PROTOCOLO PARA EL FUNCIONAMIENTO, CONTROL Y OPERACIÓN DEL NUEVO EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA Y SANEAMIENTO.

DAYAN VANESA BOLAÑOS ALVEAR

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2014

PROTOCOLO PARA EL FUNCIONAMIENTO, CONTROL Y OPERACIÓN DEL NUEVO EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA Y SANEAMIENTO.

DAYAN VANESA BOLAÑOS ALVEAR

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

DIRECTOR:
Ing. Msc. ROBERTO SALAZAR CANO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2014

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de los autores.

Artículo 1° acuerdo # 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

_____

_____

_____

_____

_____

Presidente del jurado

_____

Jurado

_____

Jurado

San Juan de Pasto, Abril de 2014

DEDICATORIA

Gracias a Dios por permitirle a mi mami **SOFY** ser una luchadora y sacarme adelante sola, y darme esta gran oportunidad, su generosidad comprensión y buen ejemplo. A mi hermanita, **PAULA SOFIA** que es parte fundamental en mi vida y mi abuela **ALICIA** que es lo más importante en mi familia, por sus cuidados eternos. Nunca terminaría de escribir lo que son ellas para mí.

También a mi tía **STELLA** y sus hijos que son mi familia.

Quiero agradecer además, a mis profesores y compañeros que influyeron en mi formación académica, en especial al **INGENIERO ROBERTO SALAZAR** por su gran apoyo en este proceso y a lo largo de mi paso por el alma mater.

DAYAN VANESA BOLAÑOS ALVEAR

RESUMEN

La Universidad de Nariño, carece de un protocolo y por consiguiente el equipo herramienta para realizar estudios y ensayos de tratabilidad de agua efectuados a nivel de laboratorio, a una fuente de abastecimiento específica, para establecer el potencial de aplicación de un proceso de tratamiento. Por tal razón, se presentó el PROTOCOLO PARA EL FUNCIONAMIENTO, CONTROL Y OPERACIÓN DEL NUEVO EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA Y SANEAMIENTO. Para uso investigativo y académico.

En primer lugar, se dotó al laboratorio de hidráulica y saneamiento de la Facultad de Ingeniería de un equipo actualizado de Prueba de Jarras Y-FL6 en conjunto con el trabajo de grado "ELABORACIÓN DE LOS ÁBACOS QUE RELACIONA LOS GRADIENTES DE VELOCIDAD CON LAS REVOLUCIONES POR MINUTO CON VASOS ACRÍLICOS CUADRADOS DE 2 LT A TEMPERATURAS ENTRE 4ºC Y 24ºC CON UN RANGO DE 2ºC PARA EL NUEVO EQUIPO DE PRUEBA DE ENSAYO DE JARRAS DEL LABORATORIO DE HIDRAÚLICA Y SANEAMIENTO DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO" adelantado por los estudiantes egresados del programa de Ingeniería Civil. Posteriormente, se realizó una evaluación técnica y de funcionalidad del equipo en cuanto a sus especificaciones digitales, electrónicas, y físicas, dejando un testigo de funcionamiento y servicio, haciendo uso de agua sintética preparada. En base a esta información se evaluó los diferentes parámetros de los ensayos para las determinaciones, establecidas en la norma RAS-2000 literal C.2.5.1.1 que incluyen los ensayos, de Prueba de Jarras, tomando como ejemplo, una muestra de agua proveniente del Río Pasto. Con todo este proceso de evaluacion se establece el protocolo en cuanto al funcionamiento, operación y mantenimiento del equipo de Prueba de Jarras como tal y en cuanto a los procesos necesarios para la ejecución de los ensayos para las diferentes determinaciones que incluyen los ensayos de Prueba de Jarras, con sus respectivos formatos de registro de datos y reporte de resultados, además, se incluyen en este protocolo información acerca de las precauciones y controles específicos que se debe tener en cuenta a la hora de realizar estos ensayos en el laboratorio y alcanzar resultados óptimos.

ABSTRACT

Currently the University of Nariño lacks a protocol to study and water treatability tests performed at the laboratory, to a specific source of supply, to establish the potential for application of a treatment process. For this reason the PROTOCOL FOR OPERATION, CONTROL AND OPERATION OF NEW TEST STEINS EQUIPMENT HYDRAULIC LABORATORY PITCHERS AND SANITATION was presented.

