamiento del agua y se practica para hacer un agua adecuada para usos generales o industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso utilizado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es, por tanto, objetivo esencial del tratamiento²¹. (Ver tabla 2).

Ítem	Color	Turbiedad
Composición física	Sustancias disueltas parcialmente coloidales	Arcillas coloidales
Composición química	Ácidos orgánicos con pesos moleculares entre 200 y 50.000 o más	Cristales de silicatos
Origen	Orgánico	Mineral
Tamaño de la dispersión	87% < 0.01μ	Entre 0.1 y 10μ
Intensidad	Aumenta el pH	No varía con el pH
Comportamiento químico	Se comportan preferentemente como sustancias disueltas	Se comportan únicamente como suspensiones coloidales

Tabla 2. Diferencias entre color y turbiedad.

Fuente: Arboleda Valencia. J, "Teoría y práctica de la purificación del agua", ACODAL III Ed. Mc Graw Hill 2000.

1.2.6 Los coloides. El agua consta de tres tipos principales de impurezas: físicas, químicas y biológicas. Desde el punto de vista físico se puede decir que los sólidos totales que son impurezas del agua se pueden clasificar como partículas no filtrables o en suspensión, filtrables o disueltas y una tercera posibilidad es el caso intermedio que corresponde a los coloides. En general, los coloides no tienen un límite fijo de tamaño y se suelen estudiar bajo un enfoque fisicoquímico desde el punto de vista de sus propiedades. Un material coloidal puede tardar 755 días en sedimentar; por tanto es importante cambiar esta condición.

Los coloides forman suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural; también son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua. Los sistemas coloidales presentan una superficie de contacto inmensa entre la fase sólida y la fase líquida; éstas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situada sobre su superficie. Estas cargas llamadas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos²².

²¹ ROMERO ROJAS. J. Calidad del agua, Escuela Colombiana de Ingeniería. 2000.

²² GÓMEZ PUENTES. N. Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación. Pregrado tesis. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. 2005.

Clasificación de los coloides. Sin pretender dar una clasificación completa de los sistemas coloidales se puede dividirlos como indica la figura 2 en: moleculares y no moleculares (micelares); liofílicos y liofóbicos, diuturnos y caducos, orgánicos e inorgánicos²³. (Ver figura 2).

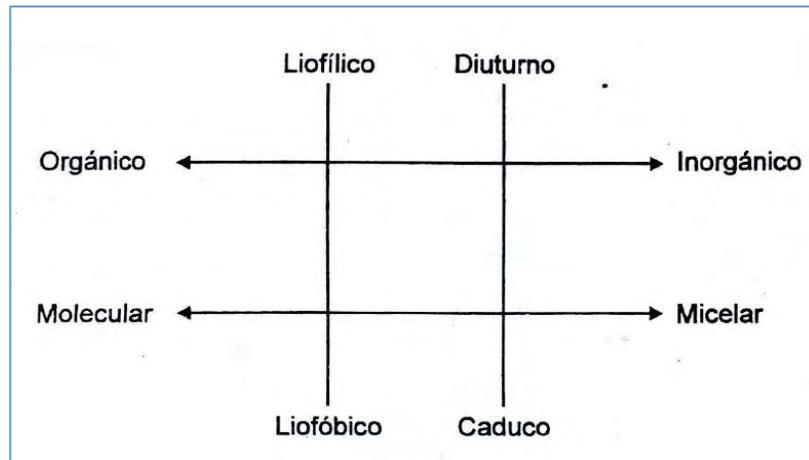


Figura 2. Clasificación de los coloides.

Fuente: Arboleda Valencia. J, "Teoría y práctica de la purificación del agua", ACODAL III Ed. Mc Graw Hill 2000.

Estabilidad y desestabilización de los coloides. Los coloides son normalmente estables en solución. En general priman los factores estabilizantes sobre los desestabilizantes. Entre los factores estabilizantes se cuentan a todas las fuerzas o fenómenos que generan repulsión entre ellos y por tanto, las fuerzas electrostáticas y la hidratación son favorables. Las fuerzas de atracción, en cambio, cumplen un papel opuesto y desestabilizan, entre ellas la gravedad, el movimiento Browniano y las fuerzas de Van der Waals. Obviamente algunos fenómenos afectan el sistema mucho más que otros. Por ejemplo la influencia de la gravedad es despreciable²⁴.

Durante el tratamiento del agua, se agregan coagulantes para desestabilizar los contaminantes y mejorar su remoción. Los coagulantes químicos son usados para desestabilizar partículas, remover materia orgánica particulada, inducir la floculación y obtener una buena sedimentación. De las numerosas revisiones de la fundamentación teórica de los mecanismos de coagulación, se identifican varios de éstos para la desestabilización de contaminantes usando coagulantes químicos. Estos mecanismos incluyen compresión de la doble capa, neutralización de cargas por adsorción, coagulación por barrido y puente interparticular, entre otras.

²³ ARBOLEDA VALENCIA. J, "Teoría y práctica de la purificación del agua", ACODAL III Ed. McGraw Hill 2000.

²⁴ GÓMEZ PUENTES. N. Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación. Pregrado tesis. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. 2005.

La clase de interacción entre los coagulantes químicos y los contaminantes determinan los mecanismos de coagulación. Los mecanismos predominantes observados durante la coagulación convencional con coagulantes metálicos son neutralización de cargas por adsorción y coagulación por barrido. Para sales de aluminio o férricas, los mecanismos de coagulación son controlados por la hidrólisis.

La neutralización de cargas por adsorción implica la interacción de un coagulante químico y una carga contaminante. Diversos autores, enuncian que la coagulación con sales metálicas (de aluminio o de hierro), además de la remoción tradicional de turbiedad, produce también alguna remoción de DQO. Los principales mecanismos que constituyen a la remoción de Materia Orgánica (MO) pueden resumirse en: coprecipitación por adsorción sobre el hidróxido metálico, precipitación de complejos insolubles y neutralización de cargas de la MO coloidal.

Por medio de la coprecipitación la materia orgánica soluble es adsorbida sobre los cristales en crecimiento del hidróxido metálico, incorporándose así al floc para ser removida, junto con éste, en las etapas de decantación y filtración.

La precipitación de complejos insolubles consiste en la reacción de la materia orgánica disuelta con las sales metálicas, que forma complejos de baja solubilidad, que pueden ser removidos por sedimentación. El proceso de neutralización de cargas de la materia orgánica coloidal es similar al que se desarrolla con la turbiedad coloidal y que da origen y crecimiento al floc.

La estabilidad de una dispersión coloidal está relacionada con la teoría de la interacción energética entre las partículas como una función de su distancia. Además, las fuerzas electrostáticas de repulsión entre los coloides, pueden actuar las fuerzas de Van der Waals, que son fuerzas de atracción originadas por acción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas.

Las fuerzas de Van der Waals son independientes de la carga neta de los coloides y no varían con el pH o con otras características de la fase acuosa, pero sólo actúan a distancias muy pequeñas. Al acercarse dos partículas la fuerza de repulsión aumenta para mantenerlas separadas. Si se acercan lo suficiente y sobrepasan la barrera de energía, entonces la fuerza de atracción de Van der Waals predominará y las partículas podrán unirse. Cuando se obtiene esta condición se dice que el coloide se ha desestabilizado.

Para lograr la desestabilización de los coloides es necesario destruir su estructura y formar coágulos a agregados de muchas partículas, los cuales si son sedimentables.

Para que un coloide se aglutine con otros (coagule), es necesario que las partículas se aproximen a una distancia menor que L , o sea menor que la que

existe entre el centro del coloide se aproximan a una distancia menor que la de la barrera de energía cuando el potencial zeta baja hasta un punto llamado "*punto isoeléctrico*" ($z=0$), lo que sucede si se neutraliza la carga q o se represa incrementando el número de iones en la solución²⁵.

1.3 USO DE LAS SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA LAM EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN DE LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS.

Dentro de la caracterización de la semilla de Moringa Oleífera se encuentra que la semilla de moringa contiene 17 aminoácidos (ácido aspártico (Asp), ácido glutámico (Glu), serina (Ser), glicina (Gli), histidina (His), arginina (Arg), treonina (Tre), alanina (Ala), prolina (Pro), tirosina (Tir), valina (Val), metionina (Met), cistina (Cis), isoleucina (Ile), leucina (Leu), fenilalanina (Fen) y lisina (Lis)). Campos et al. (2003), reportaron la presencia de estos aminoácidos en la fracción activa del moringa, a excepción de la lisina. Este último aminoácido podría participar en la desestabilización de las partículas coloidales, responsables de la turbidez del agua y de su subsiguiente coagulación²⁶.

Los aminoácidos polares hidrofílicos presentes en la semilla de moringa son: Glu, Asp, Arg, His y Lis, los cuales se presentan en el agente coagulante activo de las semillas de moringa de tal manera que este coagulante puede estar formado principalmente de una o varias proteínas o cadenas polipeptídicas solubles en agua permitiendo mayor contacto con las partículas coloidales presentes en agua turbias y así mejorando la función coagulante de las semillas (Ndabigengesere *et al.* 1995).

Como antes se mencionó uno de los procesos que incluye la clasificación de aguas, es el de coagulación, el cual necesita de un control minucioso, con el objetivo de alcanzar resultados adecuados. Para lograr este objetivo, un método de control de este proceso es, "el ensayo de jarras".

Las pruebas de jarras es la técnica más ampliamente usada para determinar la dosis óptima o mejor dosis de químicos para procesos de coagulación–floculación y sedimentación a nivel de laboratorio.

Existe gran variedad de equipos para prueba de jarras, pero en todos su versatilidad radica en utilizar cinco o seis frascos con un volumen que puede variar entre 1 y 3 litros de agua, a los cuales son agregadas diferentes dosis de

²⁵ ARBOLEDA VALENCIA. J. Teoría y práctica de la Purificación del agua. ed. Acodal, Colombia.1992

²⁶ CAMPOS, J., COLINA, G., FERNÁNDEZ, N., TORRES, G., SULBARAN, B., & OJEDA, G. Caracterización del agente coagulante activo de las semillas de la Moringa oleífera mediante HPLC. Boletín del centro de investigaciones Biológica. 2003.

coagulante, mientras se agita frecuentemente durante un tiempo determinado y luego se suspende la agitación rápida, dejando un agitación suave entre 10 y 30 minutos.

Este método de las pruebas de jarras fue el empleado, en este trabajo, para determinar las mejores dosis de Policloruro y Moringa Oleífera²⁷. El Test de Jarras permitió determinar la dosis del coagulante *Moringa Oleífera* óptima para llegar a valores de turbidez iguales o menores que el establecido por las normas de calidad del agua, se estableció como dosis óptima la que permitió obtener la menor turbidez con la menor concentración del coagulante, al igual que permite:

- Selección del tipo de coagulación más efectivo.
- Determinación del pH óptimo de coagulación.
- Evaluación de la dosis óptima de coagulante.
- Determinación de la dosis de ayudas de coagulación.
- Determinación del orden más efectivo de adición de los diferentes productos químicos.
- Determinación de los niveles óptimos de mezcla, gradientes de velocidad y tiempos de mezcla.
- Evaluación de la necesidad de proveer floculación y sedimentación previa a la filtración o factibilidad de filtración directa.

1.4 PRUEBA DE JARRAS

Debido a que la prueba de jarras es sólo una simulación del proceso, es necesario mantener las condiciones operacionales que existen en el proceso industrial como son: gradiente hidráulico y tiempo en la mezcla lenta y rápida, punto de aplicación de los reactivos, el orden y el tiempo de dosificación de los mismos.

1.4.1 Mezcla rápida. El objetivo de la mezcla rápida es crear la turbulencia o movimiento necesario en el líquido contenido en la jarra para poner en contacto los reactivos químicos con las partículas coloidales del agua, modo de neutralizar sus cargas, desestabilizarlas y hacer que se aglomeren en un corto período de tiempo. El tiempo de aplicación de la mezcla rápida depende de la clase del coagulante.

Por ejemplo, los polímeros se distribuyen más lentamente que los iones metálicos debido a su mayor molécula, por lo tanto requerirán mayor tiempo o mayor gradiente de velocidad que los coagulantes metálicos hidrolizantes.

²⁷ JAHN S.A, "Uso apropiado de coagulantes naturales para el abastecimiento de agua a un medio Natural." 1989.

1.4.2 Mezcla lenta. Generalmente, el tiempo de mezcla no excede de 15 minutos, un tiempo excesivo puede crear calentamiento de la muestra originando una floculación más eficiente, pero a su vez una pobre sedimentación, ya que ocurre la liberación de los gases disueltos en el agua, formando burbujas que se adhieren a los flócs y los hacen flotar²⁸.

1.4.3 Sedimentación. Tiempo transcurrido que se demoran los coloides en sedimentar por gravedad y se obtiene el agua clarificada, las partículas sedimentan más fácilmente cuanto mayor es su diámetro, su peso específico comparado con el del líquido, y cuanto menor es la viscosidad del mismo. Por ello, cuando se quiere favorecer la sedimentación se trata de aumentar el diámetro de las partículas.

1.5 NORMATIVIDAD COLOMBIANA SOBRE CALIDAD DEL AGUA

La buena calidad del agua de consumo humano asegura al consumidor su protección contra la presencia de agentes patógenos y compuestos físicos y químicos perjudiciales a su salud. La información que proveen los programas de vigilancia y control del agua para consumo humano, aparte del beneficio relacionado con la disminución de enfermedades transmitidas por vía hídrica, es un medio que permite el mejoramiento de la calidad del servicio de abastecimiento de agua.

En Colombia la norma que regula los parámetros de calidad de agua para consumo humano se rige bajo las condiciones del decreto 1575 de 2007 por el cual se establece “El Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano”.

Aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios.

1.5.1 Decreto 1575 y resolución 2115/2007. Según este decreto se define el agua potable como aquella que debe reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el presente decreto, para ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a su salud.

²⁸ Programa regional OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano, 1992.

El capítulo II de la resolución 2115/2007 hace referencia a las características físicas y químicas del agua para consumo humano²⁹.

En la siguiente tabla 3, se encuentran especificados los valores máximos permisibles:

Características físicas	Expresadas como:	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométrías de turbiedad (UNT)	2
pH	Unidades de pH	6,5 – 9,0

Tabla 3. Características físicas y químicas del agua para consumo humano.

Fuente. Ministerio de protección social. Ministerio del medio ambiente. Vivienda y desarrollo territorial.

²⁹ MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución Número 2115, 22 de Junio de 2007. Colombia : s.n., 2007.