First we endow the hydraulics laboratory and sanitation of the Faculty of Engineering of a team updated Test Steins - FL6 together with degree work " ABACUS DEVELOPMENT OF RELATED TO SPEED GRADIENTS WITH R.P.M WITH GLASS SQUARE ACRYLIC 2- LT AT TEMPERATURES BETWEEN 4 º C AND 24 º C WITH A RANGE OF 2 º C FOR NEW EQUIPMENT TEST JUGS LABORATORY HYDRAULIC AND SANITATION PROGRAMME CIVIL ENGINEERING UNIVERSITY OF NARIÑO “. Subsequently a technical and computer functionality evaluation was performed in their electronic, digital and physical specifications, leaving a witness and service, using synthetic water prepared. Based on this information, was evaluated the different parameters of the tests for the determinations set forth in the RAS -2000 standard literal C.2.5.1.1 , include the jar test trials was assessed using a example , with using sample water from the Pasto river . With this process of evaluation , established a protocol for the performance , operation and maintenance of test equipment such as jars and set about the processes necessary for the implementation of tests for different measurements including test trials jars, with their respective formats data recompilation and reporting of results, and are included in this protocol information, specific controls and precautions that should be taken into account when performing these tests in the laboratory and achieve óptimal results.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN 16
1. MARCO DE REFERENCIA 21
1.1. CALIDAD DEL AGUA Y SU TRATABILIDAD 21
1.2. PARAMETROS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA 21
1.2.1. Parámetros físicos y organolépticos en estudio: 23
1.2.2. Parámetros químicos en estudio. 24
1.3. TRATAMIENTOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA 24
1.3.1. Sólidos no sedimentables. 24
1.3.2. Método convencional de tratamiento de agua. 25
1.4 PRUEBAS DE TRATABILIDAD 30
1.4.1 Ensayos de laboratorio: 30
2. DESARROLLO DEL TRABAJO 31
2.1. DOTACION DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS 31
2.2. EVALUACION DEL EQUIPO 32
2.2.1. Especificaciones digitales y electrónicas de equipo 33
2.2.2. Evaluación revolución – tiempo. 34
2.2.3. Testigo de funcionalidad y desempeño. 34
2.3. EVALUACION DE PARÁMETROS DE ENSAYOS. 42
2.3.1. Determinaciones de ensayos de Prueba de Jarras 42
2.3.2. Observaciones cualitativas: 43
2.3.3. Control de los procesos. 44
2.3.4. Ejecución de los ensayos muestra de agua natural Río Pasto 47
2.3.5. Análisis de resultados. 48
2.3.6. Comportamiento de coagulantes utilizados. 54

2.4. PROTOCOLO PARA EL FUNCIONAMIENTO, CONTROL Y OPERACIÓN DEL NUEVO EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA Y SANEAMIENTO 55
3. CONCLUSIONES.....57
4. RECOMENDACIONES 58
BIBLIOGRAFÍA.....59
ANEXOS.....60

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

Fotografía 1.1 Turbidimetro DRT 100B (HF INSTRUMENTS) 23

Fotografía 1.2 Colorímetro ref. DR/700 (HACH) 23

Fotografía 1.3 Mecánica del proceso coagulación-floculación-sedimentación 26

Fotografía 2.1 Equipo de Prueba de Jarras Ref. Y-FL6 31

Fotografía 2.2 Evaluación del equipo por personal técnico de laboratorios especializados. 32

Fotografía 2.3 Teclado con Pantalla LCD 33

Fotografía 2.4 Sistema de Iluminación. 34

Fotografía. 2.6 Sulfato de aluminio (alumbre) granulado tipo B y policloruro de aluminio (PAC) 55

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.1 Normas de calidad del agua potable, según el decreto 475/98 22

Tabla 2.1 Datos de laboratorio disolución patrón 5gr/l, 10 gr/l 36

Tabla 2.2 Datos de laboratorio disolución patrón 15gr/l, 20 gr/l, ...36

Tabla 2.3 Parámetros iniciales de las 4 muestras.....39

Tabla 2.4 Parámetros de mezcla de los ensayos de cada muestra.....39

Tabla 2.5 Parámetros fisicoquímicos principales finales.....40

Tabla 2.6 Selección de dósis de coagulante óptima 40

Tabla 2.7 Índice de floculación de Willcomb 43

Tabla 2.8 Descripción del sobrenadante.....44

Tabla 2.9 Comparación de caracterización fisicoquímica inicial y final con muestra de agua natural 54

LISTA DE GRÁFICAS

Pág.

Gráfica 1.2 Mecanismo de coagulación 28

Gráfica 2.2 Comparador para estimar el tamaño del flóculo producido en la coagulación SEGÚN Water Research Institute de Inglaterra 43

Gráfica 2.3 Eficiencia en la remoción de turbiedad en función de la dósis del coagulante utilizado policloruro de aluminio PAC, frente a una turbiedad de 4 NTU como parámetro principal de referencia..... 48

Gráfica 2.4 Eficiencia en la remoción de color en función de la dósis del coagulante utilizado Policloruro de aluminio PAC, frente a un Color de 48 UPC..... 49

Gráfica 2.5 Eficiencia en la remoción de Turbiedad en función de parámetros de mezcla rápida como gradientes y tiempo de agitación 50

Gráfica 2.6 Eficiencia remoción de Color en función de parámetros de mezcla rápida como gradientes y tiempo de agitación 50

Gráfica 2.7 Eficiencia en la remoción de Turbiedad en función de parámetros de mezcla lenta como gradientes y tiempo de agitación. 51