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada para evaluar y validar la acción de semillas de Moringa Oleífera como alternativa natural para la remoción de color, en la planta de tratamiento Centenario del Municipio de Pasto, se compone de tres etapas.

2.1 PRIMERA ETAPA. DETERMINACIÓN DE LA MEJOR SOLUCIÓN COAGULANTE ORGÁNICA.

En este proyecto de investigación se hace énfasis en los trabajos realizados por autores como Okuda y colaboradores., (1999), Ledo y colaboradores., (2009), Ghebremichael y colaboradores., (2005); Gómez y colaboradores., (2014), quienes proponen diferentes procesos experimentales para la obtención del coagulante crudo primario para la extracción del compuesto activo de semillas de Moringa Oleífera, a continuación se describe la metodología utilizada.

2.1.1 Preparación de la semilla. Se toman 4 muestras de 100 g. de semillas de Moringa Oleífera previamente extraídas de la vaina y retiradas las aletas de las semillas, a dos de estas se les retiró la cáscara dejando así libre el núcleo, se procede a macerar las 4 muestras con ayuda de un mortero con pistilo y se pesaron 25 g., de cada una de las muestras. (Ver figura 3-4).



Figura 3. Preparacion de Semilla. Figura 4. Pesaje de semilla de MO y NaCl.

2.1.2 Preparación de las soluciones coagulantes. Con el fin de determinar la mejor alternativa coagulante se preparan las siguientes soluciones.

Se realizan 4 soluciones salinas al 5%, 2 soluciones se realizan tomando 50g de cloruro de sodio NaCl y se aforan a 1l de agua destilada agitando hasta diluir, las 2 soluciones restantes se realizan tomando 50g de sal marina de grano pequeño y se aforan a 1l de agua destilada agitando hasta diluir. (Ver figura 5).



Figura 5. Materiales e insumos para preparación de coagulante.

- *Solución coagulante uno (C1) 25 g MO con cáscara + solución salina al 5% NaCl:* se prepara 1l de solución coagulante a partir de 25 g de semilla pulverizada con cáscara que se lleva a un balón volumétrico, se le adiciona la solución salina NaCl hasta alcanzar un volumen de 1000 ml. Se procede a realizar la agitación a 850 rpm por una hora a temperatura ambiente, posteriormente, se deja decantar los sólidos de la solución durante 15 horas a - 4°C, luego se realiza el filtrado de la solución coagulante mediante bomba de vacío, papel de filtro de 45 μm y un Kitasatos, posteriormente, se llevó a un separador de fases con el fin de retirar la fase oleosa, luego se realizó a la fase acuosa un filtrado final.

- *Solución coagulante dos (C2) 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5% NaCl:* Se prepara 1l de solución coagulante a partir de 25 g de semilla pulverizada sin cáscara que se lleva a un balón volumétrico, se le adiciona la solución salina NaCl hasta alcanzar un volumen de 1000 ml. Se procede a realizar la agitación a 850 rpm por una hora a temperatura ambiente, posteriormente, se deja decantar los sólidos de la solución durante 15 horas a - 4°C, luego se realiza el filtrado de la solución coagulante mediante bomba de vacío, papel de filtro de 45 μm y un Kitasatos, posteriormente, se lleva a un separador de fases con el fin de retirar la fase oleosa, luego se realizó a la fase acuosa un filtrado final.

- *Solución coagulante tres (C3) 25 g MO con cáscara + solución salina al 5% sal de mar:* Se prepara 1l de solución coagulante a partir de 25 g de semilla pulverizada con cáscara que se lleva a un balón volumétrico, se le adiciona la solución salina, sal de mar grano pequeño hasta alcanzar un volumen de 1000 ml.

Se procede a realizar la agitación a 850 rpm durante una hora a temperatura ambiente, posteriormente, se deja decantar los sólidos de la solución durante 15 horas a - 4°C, luego se realiza el filtrado de la solución coagulante mediante bomba de vacío, papel de filtro de 45 µm y un Kitasatos, posteriormente, se lleva a un separador de fases con el fin de retirar la fase oleosa, luego se realiza a la fase acuosa un filtrado final.

- *Solución coagulante cuatro (C4) 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5% sal de mar:* se prepara 1l de solución coagulante a partir de 25 g de semilla pulverizada sin cáscara que se lleva a un balón volumétrico, se le adiciona la solución salina sal de mar grano pequeño hasta alcanzar un volumen de 1000 ml. Se procede a realizar la agitación a 850 rpm por una hora a temperatura ambiente, posteriormente, se deja decantar los sólidos de la solución durante 15 horas a -4°C, luego se realiza el filtrado de la solución coagulante mediante bomba de vacío, papel de filtro de 45 µm y un Kitasatos, posteriormente, se llevó a un separador de fases con el fin de retirar la fase oleosa, luego se realizó a la fase acuosa un filtrado final. De esta manera, se obtuvo 4 coagulantes con los agentes activos de las semillas de Moringa Oleífera. (Ver tabla 4) (Ver figura 6-9).

COAGULANTE	DESCRIPCIÓN
C1	25 g MO con cáscara + solución salina al 5%
C2	25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%
C3	25 g MO con cáscara + solución salina al 5% sal de mar
C4	25 g MO sin cáscara + solución salina al 5% sal de mar

Tabla 4. Descripción de coagulantes.



Figura 6. Agitación del coagulante.



Figura 7. Decantación 15 horas -4°C.



Figura 8. Filtración con bomba de vacío.



Figura 9. Separación de fases.

2.1.3 Determinación de la efectividad de los 4 coagulantes. Para determinar cuál de las soluciones coagulantes orgánicas era más eficiente, se realiza el test de jarras con la muestra de agua número 1, la cual fue tomada en el canal de conducción de la planta de tratamiento Centenario, específicamente en el canal anterior a la canaleta Parshall, se lleva a los laboratorios de Hidráulica de la Universidad de Nariño. Posteriormente, se agita la muestra para su homogenización y para establecer la eficiencia de cada solución se usa como datos de entrada y salida los parámetros de Color, Turbiedad, PH y Alcalinidad. (Ver figura 10-13).



Figura 10. Toma de muestra.



Figura 11. Homogenización de la muestra.



Figura 12. Llenado de jarras.



Figura 13. Medición de alcalinidad.

En la medición de parámetros se utilizó los protocolos del laboratorio de Hidráulica; para medir el color se utiliza un colorímetro marca HACH, modelo DR/700 serie 18073, para la Turbidez se un Turbidímetro marca Hf Scientific Inc. Modelo DRT 100B serie 19798.



Figura 14. Medición de parámetros.



Figura 15. Turbidímetro marca Hf Sc.

El PH se midió con un pHmetro marca JENWAY modelo 3020 pH Meter serie 19788 y la prueba de Alcalinidad mediante un montaje de titulación con H_2SO_4 , indicador mixto y fenolftaleína. (Ver figura 16-17).



Figura 16. Colorímetro marca HACH.



Figura 17. Montaje para prueba de Alcalinidad.

Para la determinar la eficiencia de los coagulantes, se emplea la muestra de agua número 1 obtenida en la época seca del 2015 debida al fenómeno del Niño.

Los volúmenes utilizados de las soluciones coagulantes de Moringa Oleífera C1, C2, C3 y C4 fueron: 0.4ml/l, 1.2ml/l, 2ml/l, 2.8ml/l, 3.6ml/l, 4.40ml/l, para el ensayo 1 y de 4ml/l, 8ml/l, 12ml/l, 16ml/l, 20ml/l y 24ml/l, para el ensayo número 2.

Se procede con la realización del ensayo de jarras, se añade 2L de agua a cada una de las 6 jarras. Se realiza la mezcla rápida a 300 rpm durante 2 minutos, luego de homogenizar la muestra al transcurrir 1 minuto se dosifica para cada una de las jarras el coagulante mediante la utilización de jeringas volúmenes diferentes de cada uno de los coagulantes preparados en dosis creciente, para la mezcla lenta el equipo reduce automáticamente las revoluciones a 40 rpm por un tiempo de 20 minutos, al terminar esta etapa se retira lentamente las paletas de agitación iniciando el proceso de sedimentación durante 20 minutos. Durante el ensayo de jarras se observa los flocs mediante la comparación del Índice de floculación de Willcomb donde se estima su tamaño y comportamiento, se toman muestras de cada jarra y se mide su color, turbidez, PH y alcalinidad finales calculando así los valores de porcentajes de remoción.

Para analizar las eficiencias de remoción de color y turbiedad, se utilizan las ecuaciones 1 y 2.

Ecuación 1: Cálculo de porcentaje de remoción de color.

$$\% \text{ de Remocion de Color} = \frac{\text{Color Inicial} - \text{Color Final}}{\text{Color Inicial}} * 100$$

Ecuación 2: Cálculo de porcentaje de remoción de Turbiedad.

$$\% \text{ de Remocion de Turbiedad} = \frac{\text{Turbiedad Inicial} - \text{Turbiedad Final}}{\text{Turbiedad Inicial}} * 100$$



Figura 18. Test de jarras.



Figura 19. Aplicación de coagulante.

Debido, a las condiciones del agua por motivo del clima de la época se busca una alternativa adicional, de tal manera que se obtuvo la muestra de agua número 2 con un alto contenido de color proveniente de la Quebrada el Barbero, que es uno de los afluentes que tributa sus aguas al Rio Pasto y por ende al canal de conducción de la planta de tratamiento Centenario, realizando el ensayo de jarras con igual volúmenes de soluciones coagulantes.

2.1.4 Evaluación del coagulante con aguas de diferentes color y turbiedad en aguas sintéticas. Teniendo en cuenta, las características del agua afectadas por los factores climáticos se busca como alternativa la preparación aguas sintéticas con lodo bentónico, para determinar desde que rango de color es efectivo el coagulante.

Preparación de aguas sintéticas. Para su preparación se utiliza una solución al 2% de bentonita en 1l de agua destilada que se agita con el uso de una plancha magnética durante una hora a 800 r.p.m. Dejando en reposo durante 24 horas para separar las partículas sedimentables obteniendo así la solución aportante.

Se toman tres alícuotas de la solución aportante 2.5ml/l, 5ml/l y 7.5ml/l se mezclan con agua destilada y se agitan. Se procede a revisar los parámetros iniciales y a realizar un test de jarras con dos jarras por cada agua sintética y a la revisión de parámetros. (Ver figura 20-21).



Figura 20 y 21. Preparación agua sintética en dilución de bentonita.



Figura 22. Alícuotas solución.



Figura 23. Test de jarras.

2.2 SEGUNDA ETAPA. EVALUACION Y VALIDACION DEL COAGULANTE EN CONDICIONES DE COLOR ALTO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO CENTENARIO

Se obtiene una muestra de agua número 3, de 800 litros en la planta de tratamiento Centenario, se lleva a los laboratorios de Hidráulica de la Universidad de Nariño, posteriormente, se agita la muestra para su homogenización para evaluar y validar el coagulante. Se usa como datos de entrada y salida los parámetros de Color, Turbiedad, PH y Alcalinidad. Se determina la dosis óptima, para analizar y validar estadísticamente el proceso por medio de un análisis de varianza de un solo factor, se realizan 5 corridas del test de jarras. (Ver figura 24-25).



Figura 24 y 25. Toma de muestra temporada de Invierno 2016.

2.2.1 Caracterización de algunos parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos de la calidad de la fuente para su potabilización en la planta de tratamiento Centenario. Los parámetros analizados en la muestra de agua cruda de la planta de tratamiento Centenario se seleccionan en base a la normatividad vigente y a la calidad inicial del agua a tratar.

Se realiza la medición de parámetros en el laboratorio de la Planta de Tratamiento Centenario, los cuales son color, turbiedad, pH, alcalinidad, temperatura. Conductividad, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica, hierro, cloruros, sulfatos, nitritos, doliformes totales, estherichia coli, fluoruros, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y oxígeno disuelto.

2.2.2 Determinación de parámetros estadísticos para la validación de los resultados. Para el análisis estadístico se determina que la cantidad de muestras requeridas es $n = 30$, debido a que no hay registro de investigaciones con el proceso de extracción del coagulante que se maneja en esta investigación.

Se usa el método ANOVA que consiste en un análisis de varianza en este caso de una vía, usando como variable el porcentaje de remoción de color, utilizando 30 datos de las 5 corridas para la validación del método de extracción de la solución del coagulante y para validar el proceso con las semillas de Moringa Oleífera con un nivel de significancia $f = 0.05$, planteando una hipótesis y de contraparte su hipótesis nula.

2.2.3 Determinación de la dosis óptima de policloruro de aluminio (PAC). Para el desarrollo de esta prueba se prepara el Policloruro de Aluminio a una concentración del 2% o 200 ppm con los cuales se procede a realizar el ensayo de jarras, determinando la dosis óptima y análisis de eficiencia. (Ver figura 26-29).



Figura 26 y 27. Test de jarras.

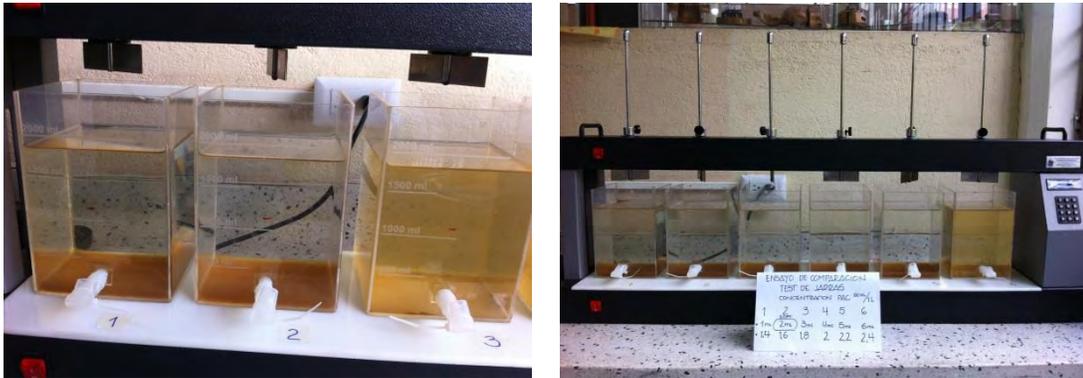


Figura 28 y 29. Resultados dosis óptima.

2.3 TERCERA ETAPA.

2.3.1 Identificación y evaluación de algunos parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos con efecto para la salud humana posteriormente al proceso de potabilización con coagulante natural proveniente de la semilla de Moringa Oleífera y al coagulante sintético policloruro de aluminio (PAC). Una vez realizados los procesos de potabilización con los dos coagulantes se procede a analizar los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos y comparando los resultados obtenidos, identificando cuales tienen incidencia en la salud humana.

2.3.2 Eficiencia de remoción de color con la utilización de coagulante policloruro de aluminio (PAC) y coagulante natural proveniente la semilla de Moringa Oleífera y comparar los resultados obtenidos:

Para analizar la eficiencia de remoción de color, se utiliza la ecuación 1:

Ecuación 1: Cálculo de porcentaje de remoción de color.

$$\% \text{ de Remoción de Color} = \frac{\text{Color Inicial} - \text{Color Final}}{\text{Color Inicial}} * 100$$

Se comparan los resultados de porcentajes obtenidos de remoción de color, utilizando los coagulantes del Policloruro de Aluminio y del extracto de Moringa Oleífera.

2.3.3 Evaluación económica de los costos de las dos alternativas y analiza la factibilidad de la implementación del coagulante natural proveniente la semilla de moringa oleífera. Se determina la diferencia de valores económicos que presenta la utilización de Moringa Oleífera como coagulante natural frente a la utilización de PAC, para así establecer criterios de comparación y demostrar si es una alternativa viable para su implementación en la planta. La evaluación se hace con valores utilizados a nivel de laboratorio al momento de desarrollar la investigación. Teniendo en cuenta que el coagulante natural se obtiene a partir de un subproducto de la extracción de aceite de las semillas de Moringa Oleífera y que la utilización del Policloruro de Aluminio requiere de tratamientos adicionales.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 PRIMERA ETAPA

3.1.1 Determinación de la mejor solución coagulante natural. Se toma una muestra de agua del canal de conducción de la planta de tratamiento Centenario y se mide los parámetros físico-químicos, obteniendo los siguientes resultados:

MUESTRA	COLOR (UPC)	TURBIEDAD (UNT)	pH	ALCALINIDAD (mg/L)
1	59	5.9	7.02	18.68

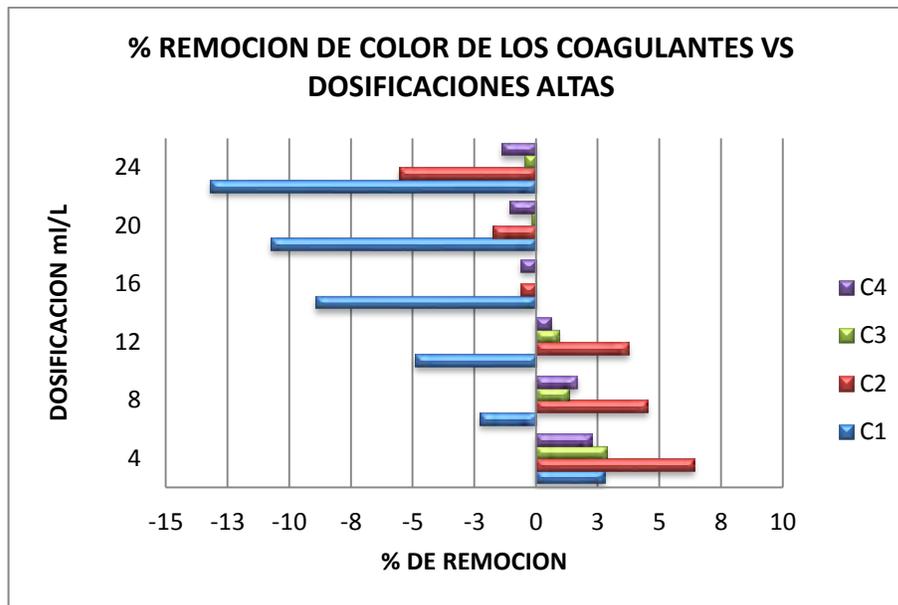
Tabla 5. Parámetros iniciales muestra 1.

Se realizan 8 ensayos de jarras, 2 procesos para cada coagulante, uno con dosificaciones altas y otro con dosificaciones bajas.

Para el primer proceso con dosificaciones altas se varia su dosificación de 4, 8, 12, 16, 20 y 24 ml/l, en estos 4 ensayos se observa que los porcentajes de remoción son muy bajos y a medida que aumenta la dosificación se nota una formación de floc disperso que no sedimenta, incrementando el color y la turbiedad en las muestras, variando levemente el pH y manteniendo su alcalinidad. (Ver anexo ensayos 1, 3, 5, 7). (Ver tabla 6)

DOSIFICACIÓN ml/L	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR			
	C1	C2	C3	C4
4	2,78	6,39	2,85	2,25
8	-2,29	4,51	1,31	1,66
12	-4,9	3,76	0,92	0,61
16	-8,93	-0,61	-0,03	-0,63
20	-10,75	-1,73	-0,19	-1,05
24	-13,19	-5,54	-0,46	-1,37

Tabla 6. Porcentaje de remoción de color con dosificaciones de coagulante altas.

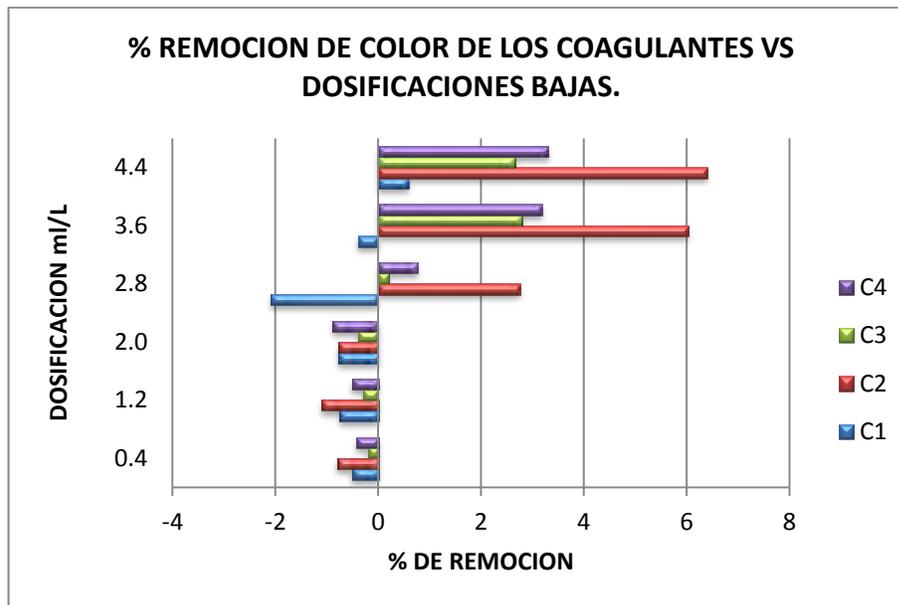


Gráfica 1. Porcentajes de remoción de color vs dosificaciones altas.

En el segundo proceso se modifica las dosificaciones así: 0.4, 1.2, 2, 2.8, 3.6 y 4.4 ml/l, para los 4 ensayos se observa que los coagulantes no presentan respuesta favorable, bajos signos de aglutinación, ensuciando la muestra por lo tanto aumenta los valores de color y turbiedad ligeramente, manteniendo el pH y la alcalinidad. (Ver anexo ensayos 2, 4, 6, 8). (Ver tabla 7).

DOSIFICACIÓN ml/L	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR			
	C1	C2	C3	C4
0.40	-0.51	-0.80	-0.20	-0.42
1.20	-0.75	-1.10	-0.29	-0.51
2.0	-0.78	-0.78	-0.39	-0.88
2.80	-2.08	2.75	0.20	0.76
3.60	-0.39	6.02	2.80	3.19
4.40	0.59	6.39	2.66	3.31

Tabla 7. Porcentaje de remoción de color con dosificaciones de coagulante bajas.



Gráfica 2. Porcentajes de remoción de color vs dosificaciones bajas.

El resultado en las pruebas de laboratorio revela que no se crean flocs con dosificaciones bajas y en dosificaciones altas se observa la presencia de flocs pero estos no sedimentan.

Se analiza la eficiencia de remoción de color en los 4 coagulantes gráfica 1 y gráfica 2, observando que no arrojaron resultados satisfactorios, debido a los bajos niveles de color que presentó la muestra 1 por las complejas condiciones de verano, circunstancia que favorece el tratamiento que normalmente se realiza al agua cruda en la planta de tratamiento Centenario.

Se utiliza la muestra de agua número 2, tomada en la Quebrada el Barbero con un color alto y se miden los parámetros iniciales y se realiza el procedimiento descrito anteriormente para cada coagulante, realizando los ensayos de jarras con igual volumen de dosificaciones de coagulante, (Ver tabla 8-9).

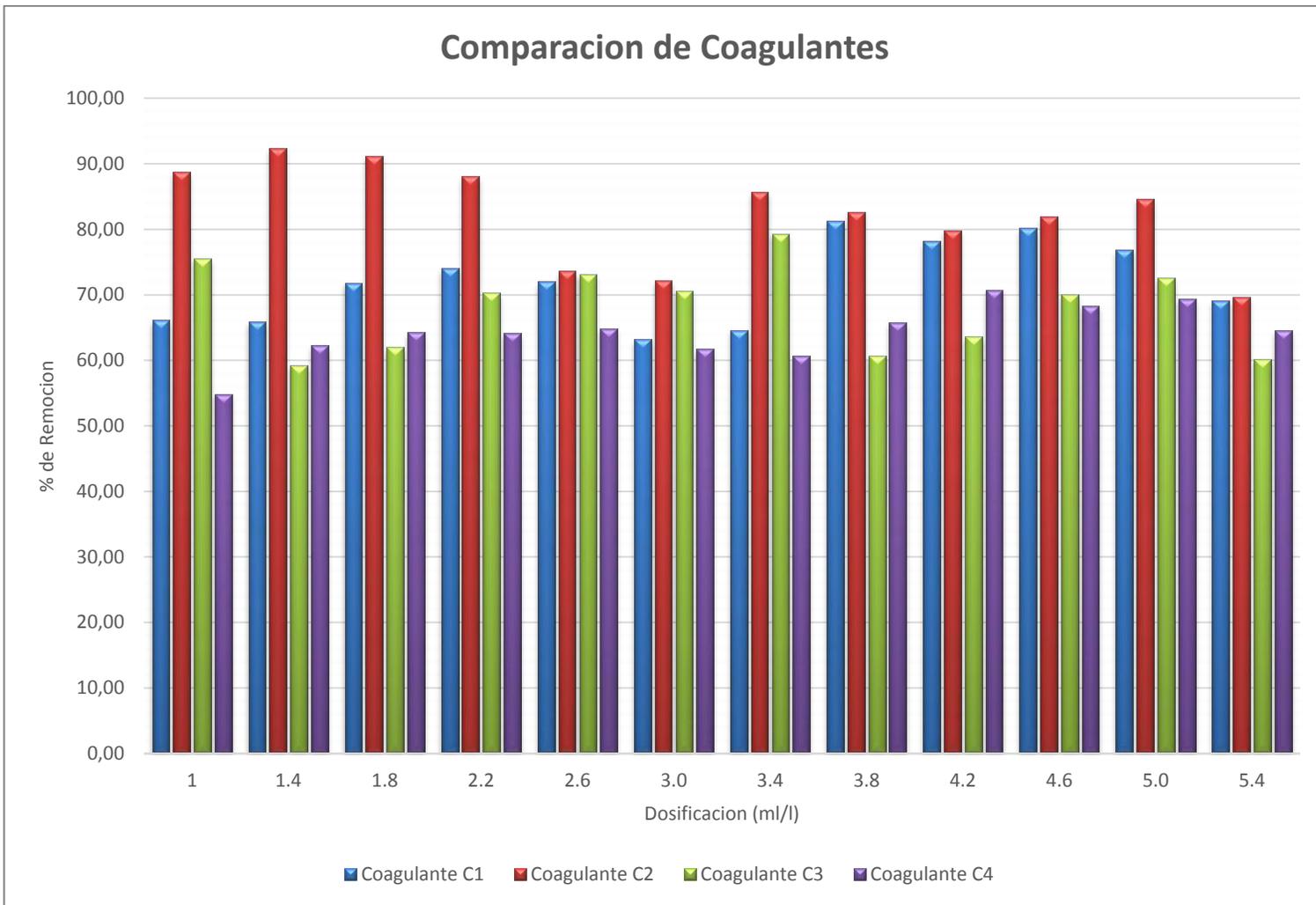
MUESTRA	COLOR (UPC)	TURBIEDAD (UNT)	pH	ALCALINIDAD (mg/L)
2	267.16	36.70	6.9	15

Tabla 8. Parámetros iniciales muestra 2.

En este proceso se realiza 8 ensayos y el resultado fue satisfactorio para los 4 coagulantes, ya que se observa porcentajes de remoción altos descritos a continuación en la tabla No. 9. (Ver anexo 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16):

DOSIFICACIÓN ml/L	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR			
	C1	C2	C3	C4
1	66,12	88,73	75,57	54,86
1.4	65,94	92,36	59,24	62,27
1.8	71,83	91,21	61,99	64,27
2.2	74,00	88,09	70,25	64,16
2.6	71,98	73,60	73,11	64,86
3.0	63,21	72,22	70,63	61,77
3.4	64,59	85,75	79,29	60,66
3.8	81,21	82,59	60,60	65,82
4.2	78,19	79,84	63,62	70,75
4.6	80,15	81,95	70,08	68,34
5.0	76,81	84,64	72,56	69,30
5.4	69,12	69,67	60,19	64,52

Tabla 9. Porcentaje de remoción de color con dosificaciones de coagulante.



Gráfica 3. Comparación de coagulantes.

En el desarrollo de esta serie de ensayos se analiza la eficiencia de remoción de color con los 4 coagulantes y se determina que los mejores resultados se obtienen con el coagulante C2 (25 g MO sin cáscara + solución salina al 5% NaCl).

Con una dosificación de 1.4 ml/l de coagulante C2 se obtiene un porcentaje de remoción de color de 92.36% disminuyendo el color real de 267.17 UPC a 20.42 UPC color aparente y a un color real de 2.04 UPC, además se obtiene un porcentaje de remoción de turbiedad de 89.86% bajando la turbiedad de 36.70 NTU a 3.72 NTU y se mantiene la alcalinidad del agua, su pH no varía significativamente. Razón por la cual se toma el coagulante C2 para continuar el proceso.

3.1.2 Evaluación del coagulante con aguas de diferentes color y turbiedad en aguas sintéticas. Determinada ya la efectividad del coagulante se realizan pruebas con la preparación de aguas sintéticas con el fin de establecer un rango de acción del coagulante. (Ver tabla 10).