Gráfica 2.8 Eficiencia en la remoción de Color en función de parámetros de mezcla lenta como gradientes y tiempo de agitación 52

Gráfica 2.9 Eficiencia en la remoción de Turbiedad y color en función de diferentes tiempos de sedimentación. 52

Gráfica 2.11 Comportamiento del pH analizado con todas las condiciones óptimas de ensayo previamente determinadas 53

Gráfica 2.12 Curva de velocidad de sedimentación para la muestra de agua natural utilizada..... 53

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Manual de instrucciones, mantenimiento y recomendaciones en cuanto al equipo y ejecución de ensayos a nivel de laboratorio. 62

Anexo B. Guía de determinación de dósis óptima de coagulante LBE-SPM-GU-10 71

Anexo C. Guía de determinación de parámetros de mezcla rápida y mezcla lenta LBE-SPM-GU-11. 85

Anexo D. Guía de determinación de tiempo y velocidad de sedimentación LBE-SPM-GU-12. 96

Anexo E. Formato de reporte de resultados de los ensayos de prueba de jarras en general LBE-SPM-FR-109. 110

LISTA DE ANEXOS MEDIO MAGNETICO

Anexo A. Registro fotográfico ejecución de ensayos de Prueba de Jarras a nivel de laboratorio.

Anexo B. Registro de datos obtenidos a nivel de laboratorio de la ejecución de ensayos de con muestra de agua natural proveniente del Río Pasto.

Anexo C. Registro de datos obtenidos a nivel de laboratorio de la ejecución de ensayos de Prueba de Jarras con muestra de agua artificial preparada en el laboratorio de hidráulica y saneamiento.

ANEXO D. Síntesis de selección de resultados de todos los ensayos con muestra de agua natural proveniente del Río Pasto.

ANEXO E. Síntesis de selección de resultados de todos los ensayos con muestra con muestra de agua artificial preparada en el laboratorio de hidráulica y saneamiento.

ANEXO F. Ficha técnica del mejor coagulante utilizado en los procesos de laboratorio, sulfato de aluminio (PAC).

GLOSARIO

AGITACIÓN MECÁNICA: Movimiento obtenido mediante dispositivos mecánicos (paletas, aspas, etc.) para producir turbulencia.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA: Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

CLARIFICACIÓN Proceso de separación de los sólidos del agua por acción de la gravedad.

COLOIDES Sólidos finamente divididos (que no disuelven) que permanecen dispersos en un líquido por largo tiempo debido a su menor diámetro y a la presencia de una carga eléctrica en su superficie.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN Medida de la efectividad de un proceso en la remoción de una sustancia específica.

ENSAYO DE TRATABILIDAD Estudios efectuados a nivel de laboratorio o de planta piloto, a una fuente de abastecimiento específica, para establecer el potencial de aplicación de un proceso de tratamiento.

MATERIAL FLOTANTE Aquellos materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

MEZCLADOR Equipo para producir turbulencia en el agua.

PARÁMETROS DE CONTROL DE UN PROCESO Criterios preestablecidos que se utilizan como base para compararlos con los obtenidos en un proceso, con el fin de controlar o medir la eficiencia del mismo.

SISTEMA DE CONTROL El sistema de control permite mantener variables de un proceso dentro de un rango de operación, tomando acciones a partir de comparar el valor deseado con el valor requerido. Un sistema de control está compuesto usualmente por los siguientes elementos Instrumentación de medición-transductor, transmisor, controlador, actuador y sistema de registro.

VALOR ADMISIBLE Valor establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua de consumo humano no representa riesgo para la salud del consumidor.

INTRODUCCIÓN

A través de la historia, el hombre ha necesitado de un suministro adecuado y de buena calidad de agua para su alimentación, seguridad y bienestar. El agua es una necesidad universal y es el principal factor limitante para la existencia de la vida. No obstante es afectada directa o indirectamente a causa de actividades humanas o simplemente contaminación natural. Para hacer frente a este problema es necesario someterla a una serie de procesos de tratabilidad, a fin de purificarla para poder ser utilizada en actividades y necesidades humanas de supervivencia.

La base de los tratamientos de agua cruda es modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las normas colombianas establecidas en el decreto 475/98. Dependiendo calidad de la fuente ya sea subterránea o superficial, se define el tipo de tratamiento a implementar; aunque cabe aclarar que como criterio general sea cual fuere la calidad de la fuente que se use, se debe considerar la desinfección y filtración en toda fuente superficial en el cual se incluye procesos preparatorios con adición de coagulantes y/o alcalinizantes, mezcla rápida, floculación mecánica y sedimentación.