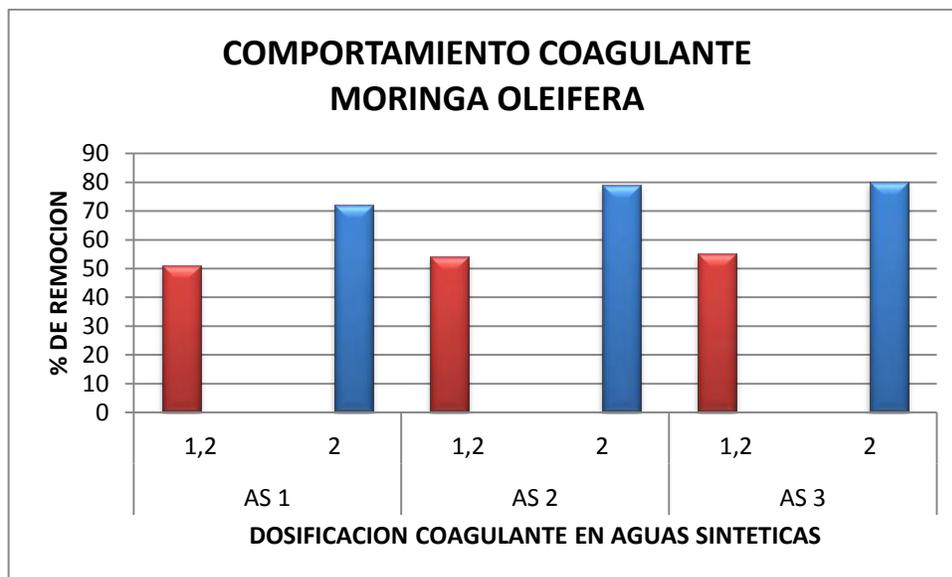
MUESTRA	ALÍCUOTAS	COLOR	TURBIEDAD
Agua sintética 1 (AS 1)	2,5 ml/l	73	8,2
Agua sintética 2 (AS 2)	5 ml/l	151	16,07
Agua sintética 3 (AS 3)	7,5 ml/l	203	21,4

Tabla 10. Parámetros iniciales aguas sintéticas.

Se preparan dos dosificaciones de coagulante C2 (25 g MO sin cáscara + solución salina al 5% NaCl), 1.2 y 2 ml/l para las 3 muestras de agua sintética y se analiza su comportamiento. (Ver tabla 11).

MUESTRA	DOSIFICACIÓN COAGULANTE (ml/l)	% DE REMOCIÓN DE COLOR
AS 1	1,2	51
	2	72
AS 2	1,2	54
	2	79
AS 3	1,2	55
	2	80

Tabla 11. Porcentaje de remoción de color aguas sintéticas.



Gráfica 4. Comportamiento coagulante moringa oleífera

Determinando de esta manera que entre más alto es color y la turbiedad de la muestra a tratar, la eficiencia de los porcentajes de remoción de color con el coagulante a base de moringa es mejor. (Ver anexo 17).

3.2 SEGUNDA ETAPA

3.2.1 Evaluación y validación del coagulante en condiciones de color alto en la planta de tratamiento centenario. En esta etapa de la investigación, se trabaja con la muestra 3 tomada en el canal de conducción de la planta de tratamiento Centenario, correspondiente a la época de invierno en el mes de marzo del 2016, la muestra presenta las siguientes condiciones iniciales: (Ver tabla 12)

MUESTRA	COLOR (UPC)	TURBIEDAD (UNT)	pH	ALCALINIDAD (mg/l)
3	231.55	15.68	6.73	21

Tabla 12. Parámetros iniciales muestra 3.

Con el fin de determinar la dosis óptima de coagulante C2 (25 g MO sin cáscara + solución salina al 5% NaCl), para esta muestra, se procede a realizar diez ensayos de jarras, variando sus dosificaciones en así 0.16, 0.40, 0.64, 0.80, 1.6, 2.4, 3.2, 4, 4.8, 5.6, 6.4, 7.2, 8, 8.8, 9.6, 10, 11, 11.5, 12, 12, 12, 12.5, 13, 13, 13, 13, 13.5, 13.5, 14, 14, 14, 14, 14, 14.5, 15, 15, 15, 15.2, 15.5, 16, 16, 17, 17.2, 18, 19.2, 20, 21.2, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 40, 50, 60, 70 y 80 ml/l los resultados

obtenidos de los ensayos de jarras se presentan en la tabla 13. (Ver anexos 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 y 27).

Dosificación (ml/l)	Color (UPC)	Color Real (UPC)	Turbiedad (UNT)	% Remoción de Color	% Remoción Turbiedad
0.16	206.93	176.21	12.26	10.63	21.81
0.4	204.73	182.55	14.13	11.58	9.86
0.64	202.53	158.96	12.01	12.53	23.41
0.8	205.70	167.77	12.19	11.17	22.26
1.6	198.37	173.35	11.77	14.33	24.93
2.4	195.67	154.28	11.62	15.50	25.91
3.2	186.02	151.72	12.07	19.66	23.03
4	194.90	174.43	11.57	15.83	26.19
4.8	210.72	176.46	12.24	8.99	21.91
5.6	203.39	165.89	11.83	12.16	24.53
6.4	209.95	181.06	11.85	9.33	24.40
7.2	211.89	176.88	11.96	8.49	23.72
8	192.98	164.33	10.93	16.66	30.32
8.8	194.91	174.44	11.03	15.82	29.64
9.6	178.32	149.32	10.12	22.99	35.43
10	174.65	142.45	9.92	24.57	36.71
11	167.80	144.71	9.07	27.53	42.17
11.5	160.91	121.30	8.71	30.51	44.47
12	156.33	133.12	8.47	32.49	46.01
12	155.57	135.10	8.33	32.81	46.89
12	155.95	135.43	8.41	32.94	46.36
12.5	151.74	127.07	7.78	34.47	50.37
13	142.53	116.25	7.32	38.44	53.32
13	142.10	122.54	7.41	38.63	52.77
13	141.80	106.90	7.11	38.76	54.62
13	142.00	120.92	7.49	38.67	52.26
13.5	131.00	110.13	8.74	43.42	44.25
13.5	131.89	110.44	8.01	43.04	48.89
14	119.48	97.44	7.79	48.40	50.30
14	119.61	97.44	7.46	48.35	52.44
14	118.55	89.37	7.36	48.80	53.06
14	120.30	98.06	7.79	48.05	50.30
14	119.93	97.42	7.73	48.20	50.68
14.5	105.63	84.28	7.13	54.38	54.53
15	94.10	64.52	6.27	59.36	60.04

15	89.96	68.58	6.08	61.15	61.25
15	94.00	70.86	6.26	59.41	60.08
15.2	95.94	75.74	6.67	58.57	57.49
15.5	98.69	69.08	6.80	57.38	56.65
16	107.90	82.84	7.24	53.40	53.84
16	107.90	85.89	7.58	53.40	51.64
17	124.01	100.60	8.39	46.44	46.49
17.2	125.84	94.86	8.28	45.65	47.18
18	137.80	117.35	10.80	40.49	31.13
19.2	155.74	132.81	9.34	32.74	40.41
20	186.23	155.95	11.08	19.57	29.34
21.2	197.78	161.31	11.21	14.59	27.55
22	204.56	176.41	12.12	11.66	22.68
23	200.31	163.09	11.88	13.49	24.22
24	238.84	203.39	16.08	-3.15	-2.54
25	254.22	227.52	17.95	-9.79	-14.50
26	246.44	206.37	16.51	-6.43	-5.30
27	261.81	234.79	18.39	-13.07	-17.26
28	254.04	219.08	16.94	-9.71	-8.06
30	268.26	212.49	22.77	-15.86	-45.25
40	290.49	247.37	28.27	-25.45	-80.28
50	325.24	291.09	34.88	-40.46	-122.43
60	347.46	290.96	37.96	-50.06	-142.12
70	351.79	286.92	42.89	-51.93	-173.56
80	358.15	308.87	46.90	-54.68	-199.08

Tabla 13. Resumen dosis óptima.

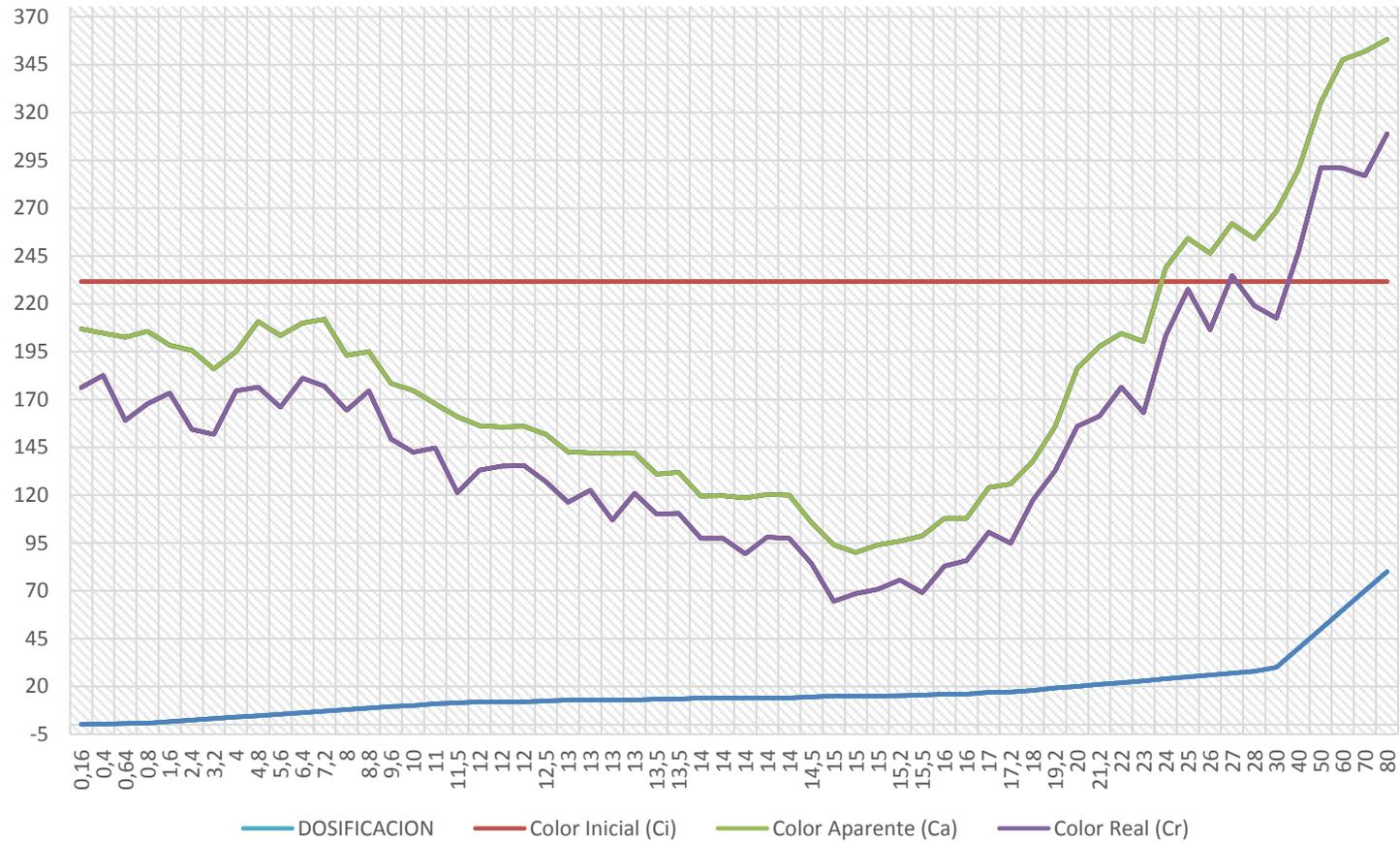
En la tabla 13, se relaciona la dosificación de coagulante, el color aparente, el color real, el valor de turbiedad, el porcentaje de remoción de color y el porcentaje de remoción de turbiedad, visualizando que disminuye el color de la muestra de 231.55 UPC a 89.96 UPC y a un color real después de filtrado de 68.58 UPC, igualmente disminuye la turbiedad de 15.68 UNT A 6.08 UNT, donde se obtiene un porcentaje de remoción de color de 61.15% y un porcentaje de remoción de turbiedad de 61.25% para una dosificación de 15 ml/l, se tiene en cuenta que el porcentaje de remoción de color aparente de 61.15% con una dosificación de 15 ml/l ya que no simula con precisión el proceso de filtrado que se realiza en la planta de tratamiento y en el laboratorio debido a que los tiempos de filtrado varían.

Dicho resultado de color no cumple con los parámetros establecidos en la normativa colombiana ya que este debería ser menor o igual a 15 UPC.

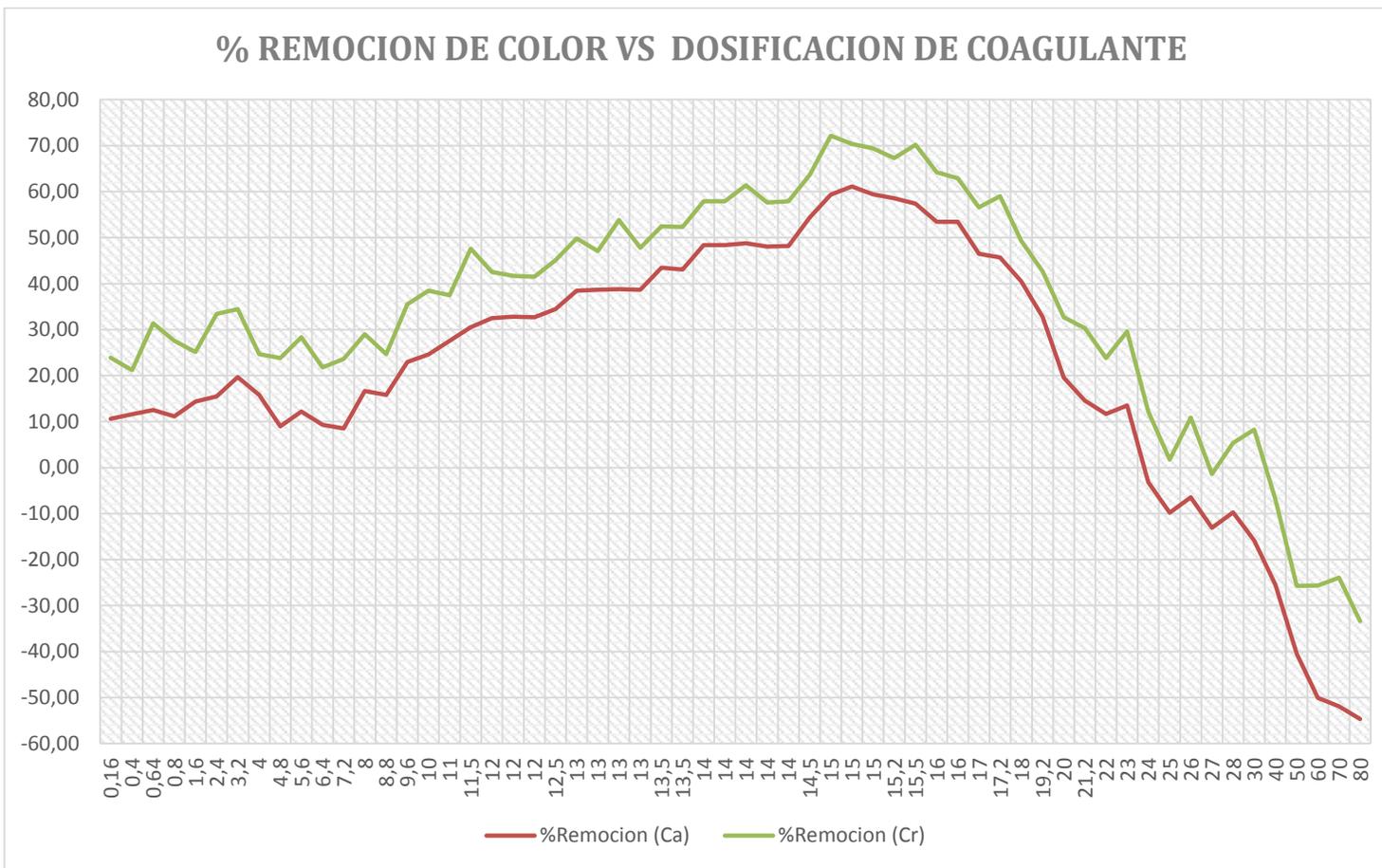
La muestra de agua varía su color con la aplicación del coagulante, en dosificaciones de 0.16, 0.40, 0.64, 0.80, 1.6, 2.4, 3.2, 4, 4.8, 5.6, 6.4, 7.2, 8, y 8.8, ml/L formando cadenas de flocs observando que muy pocos de estos sedimentan en el tiempo de 20 minutos. Con dosificaciones de 9.6, 10, 11, 11.5, 12, 12, 12, 12.5, 13, 13, 13, 13, 13.5, 13.5, 14, 14, 14, 14, 14, 14.5, 15, 15, 15, 15.2, 15.5, 16, 16, 17, 17.2, y 18, ml/l se observa un cambio de color, formando cadenas de flocs que sedimentan rápidamente sin lograr un porcentaje alto de remoción de color comparado con los porcentajes de remoción obtenidos en la muestra de agua número 2. En dosificaciones de 19.2, 20, 21.2, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, y 30, ml/l se forman cadenas de flocs, observando que no sedimentan en el tiempo de estipulado, y en dosificaciones de 40, 50, 60, 70 y 80 ml/L no se forman cadenas de floc, el coagulante ensucia la muestra y las partículas que sedimentan son muy pocas.

Al analizar los datos obtenidos se observa que cuando aumenta la dosificación de coagulante el color disminuye, cuando la dosificación llega a 15 ml/l el color aparente disminuye hasta 86.96 UPC; mostrando un punto de inflexión en el cual el color comienza a incrementarse, con las dosificaciones de coagulante superiores a 27 ml/l el color supera al color inicial indicando que la aplicación de coagulante en estas dosificaciones ensucia la muestra de agua. (Gráfica 5).

COMPORTAMIENTO DE COLOR VS DOSIFICACION DE COAGULANTE

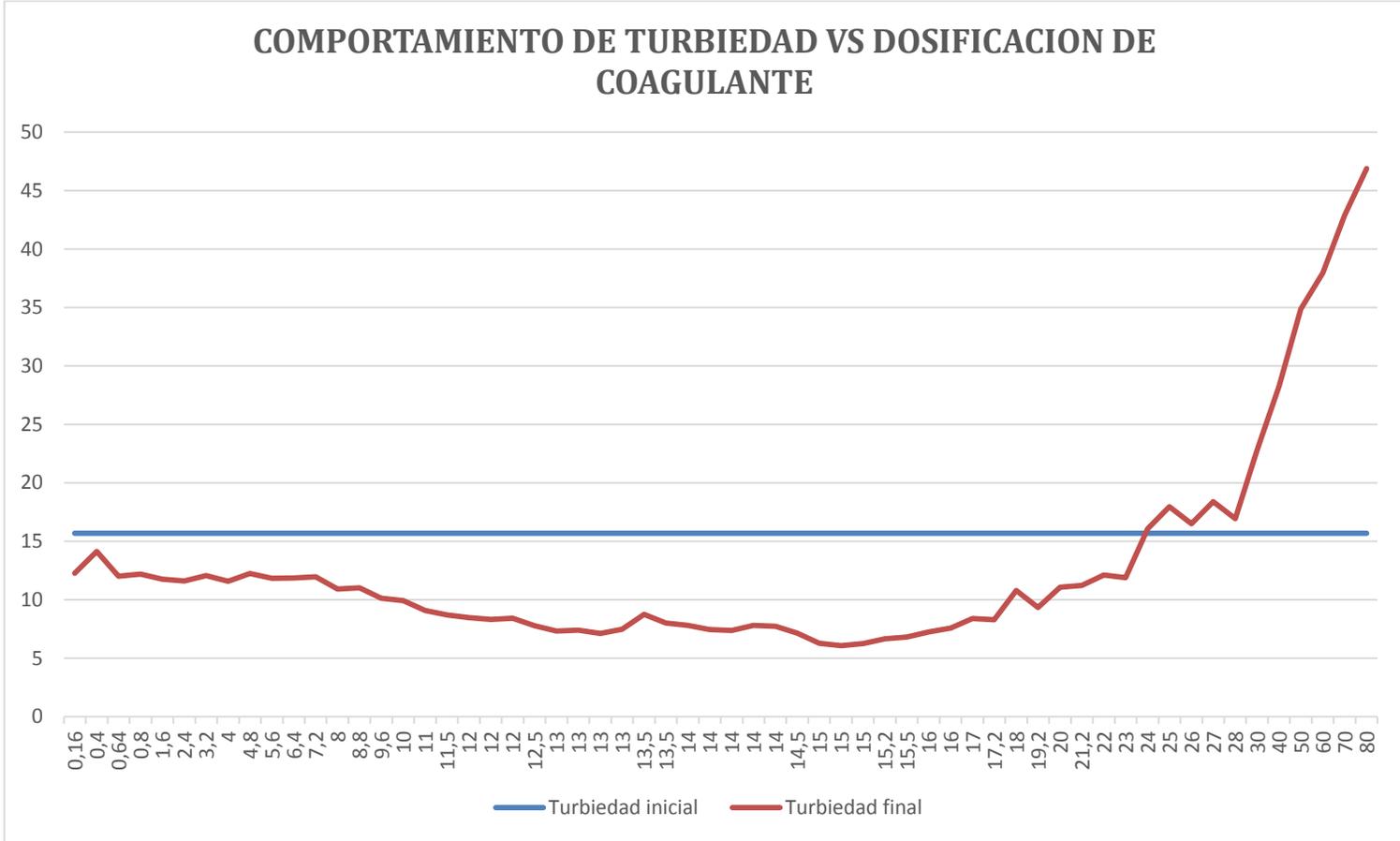


Gráfica 5. Comportamiento de color vs dosificación de coagulante.



Gráfica 6. Porcentaje de remoción de color vs dosificación de coagulante.

Al analizar el comportamiento del porcentaje de remoción de color aparente y color real, se establece que comportamiento del coagulante natural aumenta al aumentar la dosificación, hasta llegar a un punto de inflexión con una dosificación de 15 ml/l, estableciendo el porcentaje más alto de remoción de color de 61.15%. (Gráfica No. 6).



Gráfica 7. Comportamiento de turbiedad vs dosificación de coagulante

Al relacionar el comportamiento de la turbiedad con la dosificación de coagulante se observa que la turbiedad va disminuyendo a medida que aumenta la dosificación de coagulante hasta 15 ml/l, a partir de esta dosificación se presenta un cambio en el comportamiento de la turbiedad incrementando sus valores, cuanto se tiene una dosificación de 25 ml/l o más sobrepasa el valor de turbiedad inicial lo que indica que se está ensuciando la muestra. Por lo que se determina que la dosis óptima de coagulante natural es de 15 ml/l. (Gráfica 7).

3.2.2 Caracterización de algunos parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos de la calidad de la fuente para su potabilización en la planta de tratamiento Centenario. Los parámetros analizados en la muestra de agua cruda de la planta de tratamiento Centenario se seleccionan en base a la normativa vigente y a la calidad inicial del agua a tratar.

ENSAYO	UNIDADES	VALOR
TURBIEDAD	N.T.U.	15.68
COLOR APARENTE	U.P.C.	382
COLOR REAL	U.P.C.	232
TEMPERATURA	° C	19.8
CONDUCTIVIDAD	µsiemens/cm	28.9
ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	21.0
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	12.8
DUREZA CÁLCICA	mg/l CaCO ₃	10.6
DUREZA MAGNÉSICA	mg/l CaCO ₃	2.2
PH		6.73
HIERRO	mg/l Fe	1.84
CLORUROS	mg/l Cl	2.2
SULFATOS	mg/l SO ₄	0
NITRITOS	mg/l NO ₂	0.023
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	81640.0
ESTCHERICHIA COLI	UFC/100 ml	30760.0
FLUORUROS	mgF/l	0.064
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mgSS/l	47.0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	mgO ₂ /l	20.0
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	mgO ₂ /l	77.79
OXIGENO DISUELTO	mgO ₂ /l	6.94

Tabla 14. Parámetros físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos muestra 3.

Teniendo en cuenta los parámetros descritos anteriormente, se encuentra que la muestra de agua 3 que llega a la planta de tratamiento Centenario, presenta alto contenido de color, baja turbiedad y baja alcalinidad características predominantes en el agua del departamento de Nariño, demostrando que se trabaja con un agua de condiciones difíciles de tratar. Referente a la conductibilidad, dureza total, pH, hierro, cloruros, sulfatos, nitritos, fluoruros y sólidos suspendidos totales se encuentra dentro de los parámetros normales.

También presenta elevados valores de coliformes totales determinando que es un agua con gran cantidad de bacterias y con altos valores de *estcherichia coli* que es un indicador microbiológico de contaminación fecal, además la DBO, DQO y oxígeno disuelto confirman la contaminación de la muestra de agua y por tanto se considera que es agua de mala calidad.

3.2.3 Determinación de parámetros estadísticos para la validación de los resultados. Para el análisis estadístico se determina que la cantidad de muestras requeridas es $n = 30$, debido a que no hay registro de investigaciones con el proceso de extracción del coagulante natural que se maneja en esta investigación. Por lo que es necesario la obtención de estos valores.

Se usa el método ANOVA que consiste en un análisis de varianza en este caso de una vía, usando como variable el porcentaje de remoción de color, utilizando 30 datos de las 5 corridas del ensayo de jarras, para la validación del método de extracción de la solución del coagulante de las semillas de Moringa Oleífera y su comportamiento en el proceso de remoción de color, con un nivel de significancia $f = 0.05$, planteando una hipótesis y de contraparte su hipótesis nula. (Ver anexos 28, 29, 30, 31 y 32) (Ver tabla 15).

Datos de color para validación del coagulante proveniente de Moringa (UPC)					
# de Jarra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
1	98.65	90.79	97.01	90.23	94.32
2	95.11	91.62	94.44	89.46	92.12
3	96.08	90.01	96.27	90.14	96.35
4	91.31	92.60	91.41	94.85	92.85
5	98.28	96.73	91.78	98.00	96.47
6	94.81	96.27	97.55	90.47	97.14

Tabla 15. Datos de color para validación del coagulante.

Hipótesis: ¿Existe diferencias significativas entre los resultados de remoción de color utilizando el coagulante proveniente de las semillas de Moringa Oleífera?

RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Ensayo 1	6	574.24	95.71	7.19		
Ensayo 2	6	558.02	93.00	8.10		
Ensayo 3	6	568.44	94.74	7.07		
Ensayo 4	6	553.15	92.19	11.86		
Ensayo 5	6	569.25	94.88	4.37		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	50.62	4	12.65	1.64	0.20	2.76
Dentro de los grupos	192.95	25	7.72			
Total	243.57	29				

Tabla 16. Análisis de varianza color.

Como el valor calculado $F = 1,64$ es menor que el valor crítico de $F = 2,76$ se acepta la hipótesis nula no hay diferencias significativas entre los resultados de remoción de color utilizando el coagulante proveniente de las semillas de Moringa Oleífera. Demostrando que el comportamiento del coagulante es estable, no tiene variaciones significativas en el proceso de remoción de color y el proceso de extracción son válidos. (Ver tabla 17).

Datos de turbiedad para validación del coagulante proveniente de Moringa (NTU)					
# de Jarra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
1	6.61	6.02	6.53	6.04	6.37
2	6.37	6.18	6.37	5.84	6.22
3	6.40	6.01	6.41	6.05	6.66
4	6.12	6.23	6.11	6.36	6.27
5	6.64	6.58	6.09	6.75	6.34
6	6.25	6.45	6.53	5.21	5.94

Tabla 17. Datos de turbiedad para validación del coagulante.

Hipótesis: ¿Existen diferencias significativas entre los resultados de remoción de turbiedad utilizando el coagulante proveniente de las semillas de Moringa Oleífera?

RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Ensayo 1	6	38.39	6.40	0.04		
Ensayo 2	6	37.47	6.25	0.05		
Ensayo 3	6	38.04	6.34	0.04		
Ensayo 4	6	36.25	6.04	0.27		
Ensayo 5	6	37.8	6.30	0.05		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.45	4	0.11	1.24	0.32	2.76
Dentro de los grupos	2.27	25	0.09			
Total	2.72	29				

Tabla 18. Análisis de varianza turbiedad.

Como el valor calculado $F = 1,24$ es menor que el valor crítico de $F = 2,76$ se acepta la hipótesis nula no hay diferencias significativas entre los resultados de remoción de turbiedad utilizando el coagulante proveniente de las semillas de Moringa Oleífera. Demostrando que el comportamiento del coagulante es estable y no tiene variaciones significativas en el proceso de remoción de turbiedad.