Para la selección de los procesos de tratamientos previos o paralelos al diseño de una planta, deben realizarse ensayos de tratabilidad en el laboratorio siendo obligatorio entre estos, el ensayo de Prueba de Jarras; y posteriormente, si se justifica, realizar ensayos en planta piloto para determinar el tratamiento al que debe ser sometida el agua, esta Prueba de Jarras es válida para simular un tratamiento convencional (el cual ocurre esencialmente por un mecanismo de coagulación de barrido), y otros tipos de tratamiento, siendo esta es una gran herramienta en el diseño de plantas de tratamiento donde se establecen previamente los criterios básicos de diseño para la planta a escala real (dosificaciones de los productos químicos, necesidad de mezcla y floculación, velocidad de filtración, tiempos de contacto, entre otros aspectos).

La Prueba de Jarras es necesaria para cualquier nivel de complejidad, no solamente para los estudios de tratabilidad en el proceso de diseño, sino también diariamente, durante la operación de la planta, y cada vez que se presenten cambios en la calidad del agua, tanto en parámetros físicos como químicos como turbiedad, color, pH, temperatura y alcalinidad total, ya que estos parámetros son claves a la hora de tratar el agua cruda. Por lo tanto, es importante establecer un protocolo para el funcionamiento, control y modo de operación del nuevo equipo de prueba de ensayo de jarras para contribuir al desarrollo de este ensayo en el laboratorio de hidráulica y saneamiento del programa de Ingeniería Civil.

TEMA

Título

PROTOCOLO PARA EL FUNCIONAMIENTO, CONTROL Y OPERACIÓN DEL NUEVO EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA Y SANEAMIENTO.

Modalidad

El presente proyecto de Trabajo de Grado corresponde a la modalidad de Investigación descriptiva.

Área

Calidad del agua

Línea de investigación

Ambiental

Alcance y delimitaciones

El alcance que tiene el protocolo para el funcionamiento, control y operación del nuevo equipo de Prueba de Jarras del laboratorio de hidráulica y saneamiento, tiene un carácter académico, puesto que servirá de soporte para los estudiantes y personal de laboratorio del departamento de Ingeniería Civil y otros programas, quienes realizarán futuras prácticas académicas e investigativas, además de la posibilidad de prestar servicio de extensión de parte de la Universidad de Nariño a estudios particulares u otras Universidades; este es un equipo vital que no puede faltar en la formación académica y avance de investigaciones de tratabilidad de agua.

La dotación del equipo de Prueba de Jarras fue parte fundamental de este proceso, en el cual se llevó a cabo la realización de los ensayos para las diferentes determinaciones establecidas en la norma RAS-2000 literal C.2.5.1.1 que incluyen los ensayos de Prueba de Jarras, ejemplarizando con dos muestras diferentes de agua, la primera fue agua sintética preparada, dejando un testigo de funcionalidad y servicio de equipo, y la segunda muestra fue proveniente del Río Pasto para evaluar los parámetros de los diferentes ensayos, sirviendo de soporte para establecer el protocolo en cuestión el cual consta de:

- Guías completas de procedimientos de laboratorio para las diferentes determinaciones de los ensayos de Prueba de Jarras, con sus respectivos

formatos de registro de datos y reporte de resultados, precauciones y controles específicos para alcanzar buenos resultados.

- Manual de funcionamiento, control, mantenimiento preventivo y correctivo del equipo.

- Guías y manual con su respectivo código de serie que se otorga por laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

Alcance y delimitacion de las determinaciones que se pueden obtener con el equipo de Pruebas de Jarras según la norma RAS-2000 literal C.2.5.1.1

DETERMINACIONES DE LOS ENSAYOS DE PRUEBA DE JARRAS		
Dósis óptima	Coagulantes	
Evaluaciones cualitativas	Tamaño del flóculos producido	
	Tiempo inicial de formación del flóculos	
Evaluaciones cuantitativas	Determinaciones físicas	Turbiedad y color residual, así como tiempos y gradientes óptimos de velocidad. , la velocidad de sedimentación de los flóculos formados, y el número de partículas presentes por tamaños.
	Determinaciones químicas	pH y alcalinidad, antes y después de la coagulación. Adicionalmente si procede, la concentración del aluminio residual, hierro y/o manganeso

PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO

Descripción del problema

Uno de los requerimientos de mayor importancia para el progreso de las actividades académicas e investigativas de las instalaciones del laboratorio de hidráulica y saneamiento de la Universidad de Nariño, es la actualización de equipos y adquisición de nuevas tecnologías con su respectivo protocolo guía general.

Así entonces es realmente importante en el área de plantas de potabilización, el avance en estudios de tratabilidad de agua, ya que se ha observado un estancamiento continuo, y es de gran relevancia hacer realidad las investigaciones programadas, además de uso académico y de extensión, orientando así al desarrollo y mejoramiento continúo de la calidad técnica e investigativa del laboratorio de hidráulica y saneamiento.

Por otra parte, ha sido política del Departamento de Ingeniería Civil no limitar el campo de aplicación, y poder brindar a otros programas apoyo en investigaciones con el objeto de ampliar el radio de acción de estos laboratorios, donde se obtendrá respuesta positiva por parte del estudiantado y sus prácticas de laboratorio académicas, en pro del conocimiento.