3.2.4 Determinación de la dosis óptima de policloruro de aluminio (PAC).

Para el desarrollo de esta prueba se prepara el Policloruro de Aluminio a una concentración del 2% o 200 ppm con los cuales se procede a realizar el ensayo de jarras determinando la dosis óptima y analizar su eficiencia.

Se procede a realizar ensayos de jarras, variando sus dosificaciones así 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 y 0.06 ml/L donde se observa que los porcentajes de remoción son buenos para una dosificación de 0.02 ml/l disminuyendo el color de la muestra de 231.55 UPC a 0.99 UPC y a un color real después de filtrado de 0 UPC, igualmente disminuye la turbiedad de 15.68 UNT A 0.55 UNT, donde se obtiene un porcentaje de remoción de color de 99.57 % y un porcentaje de remoción de turbiedad de 96.49 % para una dosificación de 0.02 ml/l.(Ver anexo 33).

Dicho resultado de color cumple con los parámetros establecidos en la normativa colombiana ya que este debe ser menor o igual a 15 UPC, sin embargo varía el pH y es necesario elevar la alcalinidad para que el coagulante reaccione de manera adecuada.

Se realiza una confirmación del comportamiento del coagulante de Policloruro de Aluminio con dosificaciones de 0.014, 0.016, 0.018, 0.020, 0.022 y 0.024 ml/l y se ratifica el comportamiento del coagulante. (Ver anexo 34). Los resultados de porcentaje de remoción de color son muy buenos se obtienen porcentajes de 84.67, 88.47, 91.33, 94.04, 90.70 y 38.05 respectivamente por lo que se define la dosis óptima es de 0,02 ml/l.

3.3 TERCERA ETAPA

3.3.1 Identificación y evaluación de algunos parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos con efecto para la salud humana, posterior al proceso de potabilización con coagulante natural proveniente de la semilla de moringa oleífera y al coagulante sintético policloruro de aluminio (PAC). Los parámetros analizados en la muestra de agua número 3 proveniente de la planta de tratamiento Centenario posterior al proceso de potabilización se seleccionan y comparan con base a la normativa vigente y a la calidad inicial del agua. (Ver tabla 19).

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA CRUDA	LUEGO DE MORINGA	LUEGO DE PAC
TURBIEDAD	N.T.U.	15.68	5.84	0.55
COLOR APARENTE	U.P.C.	382	86,49	7
COLOR REAL	U.P.C.	232	67.47	0
TEMPERATURA	° C	19.8	20.8	20.1
CONDUCTIVIDAD	µsiemens/cm	28.9	37.3	66.0
ALCALINIDAD	mg/l CaCO ₃	21.0	19.800	12.610
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	12.8	14.250	21.017
DUREZA CÁLCICA	mg/l CaCO ₃	10.6	11.230	9.608
DUREZA MAGNÉSICA	mg/l CaCO ₃	2.2	3.020	11.409
pH	---	6.73	6.88	6.12
HIERRO	mg/l Fe	1.84	1.310	0.169
CLORUROS	mg/l Cl	2.2	2.600	2.975
SULFATOS	mg/l SO ₄	0	1	1
NITRITOS	mg/l NO ₂	0.023	0.019	0.013
COLIFORMES TOTALES	UFC/100 ml	81640.0	10520	0

ESTCHERICHIA COLI	UFC/100 ml	30760.0	680	0
FLUORUROS	mgF-/l	0.064	0.056	0.036
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mgSS/l	47.0	23	12
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	mgO ₂ /l	20.0	9.798	5.112
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	mgO ₂ /l	77.79	56.387	22.120
OXIGENO DISUELTO	mgO ₂ /l	6.94	3.263	4.720
ALUMINIO RESIDUAL	mgAL/l	---	0.000	0.076
CALCIO	mgCa/l	---	0.760	3.848
CLORO RESIDUAL	mgCL ₂ /l	---	0.00	1.07
MAGNESIO	mgMg/l	---	0.928	2.752
MESÓFILOS	UFC//100cm ³	---	0.81	0
NITRATOS	mgN-NO ₃ /l	---	4.1	4.7

Tabla 19. Comparación de parámetros fisicoquímicos luego del proceso de potabilización.

Al realizar la comparación directa entre los dos coagulantes, se observa que la acción del coagulante a base de Moringa Oleífera es efectiva en este tipo de muestras, aunque se esperaba mejor reacción del coagulante a base de moringa teniendo en cuenta su reacción en la muestra 2 frente a la acción del Policloruro de Aluminio, sin embargo es importante destacar la acción del coagulante proveniente de semillas de Moringa Oleífera con condiciones iniciales de difícil tratabilidad, logrando disminuir el color aparente de 382 UPC a 86,49 UPC, el color real de 232 UPC a 67.47 UPC, la turbiedad de 15.68 NTU a 5,84 NTU.

Con el coagulante natural no se modifica considerablemente el valor de pH y la alcalinidad, condición favorable frente al policloruro debido a que este baja la alcalinidad y el pH, además, en aguas con alcalinidad baja el Policloruro de Aluminio no reacciona, razón por la cual es necesario adicionar cal hidratada y posterior a los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtrado se debe adicionar de nuevo un alcalinizante con el fin de estabilizar el rango de pH para su distribución (6.5 -9), incrementando los valores de conductividad, y dureza total.

El incremento en los valores de cloruro con el coagulante natural se debe a que se encuentra disuelto en solución salina y con el Policloruro de Aluminio por su naturaleza.

La remoción de coliformes totales y *estcherichia coli* con policloruro es mejor que coagulante natural resaltando que con un porcentaje de remoción de color del 61.17% se establece porcentajes de remoción de coliformes del 87.11% y un porcentaje de reducción de estcherichia coli del 97,79% que incide en la disminución de los parámetros DBO, DQO y oxígeno disuelto mejorando la calidad del agua.

Es notable la diferencia de valores residuales entre los dos coagulantes, ya que, con el coagulante natural no se observa presencia de aluminio y cloro que afectan la salud humana, condición favorable frente al policloruro que si los presenta.

3.3.2 Eficiencia de remoción de color con la utilización de coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) y coagulante natural proveniente la semilla de moringa oleífera y comparación de los resultados obtenidos. Para analizar las eficiencias de remoción de color y turbiedad, se utiliza la ecuación 1.

Ecuación 1: Cálculo de porcentaje de remoción de color.

$$\% \text{ de Remocion de Color} = \frac{\text{Color Inicial} - \text{Color Final}}{\text{Color Inicial}} * 100$$

Se comparan los porcentajes de remoción de color utilizando los coagulantes del Policloruro de Aluminio y del extracto de Moringa Oleífera.

El coagulante proveniente de las semillas de Moringa Oleífera alcanza un porcentaje de remoción de color de 61.15% para la muestra de agua 3 y alcanza un porcentaje de remoción de color de 92.36 % en la muestra de agua 2, se puede analizar que los parámetros iniciales de la muestra afectan el comportamiento del coagulante en la remoción de color, en contraparte se tiene el coagulante sintético Policloruro de Aluminio con el cual se obtiene un porcentaje de remoción de color del 99.57% en la muestra de agua 3 con una dosificación muy baja. Pero es necesario adicionar un alcalinizante para que pueda reaccionar de esta manera. (Ver tabla 20).

3.3.3 Evaluación económica de los costos de las dos alternativas y analizar la factibilidad de la implementación del coagulante natural proveniente la semilla de Moringa Oleífera.

Tipo de coagulante	Equipos e insumos	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total	Costo preparación coagulante Moringa Oleífera	Costo preparación coagulante Policloruro de Aluminio
Preparación de la solución coagulante de Moringa Oleífera	Equipo de vacío para solido	día	1	\$30,000	\$30,000	\$50,240	\$15,031
	filtros 45 micras	unidad	6	\$1,500	\$9,000		
	Beaker de 1000 ml	unidad	2	\$2,000	\$4,000		
	Agitador con Imán	día	1	\$5,000	\$5,000		
	Agua Destilada	litros	2	\$1,000	\$2,000		
	Residuo Semilla de Moringa Oleífera	gramos	30	\$8	\$240		
Preparación de la solución coagulante de Policloruro de Aluminio	Policloruro de Aluminio	gramos	20	\$2	\$31		
	Agua Destilada	litros	2	\$1,000	\$2,000		
	Balones Volumétricos 1000 ml	día	2	\$4,000	\$8,000		
	Agitador con Imán	día	1	\$5,000	\$5,000		

Tabla 20. Evaluación económica

Este balance de costos está sujeto a cambios debido a que se realiza en condiciones de laboratorio con valores de cantidades de insumos mínimos y alquiler de equipos, se debe tener en cuenta que al realizarse un proceso industrializado su valor de producción decrecerá entre un 30% y 40% mostrando un margen de comparación mucho menor que pondría en ventaja esta alternativa de coagulante, el análisis de esta alternativa muestra que el PAC vs El Coagulante de semilla de moringa cuesta de 3-4 veces menos a nivel de procedimientos en laboratorio.

El coagulante de moringa proviene del subproducto residual de la extracción de aceite de las semillas de Moringa Oleífera, al realizar el balance económico entre el valor de un kilo de semillas de Moringa Oleífera estipulado en \$80000 COP se da un residuo de 400 gr de subproducto el cual equivale a \$ 3200 COP por lo tanto el costo de producción del coagulante es menor. Razón por la cual la utilización de este coagulante se convierte en una posible alternativa de implementación en la planta de tratamiento Centenario.

4. CONCLUSIONES

La caracterización de los parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos de la calidad del agua cruda de la muestra 3 de la planta de tratamiento Centenario, presenta alto contenido de color, baja turbiedad y baja alcalinidad indicando que es agua de difícil tratabilidad, además presenta elevados valores de coliformes totales determinando que es un agua con gran cantidad de bacterias y con altos valores de *estherichia coli* que es un indicador microbiológico de contaminación fecal, además los parámetros de DBO, DQO y oxígeno disuelto, confirman la contaminación de la muestra de agua, clasificando la calidad de agua natural como muy deficiente.

Al Identificar y evaluar algunos de los parámetros organolépticos, físicos, químicos, microbiológicos y bioquímicos con efecto para la salud humana posteriormente al proceso de potabilización, entre el coagulante natural proveniente de la semilla de Moringa Oleífera y el coagulante sintético Policloruro de Aluminio (PAC). Se observa que con el coagulante natural no se obtiene aluminio residual frente a la utilización del Policloruro de Aluminio, Algunos estudios epidemiológicos han investigado la posible relación entre el aluminio en el agua y la enfermedad de Alzheimer.

Se observa que con el coagulante natural la reacción tiene lugar con el pH del agua cruda sin modificación, sin embargo con la utilización de Policloruro de Aluminio (PAC) se hace necesario introducir cal hidratada para subir el pH y lograr una mejor eficiencia de remoción de color con el PAC.

Mediante los análisis de remoción de color en las tres muestras de agua estudiadas se determina que el coagulante extraído de las semillas de Moringa Oleífera es muy eficiente cuando las aguas a tratar presentan altos contenidos de color y sus resultados disminuyen cuando el contenido de color es bajo, además se confirma este comportamiento con los resultados obtenidos de los análisis con muestras de aguas sintéticas, ya que a mayor color se presentan mejores porcentajes de remoción.

Analizando la muestra 2 que presenta 30 unidades más de color, 15 unidades más de turbiedad y menor alcalinidad que la muestra 3, se obtiene un porcentaje de remoción de color de 92.36 % con el coagulante natural proveniente de la semilla de Moringa Oleífera determinando que en aguas con mayor color y turbiedad la reacción del coagulante es más eficiente.

Al establecer la eficiencia de remoción de color con la utilización de coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) y coagulante natural proveniente la semilla de

Moringa Oleífera y comparar los resultados obtenidos se concluye que. Con una dosificación de 0.02 ml/l de coagulante sintético Policloruro de Aluminio se obtiene un porcentaje de remoción de color del 99.57% en la muestra de agua 3, adicionando previamente un alcalinizante para elevar el pH y que pueda reaccionar de esta manera. Por su parte con el coagulante proveniente de las semillas de Moringa Oleífera se alcanza un porcentaje de remoción de color de 61.15% con una dosificación de 15 ml/l para la muestra de agua 3 sin la utilización de alcalinizante.

Al evaluar económicamente los costos de las dos alternativas y analizar la factibilidad de la implementación del coagulante natural proveniente de la semilla de Moringa Oleífera. Se muestra que el PAC es más económico que el coagulante de semilla de moringa a nivel de laboratorio. Sin embargo, el coagulante a base de Moringa mejora en gran manera el proceso de clarificación a un costo considerable, pero puede lograr un equilibrio económico en un proceso industrializado, teniendo en cuenta los procesos de pretratamiento para las aguas en estudio que conlleva el uso de PAC, el cual implica subir la alcalinidad y estabilizar el pH, el precio de los tratamientos de lodos en la planta o las respectivas sanciones económicas por vertimiento de lodos elevan el costo de la utilización del Policloruro de Aluminio. Considerando que el coagulante natural es una alternativa viable para su implementación en la planta de tratamiento Centenario ya que no necesita procesos complementarios.

Con la evaluación realizada con la presente investigación se valida la acción de semillas de Moringa Oleífera como alternativa natural para la remoción de color, en la planta de tratamiento Centenario del municipio de Pasto. Ya que el coagulante proveniente de las semillas de Moringa es un coagulante estable que reacciona en aguas con condiciones especiales de color que no modifica la alcalinidad y puede ser utilizado como un coagulante primario o secundario como pretratamiento para la remoción de color en la planta de tratamiento. El coagulante tiene un amplio campo de acción según el tipo de agua a tratar, en tanto que su mayor efectividad se presenta en aguas de alto contenido de color, estableciendo que éste coagulante no reacciona en aguas con bajo contenido de color.

5. RECOMENDACIONES

En este momento el estudio, aprovechamiento agrícola y la industrialización de Moringa Oleífera se encuentra en auge en Colombia. En el departamento de Nariño se requiere la sustitución de cultivos ilícitos la plantación del cultivo se convierte en una alternativa posible que conlleva a un beneficio social y económico al campesino nariñense.

Se recomienda tener en cuenta la presente investigación para la implementación del coagulante proveniente del subproducto de las semillas de Moringa Oleífera en la planta de tratamiento Centenario de la ciudad de Pasto.

La obtención del coagulante proveniente de las semillas de Moringa Oleífera es un factor de gran importancia, por lo cual se recomienda profundizar más la investigación en la obtención del coagulante.