En razón de este cuello de botella, para poder consolidar el campo investigativo y académico, se necesita contar, con un equipo actualizado de ensayos de Prueba de Jarras con su respectivo protocolo de manejo para la realización de ensayos de tratabilidad de agua, ya que tienen gran aplicación en los procesos de diseño de plantas de tratamiento y sería una gran ventaja tenerlo disponible en nuestros laboratorios para contribuir con las actividades anteriormente expuestas y específicamente en beneficio de los estudiantes; con el cual se pueda avanzar hacia nuevos horizontes de investigación en los aspectos de calidad de agua.

Formulación del problema

¿Existe un equipo actualizado para el desarrollo de ensayos de tratabilidad de agua y su respectivo protocolo en el laboratorio de hidráulica y saneamiento del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño?

JUSTIFICACIÓN

Lo indispensable que es contar con un protocolo general de un nuevo equipo de tratabilidad de agua, es importante porque existe una gran necesidad de realizar estudios y avanzar en investigaciones correspondientes en esta área, además de afrontar la problemática existente por la carencia de estas tecnologías, en las instalaciones del laboratorio de hidráulica y saneamiento, que nos llevará directamente al desarrollo investigativo, académico y de extensión en el departamento de Ingeniería Civil.

La implementación de tecnologías actualizadas como el equipo de Prueba de Jarras tienen gran valor, ya que incentiva a explorar fácilmente campos orientados a la ejecución de nuevos proyectos enfocados en la parte ambiental y de calidad de agua potable, lo que posteriormente, lleva también entre otros aspectos a mantener la acreditación de nuestro programa de Ingeniería Civil ya otorgada.

Dada las circunstancias, es necesario dar a conocer el funcionamiento del equipo con conocimientos orientados al tratamiento de agua y así desarrollar aptitudes y habilidades tanto al estudiantado como al cuerpo de laboratorio, en el manejo del equipo y por lo tanto, adquirir pautas para la operación de una planta de tratamiento que al mismo tiempo influirá en la formación integral de los estudiantes de Ingeniería Civil y otros programas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar el protocolo guía para el funcionamiento, control y operación del equipo nuevo de Prueba de Jarras.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Dotar al laboratorio de hidráulica y saneamiento básico con el equipo de Prueba de Jarras en conjunto con el trabajo de grado "ELABORACIÓN DE LOS ÁBACOS QUE RELACIONA LOS GRADIENTES DE VELOCIDAD CON LAS REVOLUCIONES POR MINUTO CON VASOS ACRÍLICOS CUADRADOS DE 2 LT A TEMPERATURAS ENTRE 4ºC Y 24ºC CON UN RANGO DE 2ºC PARA EL NUEVO EQUIPO DE PRUEBA DE ENSAYO DE JARRAS DEL LABORATORIO DE HIDRAÚLICA Y SANEAMIENTO DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO" adelantado por los egresados Giselle Jurado Arroyo y Germán Guiza Rosero.

- Evaluar el equipo de Prueba de Jarras y sus componentes en cuanto a servicio y funcionalidad, asegurando la eficiencia y calidad de su desempeño.

- Evaluar los diferentes parámetros de los ensayos para las diferentes determinaciones, establecidas en la norma RAS-2000 literal C.2.5.1.1 que incluyen los ensayos de Prueba de Jarras.

- Establecer un protocolo en cuanto al funcionamiento, operación y mantenimiento del equipo de Prueba de Jarras como tal y en cuanto los procesos necesarios de los ensayos para las diferentes determinaciones indicados por la norma RAS-2000 literal C.2.5.1.1, con sus respectivos formatos, que servirán de apoyo tanto en la parte experimental como en la parte de realización de cálculos con los datos obtenidos y organización de resultados; además se incluirá en este protocolo información acerca de las precauciones y controles específicos que se debe tener en cuenta a la hora de realizar estos ensayos en el laboratorio y alcanzar buenos resultados.

1. MARCO DE REFERENCIA

El suministro de agua potable es un problema que ha ocupado al hombre desde la antigüedad. De acuerdo con estadísticas, el 45% de la población mundial carece de un acceso directo a los servicios de agua potable.

1.1. CALIDAD DEL AGUA Y SU TRATABILIDAD

La fuente de abastecimiento de agua determina la calidad natural del liquido, ya que depende de las características y el tipo de esta y que la misma puede variar en el tiempo y en el espacio. Por lo tanto, el tipo de proceso de tratamiento a implementar para la potabilización del agua cruda, deberá basarse en conocer: "El tipo de fuente ya sea superficial o subterránea, la calidad del agua de la misma como sus características organolépticas, físico-químicas y microbiológicas esenciales, los estudios de tratabilidad para seleccionar los procesos de potabilización".[1] La información que proveen los programas de vigilancia y control del agua para consumo humano, beneficia a la disminución de enfermedades transmitidas por vía hídrica ya que especifica los límites de calidad apropiados en parámetros físico-químicos, y bacteriológicos a la hora de tratarla. En Colombia la norma que regula los parámetros de calidad de agua para consumo humano se rige bajo las condiciones del decreto 475 del 1998 como indica la tabla 1.1, por el cual se establece "El Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua.

1.2. PARAMETROS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico, y define su caracterización. Aunque solamente alrededor del 2% del agua de consumo público se destina a uso de consumo. Según el Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, los parámetros que se consideran para los ensayos a nivel de laboratorio de tratabilidad de agua, son:

- Turbidez
- Color
- pH
- Alcalinidad
- Aluminio residual, hierro y/o manganeso, solamente en el caso de proceder.[2]

[1] Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS, año 2000, literal C.2.2 GENERALIDADES pág. C-19

[2] REGLAMIENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS 2000, Sección II Titulo C, Ensayos de laboratorio, Pruebas de Jarras, pág. C.22

Tabla 1.1 Normas de calidad del agua potable, según el decreto 475/98

Características	Valor máximo Admisibl	Procedimientos analíticos recomendados		Parámetros de comparación de la calidad de la fuente recomendados según el nivel calidad de la fuente			
		Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Acepta	2. Regular	3. Deficiente	4. Muy deficiente
MICROBIOLÓGICAS							
Coliformes totales UFC/100 cc	0			X	X	X	X
Escherichia coli UFC/100 cc	0		D 5392			X	X
ORGANOLÉPTICAS Y FÍSICAS							
PH	6.5 – 9.0		D 1293	X	X	X	X
Turbiedad UNT	2	4707	D 1889	X	X	X	X
Color Aparente – UC	15			X	X	X	X
Conductividad US/cm	1.000		D 1125	X	X	X	X
Sustancias flotantes	Ausentes			X	X	X	X
Olor y sabor	Ninguno		D 1292	X	X	X	X
QUÍMICAS CON EFECTOS ADVERSOS EN LA SALUD HUMANA							
Fenoles totales – mg/L	0.001	4582	D 1783				X
Grasas y aceites– mg/L	Ausentes	3362	D 4281				X
Aluminio – mg/L	0.20		D 857				X
Nitratos – mg/L	10		D 3867				X
Nitritos – mg/L	0.1		D 3867	X	X	X	X
Antimonio – mg/L	0.02		D 3697				X
Arsénico – mg/L	0.01		D 2972				X
Carbono organico total mg/L	5						X
Cadmio – mg/L	0.05		D 3557				X
Cianuros libre y disociable– mg/L	0.05	1312	D 2036				X
Cobre – mg/L	1.0		D 1688				X
Níquel – mg/L	0.02		D 1886				X
Plomo – mg/L	0.01		D3559				X
PLAGUICIDAS Y OTRAS SUSTANCIAS							
Tóxicos tipo I– mg/L	0.001						X
Tóxico tipo II y III– mg/L	0.01						X
Baja toxicidad– mg/L	0.1						X
Trihalometanos totales– mg/L	0.2						X
Hidrocarb/ aromáticos policíclicos	0.01						
QUÍMICAS CON EFECTO INDIRECTO SOBRE LA SALUD HUMANA							
Alcalinidad total – mg/L	200		D 1067	X	X	X	X
Acidez – mg/L	50		D 1067	X	X	X	X
Dureza total– mg/L	300	4706	D 1126	X	X	X	X
Calcio– mg/L	60		D 511	X	X	X	X
Magnesio– mg/L	36		D 858	X	X	X	X
Cloruros– mg/L	250		D 512	X	X	X	X
Sulfatos – mg/L	250	4708	D 516	X	X	X	X
Hierro total– mg/L	0.3		D 1068	X	X	X	X
Manganeso	0.1		D 858			X	X
Fosfatos	0.5		D 515			X	X
Zinc	3		D 1691				X
Fluoruros (mg/l)	1.0		D 1179				X

FUENTE: Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS-2000, TABLA C.2.2

1.2.1. Parámetros físicos y organolépticos en estudio:

- **Turbidez.** Es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de materiales suspendidos a los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; entre mayor sea la intensidad de luz dispersada mayor, en cuanto a "Los valores de turbidez, sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda y efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, y además determinar la potabilidad del agua."[3] El laboratorio de hidráulica y saneamiento de la Universidad de Nariño, está dotado de un turbidimetro ref. DRT 100B HF INSTRUMENTS (ver fotografía 1.1.).

Fotografía 1.1 Turbidimetro DRT 100B (HF INSTRUMENTS)

- **Color.** El color en el agua Indica una apariencia desagradable (estética) y presencia de sustancias orgánicas disueltas o de partículas coloidales (cargas negativas). El color de agua puede tener origen orgánico o inorgánico. Para la determinación de este parámetro se utiliza un colorímetro (ver fotografía 1.2)

Fotografía 1.2 Colorímetro ref. DR/700 (HACH)

[3] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Calidad del agua, segunda edición, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá Colombia,2002

- **Potencial hidrógeno (pH). "**El pH es un indicador de la acidez de una sustancia, siendo ésta una de las propiedades más importantes del agua. El rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. El rango óptimo es 6,5 y 8,5. El pH tiene una gran influencia en la coagulación. Valores por encima o por debajo del pH óptimo producen malos resultados."[4]. El laboratorio de hidráulica y saneamiento de la Universidad de Nariño, está dotado de electrodo. El pH debe de controlarse dentro de un rango favorable a los microorganismos encargados de la purificación. Generalmente, se controla con tratamientos para potabilización y cal comercial.