Se recomienda la utilización de semillas de Moringa Oleífera para el tratamiento de aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARBOLEDA VALENCIA. J, "Teoría y práctica de la purificación del agua", ACODAL III Ed. McGraw Hill 2000. (s.f.).
- ARBOLEDA VALENCIA. J, "Teoría y práctica de la purificación del agua", ACODAL III Ed. McGraw Hill 2000. (s.f.).
- ARBOLEDA VALENCIA. J. Teoría y práctica de la Purificación del agua. ed. Acodal, Colombia.1992. (s.f.).
- CAMPOS, J., COLINA, G., FERNÁNDEZ, N., TORRES, G., SULBARAN, B., & OJEDA, G. Caracterización del agente coagulante activo de las semillas de la Moringa Oleífera mediante HPLC. Boletín del centro de investigaciones Biológica. 2003. (s.f.).
- EMPRESA DE OBRAS SANITARIAS DE PASTO EMPOPASTO S.A. E.S.P. Informe de gestión 2013. p, 8. (s.f.).
- FAYOS, Beatriz. Metodología de extracción in situ de coagulantes natural para la clarificación de agua superficial. aplicación en países en vías de desarrollo. Universidad Politécnica de Valencia. Seguridad Industrial y Medio Ambiente. 2007. p, 17. (s.f.).
- FOIDL N., MAKKAR H.P.S., BECKER K. The potential of Moringa oleifera for agricultural and industrial use. In: Proceedings of International Workshop What development potential for Moringa products? Oct 29th to Nov 2nd. Dar Es Salaam, Tanzania. 2001. (s.f.).
- GÓMEZ PUENTES. N. Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación. Pregrado tesis. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. 2005. (s.f.).
- GÓMEZ PUENTES. N. Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación. Pregrado tesis. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. 2005. (s.f.).
- INSTITUTO DEPARTAMENTAL DE SALUD NARIÑO. En Nariño hay más cobertura de agua, pero con baja calidad. 2014 (citado Julio 2014). Disponible en < <http://www.eltiempo.com/colombia/cali/agua-potable-en-narino/14319477> >. (s.f.).
- JAHN S.A, "Uso apropiado de coagulantes naturales para el abastecimiento de agua a un medio Natural." 1989. (s.f.).
- JANH. Citado por SANDOVAL Martha y LAINES José. Evaluación de extractos de semillas de Moringa Oleífera y sus efectos en el agua tratada. Investigaciones en ciencias biológicas Tomo I. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 2014. p, 391. (s.f.).
- MENDOZA, I y FERNÁNDEZ, N y ETTIENE, G y DÍAZ, A. Uso de la Moringa Oleífera como coagulante en la potabilización de las aguas. Instituto para la Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM). Departamento de Química, Ciclo Básico, Facultad de Ingeniería. (s.f.).

- MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución Número 2115, 22 de Junio de 2007. Colombia : s.n., 2007. (s.f.).
- MURILLO, Diana. Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada. cita a. Potabilización con Diferentes Coagulantes de Aluminio y Hierro, XXI Congreso de Centroamérica y Panamá de Ingeniería Sanitari. (s.f.).
- NUÑEZ, Eliana, Validación de la efectividad de la semilla de Moringa Oleífera como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras. Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. 2007. p, 3. (s.f.).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SALUD.OMS. Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares. 2007. p, 7. . (s.f.).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SALUD.OMS. Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares. 2007., p.18. (s.f.).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SALUD.OMS. Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares. 2007.,p.15. (s.f.).
- PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G., A study of the parameters affecting the effectiveness of Moringa oleifera in drinking water purification. 2010. (s.f.).
- Programa regional OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano, 1992. (s.f.).
- QUIRÓS, N y VARGAS, M y JIMÉNEZ, J. Desarrollo de coagulantes y floculantes para la remoción del color en aguas de consumo humano; el Rio Humo, Reserva Forestal Rio Macho. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Química. 2010. . (s.f.).
- ROMERO ROJAS. J, Calidad del agua, Escuela Colombiana de Ingeniería. 2000. (s.f.).
- ROMERO ROJAS. J. Calidad del agua, Escuela Colombiana de Ingeniería. 2000. (s.f.).
- SALAZAR CANO. R, Sistemas de Potabilización del Agua, 2008. (s.f.).
- SANTOS, A.F.S.; LUZ, L.A.; ARGOLO, A.C.C.; TEIXRIRA, J.A.; PAIVA, P.M.G.; COELHO, L.C.B.B. Isolation of a seed coagulant Moringa oleifera lectin. Process Biochem. 2009. (s.f.).
- SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS. Agua de calidad, un reto para Colombia.2014. (Citado Julio 2014). Disponible en < <http://www.superservicios.gov.co/Sala-de-prensa/Comunicados>> . (s.f.).
- VIDAL Y SOLER, S. Sinopsis de familias y géneros de plantas leñosas en Filipinas. Introducción a la flora forestal del archipiélago filipino. Manila Filipinas.1889. (s.f.).
- ARBOLEDA VALENCIA. J, "Teoría y práctica de la purificación del agua", ACODAL III Ed. McGraw Hill 2000. (s.f.).

ANEXOS

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES							
200	7.02	59	5.90	18.68	20.6	Coagulante C1. 25 g MO con cáscara + solución salina al 5%							
JARRA		DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES		AGUA SEDIMENTADA				PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)	
1	50	4.00	0	7.18	57	39	6.3	2.78	300	2	40	20	
2	100	8.00	0	6.95	60	41	6.98	-2.29					
3	150	12.00	0	7.08	62	40	7.62	-4.90	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN				
4	200	16.00	0	7.14	64	46	7.24	-8.93	Seg	min	horas	otros	
5	250	20.00	0	7.11	65	47	7.83	-10.75		20			
6	300	24.00	0	7.05	67	44	8.16	-13.19					

Anexo 1. Evaluación del coagulante C1 en la muestra de agua número 1.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	7.02	59	5.90	18.68	20.6	Coagulante C1. 25 g MO con cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	5	0.40	0	7.02	59	41	6.02	-0.51	300	2	40	20
2	15	1.20	0	7.11	59	40	6.12	-0.75				
3	25	2.00	0	7.01	59	42	6.15	-0.78	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	35	2.80	0	6.97	60	43	6.12	-2.08	Seg	min	horas	otros
5	45	3.60	2	7.11	59	46	6.34	-0.39		20		
6	55	4.40	4	7.16	59	46	6.3	0.59				

Anexo 2. Evaluación del coagulante C1 en la muestra de agua número 1.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	7.02	59	5.90	18.68	20.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	50	4.00	4	7.05	55	37	5.77	6.39	300	2	40	20
2	100	8.00	4	7.12	56	39	5.88	4.51				
3	150	12.00	4	7.06	57	38	5.78	3.76	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	200	16.00	4	7.06	59	40	6.03	-0.61	Seg	min	horas	otros
5	250	20.00	4	6.95	60	43	6.45	-1.73		20		
6	300	24.00	4	6.91	62	38	6.55	-5.54				

Anexo 3. Evaluación del coagulante C2 en la muestra de agua número 1, dosificaciones altas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	7.02	59	5.90	18.68	20.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	5	0.40	0	6.92	59	39	6.3	-0.80	300	2	40	20
2	15	1.20	0	7.04	60	40	6.43	-1.10				
3	25	2.00	0	6.85	59	39	6.27	-0.78	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	35	2.80	2	6.93	57	36	5.87	2.75	Seg	min	horas	otros
5	45	3.60	2	7.05	55	36	5.44	6.02		20		
6	55	4.40	4	7.03	55	37	5.39	6.39				

Anexo 4. Evaluación del coagulante C2 en la muestra de agua número 1, dosificaciones bajas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	7.02	59	5.90	18.68	20.6	Coagulante C3. 25 g MO con cáscara + solución salina al 5% (Sal de mar)						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	50	4	4	7.11	57	37	5.9	2.85	300	2	40	20
2	100	8	4	7,08	58	37	5.8	1.31				
3	150	12	4	7.02	58	38	5.78	0.92	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	200	16	4	7.04	59	37	6	-0.63	Seg	min	horas	otros
5	250	20	4	7.13	59	39	6.1	-0.19		20		
6	300	24	4	7.12	59	38	5.98	-0.46				

Anexo 5. Evaluación del coagulante C3 en la muestra de agua número 1, dosificaciones altas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	7.02	59	5.90	18.68	20.6	Coagulante C3. 25 g MO con cáscara + solución salina al 5% (Sal de mar)						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	5	0.40	0	6.91	59	39	5.9	-0.20	300	2	40	20
2	15	1.20	0	6.97	59	39	6	-0.29				
3	25	2.00	0	7.01	59	37	5.8	-0.39	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	35	2.80	0	6.97	59	39	6.1	0.20	Seg	min	horas	otros
5	45	3.60	2	7.05	57	39	5.8	2.80		20		
6	55	4.40	2	7.11	57	37	6.24	2.66				

Anexo 6. Evaluación del coagulante C3 en la muestra de agua número 1, dosificaciones bajas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	7.02	59	5.90	18.68	20.6	Coagulante C4. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5% (Sal de mar)						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	50	4	4	7.05	58	37	5.9	2.25	300	2	40	20
2	100	8	4	7	58	38	5.88	1.66				
3	150	12	4	7.13	59	38	5.83	0.61	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	200	16	4	6.91	59	38	5.8	-0.63	Seg	min	horas	otros
5	250	20	4	6.97	60	40	6.06	-1.05		20		
6	300	24	4	7	60	39	6.12	-1.37				

Anexo 7. Evaluación del coagulante C4 en la muestra de agua número 1, dosificaciones altas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.9	267.16	36.70	15	19.0 5	Coagulante C4. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5% (Sal de mar)						
JARRA												
N°	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	5	0.40	0	7	59	39	6.11	-0.42	300	2	40	20
2	15	1.20	0	6.88	59	39	6.07	-0.51				
3	25	2.00	2	7.1	60	39	5.97	-0.88	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	35	2.80	2	7	59	39	6.04	0.76	Seg	min	horas	otros
5	45	3.60	2	6.95	57	38	5.9	3.19		20		
6	55	4.40	2	7.14	58	37	5.88	1.69				

Anexo 8. Evaluación del coagulante C4 en la muestra de agua número 1, dosificaciones bajas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.9	267.16	36.70	15	19.05	Coagulante C1. 25 g MO con cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	42.5	3.40	4	6.91	94.61	74.00	8.5	64.59	300	2	40	20
2	47.5	3.80	6	6.97	50.19	32.00	4.8	81.21				
3	52.5	4.20	6	7.01	58.26	38.00	5.3	78.19	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	57.5	4.60	6	6.97	53.02	31.00	4.8	80.15	Seg	min	horas	otros
5	62.5	5.00	8	7.05	61.96	41.00	5.1	76.81		20		
6	67.5	5.40	6	7.11	82.50	61.00	5.7	69.12				

Anexo 9. Evaluación del coagulante C1 en la muestra de agua número 2, dosificaciones altas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.9	267.16	36.70	15	19.0 5	Coagulante C1. 25 g MO con cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	12.5	1.00	4	7.02	90.52	60.20	8.6	66.12	300	2	40	20
2	17.5	1.40	4	6.94	91.00	62.14	5.6	65.94				
3	22.5	1.80	4	6.96	75.25	52.50	4.8	71.83	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	27.5	2.20	6	7	69.47	48.20	5.2	74.00	Seg	min	horas	otros
5	32.5	2.60	4	7.05	74.85	42.87	4.2	71.98		20		
6	37.5	3.00	4	6.95	98.30	69.50	6.4	63.21				

Anexo 10. Evaluación del coagulante C1 en la muestra de agua número 2, dosificaciones bajas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.9	267.16	36.70	15	19.0 5	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	42.5	3.40	8	7.06	38.07	19.4 5	6.7	85.75	300	2	40	20
2	47.5	3.80	6	6.96	46.52	24.7 4	7.8	82.59				
3	52.5	4.20	6	6.89	53.86	31.5 2	8.02	79.84	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	57.5	4.60	6	6.7	48.23	26.4 7	8.04	81.95	Seg	min	horas	otros
5	62.5	5.00	4	6.6	41.03	19.7 8	6.2	84.64		20		
6	67.5	5.40	4	6.5	81.03	62.9 6	7.7	69.67				

Anexo 11. Evaluación del coagulante C2 en la muestra de agua número 2, dosificaciones altas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.9	267.16	36.70	15	19.0 5	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA DOSIFICACIÓN OBSERVACIONES VISUALES AGUA SEDIMENTADA PARÁMETROS DE MEZCLA												
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	12.5	1.00	8	6.91	30.11	10.1 1	3.96	88.73	300	2	40	20
2	17.5	1.40	8	6.97	20.42	2.04	3.72	92.36				
3	22.5	1.80	8	7.01	23.48	2.64	4.12	91.21	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	27.5	2.20	8	6.97	31.83	12	4.34	88.09	Seg	min	horas	otros
5	32.5	2.60	6	7.05	70.54	49.2 3	5.34	73.60	20			
6	37.5	3.00	6	7.11	74.23	52.3	5.48	72.22				

Anexo 12. Evaluación del coagulante C2 en la muestra de agua número 2 dosificaciones bajas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES							
200	6.9	267.16	36.70	15	19.0 5	Coagulante C3. 25 g MO con cáscara + solución salina al 5% (Sal de mar)							
JARRA		DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES		AGUA SEDIMENTADA				PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb		pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	42.5	3.40	6		7.06	55.33	74.0 0	8.2	79.29	300	2	40	20
2	47.5	3.80	4		6.96	105.26	32.0 0	9.3	60.60				
3	52.5	4.20	4		6.89	97.18	38.0 0	9.3	63.62	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	57.5	4.60	6		6.7	79.93	31.0 0	7.7	70.08	Seg	min	horas	otros
5	62.5	5.00	6		6.6	73.32	20.0 0	7.6	72.56		20		
6	67.5	5.40	4		6.5	106.36	61.0 0	10.3	60.19				

Anexo 13. Evaluación del coagulante C3 en la muestra de agua número 2, dosificaciones altas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.9	267.16	36.70	15	19.0 5	Coagulante C3. 25 g MO con cáscara + solución salina al 5% (Sal de mar)						
JARRA DOSIFICACIÓN OBSERVACIONES VISUALES AGUA SEDIMENTADA PARÁMETROS DE MEZCLA												
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	12.5	1.00	6	7	65.27	34.8 5	8.4	75.57	300	2	40	20
2	17.5	1.40	4	6.89	108.89	85.5 4	8.9	59.24				
3	22.5	1.80	4	7.23	101.55	79.5 8	9.2	61.99	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	27.5	2.20	6	7.02	79.48	39.8 9	8.5	70.25	Seg	min	horas	otros
5	32.5	2.60	6	6.96	71.85	41.8 7	8	73.11		20		
6	37.5	3.00	6	6.99	78.46	51.8 7	9.84	70.63				

Anexo 14. Evaluación del coagulante C3 en la muestra de agua número 2, dosificaciones bajas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES							
200	6.9	267.16	36.70	15	19.0 5	Coagulante C4. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5% (Sal de mar)							
JARRA		DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES		AGUA SEDIMENTADA				PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb		pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	42.5	3.40	4		6.91	105.11	74.0 0	8.5	60.66	300	2	40	20
2	47.5	3.80	6		6.97	91.32	32.0 0	4.8	65.82				
3	52.5	4.20	6		7.01	78.14	38.0 0	5.3	70.75	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	57.5	4.60	6		6.97	84.58	31.0 0	4.8	68.34	Seg	min	horas	otros
5	62.5	5.00	6		7.05	82.01	20.0 0	3.1	69.30		20		
6	67.5	5.40	6		7.11	94.78	61.0 0	5.7	64.52				

Anexo 15. Evaluación del coagulante C4 en la muestra de agua número 2, dosificaciones altas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES							
200	6.9	267.16	36.70	15	19.0 5	Coagulante C4. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5% (Sal de mar)							
JARRA		DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES		AGUA SEDIMENTADA				PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb		pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	12.5	1.00	4		7.21	120.60	92.78	8.8	54.86	300	2	40	20
2	17.5	1.40	4		7.1	100.80	70.80	5.1	62.27				
3	22.5	1.80	4		6.96	95.47	68.45	5.6	64.27	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	27.5	2.20	6		6.8	95.74	75.87	4.8	64.16	Seg	min	horas	otros
5	32.5	2.60	4		7	93.87	65.40	5.6	64.86	20			
6	37.5	3.00	4		7.1	102.14	80.89	7	61.77				

Anexo 16. Evaluación del coagulante C4 en la muestra de agua número 2, dosificaciones bajas.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.9	72.95	8.20	15	19.05	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
	7.08	150.78	16,07	15	19.05							
	7,12	202.54	21.54	15	19.05							
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES		AGUA SEDIMENTADA				PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	15	1.20	6	6.91	35.50	12	6.11	51.33	300	2	40	20
2	25	2.00	8	6.97	20.45	8.23	6.16	71.97				
3	15	1.20	6	7.01	68.70	62.75	6.07	54.44	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	25	2.00	8	6.97	31.83	11.42	5.71	78.89	Seg	min	horas	otros
5	15	1.20	6	7.05	90.53	70.23	5.48	55.30		20		
6	25	2.00	8	7.11	39.71	11.23	5.34	80.39				

Anexo 17. Evaluación del coagulante C2 con aguas sintéticas de diferentes color y turbiedad.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	10	0.80	2	7.00	205.70	167.7 7	12.19	11.17	300	2	40	20
2	20	1.60	2	6.81	198.37	173.3 5	11.77	14.33				
3	30	2.40	4	6.91	195.67	154.2 8	11.62	15.50	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	40	3.20	2	6.89	186.02	151.7 2	12.07	19.66	Seg	min	horas	otros
5	50	4.00	2	6.63	194.90	174.4 3	11.57	15.83		20		
6	60	4.80	0	6.96	210.72	176.4 6	12.24	8.99				

Anexo 18. Determinación de dosis óptima ensayo 1, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	70	5.60	4	6.68	203.39	165.89	11.83	12.16	300	2	40	20
2	80	6.40	4	7.06	209.95	181.06	11.85	9.33				
3	90	7.20	4	6.84	211.89	176.88	11.96	8.49	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	100	8.00	4	6.52	192.98	164.33	10.93	16.66	Seg	min	horas	otros
5	110	8.80	4	6.87	194.91	174.44	11.03	15.82		20		
6	120	9.60	4	7.07	178.32	149.32	10.12	22.99				

Anexo 19. Determinación de dosis óptima ensayo 2, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	2	0.16	2	6.94	206.93	176.2 1	12.26	10.63	300	2	40	20
2	5	0.40	2	6.65	204.73	182.5 5	14.13	11.58				
3	8	0.64	0	6.95	202.53	158.9 6	12.01	12.53	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	150	12.00	4	6.73	156.33	133.1 2	8.47	32.49	Seg	min	horas	otros
5	200	16.00	6	6.78	107.90	82.84	7.24	53.40		20		
6	250	20.00	4	6.93	186.23	155.9 5	11.08	19.57				

Anexo 20. Determinación de dosis óptima ensayo 3, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	175	14.00	4	6.75	119.48	97.44	7.79	48.40	300	2	40	20
2	190	15.20	6	6.91	95.94	75.74	6.67	58.57				
3	215	17.20	2	7.01	125.84	94.86	8.28	45.65	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	240	19.20	2	7.09	155.74	132.8 1	9.34	32.74	Seg	min	horas	otros
5	265	21.20	2	6.53	197.78	161.3 1	11.21	14.59	20			
6	275	22.00	2	6.88	204.56	176.4 1	12.12	11.66				

Anexo 21. Determinación de dosis óptima ensayo 4, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES							
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%							
JARRA		DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES		AGUA SEDIMENTADA				PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb		pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	162.5	13.00	4	6.42	142.53	116.25	7.32	38.44	300	2	40	20	
2	175	14.00	6	6.85	119.61	97.44	7.46	48.35					
3	187.5	15.00	6	6.49	94.10	64.52	6.27	59.36	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN				
4	200	16.00	6	6.39	107.90	85.89	7.58	53.40	Seg	min	horas	otros	
5	212.5	17.00	4	6.50	124.01	100.60	8.39	46.44	20				
6	225	18.00	4	6.56	137.80	117.35	10.80	40.49					

Anexo 22. Determinación de dosis óptima ensayo 5, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES							
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%							
JARRA		DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES		AGUA SEDIMENTADA				PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb		pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	143.75	11.50	6		7.06	160.91	121.30	8.71	30.51	300	2	40	20
2	150	12.00	4		6.74	155.57	135.10	8.33	32.81				
3	156.25	12.50	4		6.99	151.74	127.07	7.78	34.47	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	162.5	13.00	6		6.90	142.10	122.54	7.41	38.63	Seg	min	horas	otros
5	168.75	13.50	6		6.69	131.00	110.13	8.74	43.42		20		
6	175	14.00	6		6.82	118.55	89.37	7.36	48.80				

Anexo 23. Determinación de dosis óptima ensayo 6, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	125	10.00	0	6.80	174.65	142.45	9.92	24.57	300	2	40	20
2	137.5	11.00	0	6.64	167.80	144.71	9.07	27.53				
3	150	12.00	2	7.08	155.95	135.43	8.41	32.65	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	162.5	13.00	4	6.89	141.80	106.90	7.11	38.76	Seg	min	horas	otros
5	175	14.00	4	6.73	120.30	98.06	7.79	48.05		20		
6	187.5	15.00	6	6.38	89.96	68.58	6.08	61.15				

Anexo 24. Determinación de dosis óptima ensayo 7, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	162.5	13.00	8	6.69	142.00	120.9 2	7.49	38.67	300	2	40	20
2	168.7 5	13.50	8	7.01	131.89	110.4 4	8.01	43.04				
3	175	14.00	8	6.67	119.93	97.42	7.73	48.20	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	181.2 5	14.50	8	6.61	105.63	84.28	7.13	54.38	Seg	min	horas	otros
5	187.5	15.00	8	6.95	94.00	70.86	6.26	59.41		20		
6	193.7 5	15.50	8	6.55	98.69	69.08	6.80	57.38				

Anexo 25. Determinación de dosis óptima ensayo 8, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA				PARÁMETROS DE MEZCLA				
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	287.5	23.00	8	6.78	200.31	163.09	11.88	13.49	300	2	40	20
2	300	24.00	8	6.83	238.84	203.39	16.08	-3.15				
3	312.5	25.00	8	6.47	254.22	227.52	17.95	-9.79	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	325	26.00	8	6.58	246.44	206.37	16.51	-6.43	Seg	min	horas	otros
5	337.5	27.00	8	6.64	261.81	234.79	18.39	-13.07		20		
6	350	28.00	8	6.41	254.04	219.08	16.94	-9.71				

Anexo 26. Determinación de dosis óptima ensayo 9, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	375	30.00	8	6.84	268.26	212.4 9	22.77	-15.86	300	2	40	20
2	500	40.00	8	6.70	290.49	247.3 7	28.27	-25.45				
3	625	50.00	8	6.64	325.24	291.0 9	34.88	-40.46	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	750	60.00	8	6.47	347.46	290.9 6	37.96	-50.06	Seg	min	horas	otros
5	875	70.00	8	6.82	351.79	286.9 2	42.89	-51.93		20		
6	1000	80.00	8	6.90	358.15	308.8 7	46.90	-54.68				

Anexo 27. Determinación de dosis óptima ensayo 10, con coagulante C2 en la muestra de agua número 3.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	187.5	15.00	8	6.29	98.65	69.45	6.61	57.40	300	2	40	20
2	187.5	15.00	8	6.32	95.11	68.74	6.37	58.93				
3	187.5	15.00	8	6.37	96.08	66.41	6.40	58.51	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	187.5	15.00	8	6.37	91.31	60.13	6.12	60.57	Seg	min	horas	otros
5	187.5	15.00	8	6.38	98.28	67.89	6.64	57.55		20		
6	187.5	15.00	8	6.8	94.81	64.78	6.25	59.05				

Anexo 28. Validación del comportamiento del coagulante C2 en la muestra de agua número 3 ensayo 1.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	187.5	15.00	8	6.29	90.79	72.85	6.02	60.79	300	2	40	20
2	187.5	15.00	8	6.32	91.62	70.12	6.18	60.43				
3	187.5	15.00	8	6.37	90.01	68.45	6.01	61.13	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	187.5	15.00	8	6.37	92.60	72.78	6.23	60.01	Seg	min	horas	otros
5	187.5	15.00	8	6.38	96.73	78.36	6.58	58.23		20		
6	187.5	15.00	8	6.8	96.27	74.21	6.45	58.42				

Anexo 29. Validación del comportamiento del coagulante C2 en la muestra de agua número 3 ensayo 2.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	187.5	15.00	8	6.32	97.01	77.45	6.53	58.11	300	2	40	20
2	187.5	15.00	8	6.26	94.44	73.85	6.37	59.22				
3	187.5	15.00	8	6.19	96.27	76.27	6.41	58.42	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	187.5	15.00	8	6.36	91.41	66.89	6.11	60.52	Seg	min	horas	otros
5	187.5	15.00	8	6.39	91.78	69.47	6.09	60.36		20		
6	187.5	15.00	8	6.39	97.55	65.25	6.53	57.87				

Anexo 30. Validación del comportamiento del coagulante C2 en la muestra de agua número ensayo 3.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	187.5	15.00	8	6.32	90.23	68.14	6.04	61.03	300	2	40	20
2	187.5	15.00	8	6.26	89.46	67.47	5.84	61.37				
3	187.5	15.00	8	6.47	90.14	70.45	6.05	61.07	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	187.5	15.00	8	6.58	94.85	72.34	6.36	59.04	Seg	min	horas	otros
5	187.5	15.00	8	6.2	98.00	69.48	6.75	57.68		20		
6	187.5	15.00	8	6.21	90.47	66.25	5.21	60.93				

Anexo 31. Validación del comportamiento del coagulante C2 en la muestra de agua número 3 ensayo 4.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Coagulante C2. 25 g MO sin cáscara + solución salina al 5%						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	187.5	15.00	8	6.89	94.32	62.78	6.37	59.26	300	2	40	20
2	187.5	15.00	8	6.74	92.12	63.14	6.22	60.22				
3	187.5	15.00	8	7.02	96.35	76.01	6.66	58.39	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	187.5	15.00	8	7.14	92.85	74.78	6.27	59.90	Seg	min	horas	otros
5	187.5	15.00	8	7	96.47	68.56	6.34	58.34		20		
6	187.5	15.00	8	6.87	97.14	69.23	5.94	58.05				

Anexo 32. Validación del comportamiento del coagulante C2 en la muestra de agua número 3 ensayo 5.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Policloruro de Aluminio 2% (PAC)						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA				PARÁMETROS DE MEZCLA				
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	0.125	0.01	8	7.52	36.60	7.23	1.79	84.19	300	2	40	20
2	0.25	0.02	8	7.06	0.99	0	0.55	99.57				
3	0.375	0.03	8	7.12	187.49	145.23	8.24	19.03	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	0.5	0.04	8	6.48	197.77	165.14	0.57	14.59	Seg	min	horas	otros
5	0.625	0.05	8	6.1	194.84	162.78	8.32	15.86		20		
6	0.75	0.06	8	6.39	162.53	140.47	7.51	29.81				

Anexo 33. Determinación de dosis óptima con coagulante PAC en la muestra de agua número 3 ensayo 1.

ANÁLISIS DE TRATABILIDAD (PRUEBA DE JARRAS)

Vol. Vaso ml	pH	Color UPC	Turbiedad NTU	Alcalinidad mg/l	T°c	OBSERVACIONES						
200	6.73	232	15.68	21	19.6	Policloruro de Aluminio 2% (PAC)						
JARRA	DOSIFICACIÓN		OBSERVACIONES VISUALES	AGUA SEDIMENTADA					PARÁMETROS DE MEZCLA			
N°	Coagulante mg/l ml/l		Índice de Willcomb	pH	Color Aparente	Color Real	Turbiedad NTU	% Remoción	Mezcla Rápida r.p.m	Tiempo (min)	Mezcla Lenta r.p.m	Tiempo (min)
1	0.175	0.014	8	6.78	35.50	6.41	1.7	84.667	300	2	40	20
2	0.2	0.016	8	6.91	26.69	0.05	0.76	88.473				
3	0.225	0.018	8	6.92	20.08	0.52	0.8	91.327	TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN			
4	0.25	0.020	8	6.87	13.81	0	0.68	94.038	Seg	min	horas	otros
5	0.275	0.022	8	6.86	21.55	0.7	0.72	90.692	20			
6	0.3	0.024	8	6.78	143.44	111.8 5	2.9	38.053				

Anexo 34. Determinación de dosis óptima con coagulante PAC en la muestra de agua número 3 ensayo 2.