1.2.2. Parámetros químicos en estudio.

- **Alcalinidad.** Puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrogeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH-). La alcalinidad excesiva no produce efectos nocivos en la salud de los consumidores, pero sí le imparte un sabor desagradable al agua. Este parámetro, se determina por titulación con ácido sulfúrico y se expresa como mg/L de carbonato de calcio (CaCO3), equivalente a la alcalinidad determinada.[5]

1.3. TRATAMIENTOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Para lograr la potabilización de agua es preciso someter a la misma a varios tratamientos elementales, que comprenden la clarificación, desinfección y acondicionamiento químico y organoléptico; con esto se garantiza al consumidor que el tipo de agua captada, alcanza la calidad exigida. Los dos propósitos centrales de estos tratamientos son la remoción de sólidos, para mejorar el aspecto físico (disminuir la turbidez) del liquido y la remoción, reducción o inactivación de organismos nocivos para la salud del consumidor. Estos dos propósitos tienen relación con el contenido de material solido presente en el agua de una fuente superficial, comúnmente utilizada como abastecimiento.

1.3.1. Sólidos no sedimentables. (suspendidos, coloidales y disueltos). Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01mm) son generalmente sedimentables. Los sólidos coloidales

[4] ARBOLEDA, J. Teoría y práctica de la purificación del agua. Tercera Edición. Vol. I, 2000.
[5] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Calidad del agua, segunda edición, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá Colombia,2002

consisten en limo fino, bacterias, partículas causantes de color, virus, etc., los cuales no sedimentan sino después de períodos razonables, y su efecto global se traduce en el color y la turbiedad de aguas sedimentadas sin coagulación.

- **Coloides.** Son en general, sólidos finamente divididos que no sedimentan por la simple acción de la gravedad pero que pueden removerse del agua mediante coagulación, filtración o acción biológica[6]. "No hay límites definidos de tamaño para las partículas coloidales pero por lo general se considera que tienen una dimensión entre 1 y 1,000 mili micrones aproximadamente. Los coloides entonces tienen un tamaño intermedio entre las partículas en solución verdadera y las partículas en suspensión. Los límites enumerados en la gráfica 1.1 son aproximados ya que el tamaño y la naturaleza del material son los que determinan si la partícula es coloidal".7 Las propiedades de los coloides son las siguientes:

a.) Propiedades cinéticas:

- Movimiento Browniano
- Difusión

b.) Propiedades ópticas:

- Dispersión de la luz (efecto de Tyndall - Faraday):
- Opalescencia

c.) Propiedades de Superficie: gran superficie específica, definida como relación entre el área superficial y la masa, la cual da a los coloides una gran capacidad de adsorción.

d.) Propiedades electrocinéticas: influyen en la estabilidad y desestabilización de las dispersiones coloidales

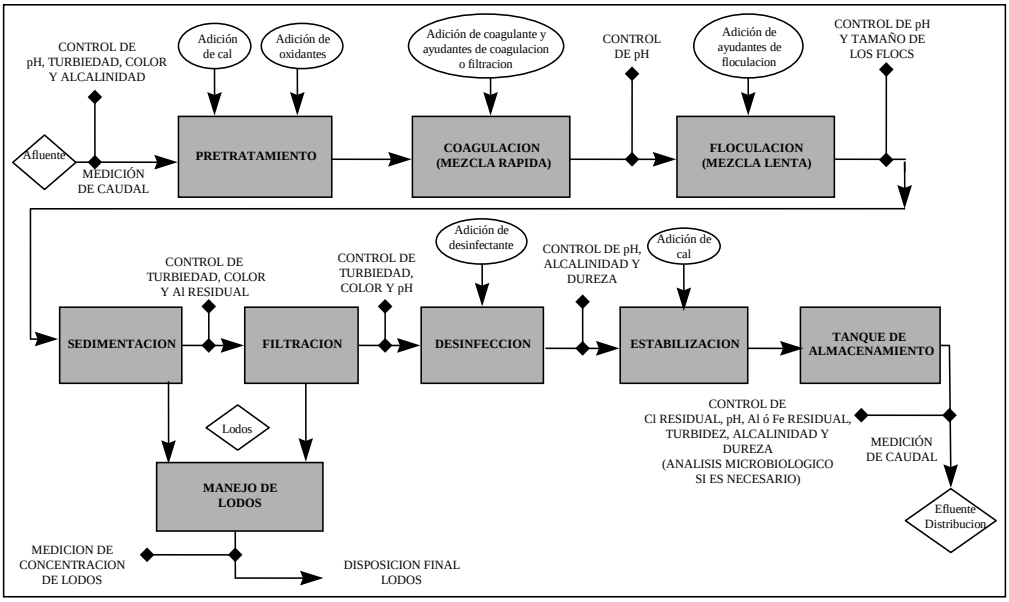
1.3.2. Método convencional de tratamiento de agua.8 En la gráfica 1.1 se observa la tecnología convencional que incluye los siguientes procesos:

[6] SALAZAR CANO**,** Roberto. Plantas de Potabilización, Segunda edición. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Capítulo V

[7] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Calidad del agua, segunda edición, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá Colombia,2002

[8] SALAZAR CANO**,** Roberto. Plantas de Potabilización, Segunda edición. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Capítulo II

Gráfica 1.1 Proceso e instrumentación para el tratamiento convencional
Proceso e instrumentación para el tratamiento convencional



FUENTE: SALAZAR CANO, Roberto. Plantas de Potabilización, Segunda edición. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Capítulo I

Este trabajo especialmente se enfocó a los tratamientos de coagulación-floculación-sedimentación, este método permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por sedimentación, con previa formación de flóculos y aglutinación de los mismos como se puede ver en la fotografía 1.3.

Fotografía 1.3 Mecánica del proceso coagulación-floculación-sedimentación

FUENTE: "Floculación" [Imagen tomada de] "Glosario de purificación del agua". Plantas purificadoras de aguas [en línea]. Disponible en: <http://www.plantaspurificadorasdeagua.net/imagenes3/g_floculacion.jpg>.

Coagulación. "La coagulación puede entenderse como la desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante la adición de sustancia químicas que son los coagulantes. Esta operación se efectúa en unidades y tanques de mezcla rápida, en los cuales el agua se somete a agitación muy intensa para formar una

solución homogénea de los coagulantes con el agua en el menor tiempo posible."[9].En otras palabras la coagulación como proceso previo a la sedimentación cambia las propiedades de los elementos insolubles, de modo que sean más fácilmente sedimentables, como es mucho más sencillo sedimentar partículas grandes y pesadas que partículas ligeras y de poca superficie específica.

El proceso de coagulación tiende a agrupar partículas pequeñas en otras mayores, y por tanto más sólidas, que se denominan flóculos, para así separarlas más fácilmente del líquido. Este proceso se usa para: Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica difícil de sedimentar, remoción de color verdadero y aparente, eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos, destrucción de algas y plancton, eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros procesos.

- **Mezcla rápida.** El objetivo de la mezcla rápida es crear la turbulencia o movimiento necesario, uniformemente en toda la masa de agua contenida 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.

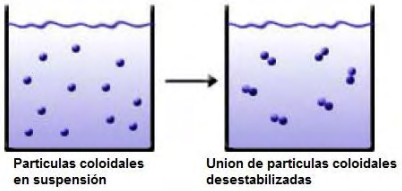
- **Proceso de coagulación**. En su forma más simple, la teoría establece que las partículas hidrofóbicas suspendidas en el agua transportan cargas eléctricas en su superficie, en aguas naturales dicha carga es comúnmente negativa, pero también existen cargas eléctricas positivas. Las cargas eléctricas de las partículas generan fuerzas de repulsión entre ellas, por lo cual se mantienen suspendidas y separadas en el agua. Es por esto que dichas partículas no se sedimentan. El conjunto formado por estas partículas constituye un sistema coloidal, formado por una doble capa de iones[10], el cual es sometido a un potencial en la superficie inferior del doble lecho, denominado potencial Z. Este potencial tiene un valor crítico, por encima del cual los coloides son estables, y por debajo de él, la repulsión en las partículas se reduce a un grado tal que chocando con cierta velocidad pueden unirse y flocular. El problema en la coagulación consiste en disminuir el potencial Z por uno de los siguientes métodos:

Coagulación por neutralización de la carga: Esta se realiza cuando coloides de diferente signo se mezclan en el agua. Esto es lo que sucede cuando se agrega alumbre o sales de hierro al agua.

[9] RICHTER, Carlos Alfredo., Mezcla rápida en vertederos rectangulares. En: ACODAL. Vol. 24, No. 100 (Jun., 1981); p. 9-18.
[10] Modelo de stern 1924

Coagulación por disminución del espesor de la doble capa (distancia d). Al incrementarse la concentración de iones en el agua la "distancia d" disminuye, hasta hacer el valor del potencial Z inferior al punto crítico. El concepto de potencial zeta surge de la teoría de la doble capa por lo tanto, las partículas coloidales se caracterizan por poseer dos capas eléctricas alrededor de ellas, de las cuales derivan su estabilidad. La capa interna consiste tanto en cationes como en aniones, pero en general tiene una carga neta negativa. La capa externa comprende cationes intercambiables tales como Na+, K+, Ca+2, Mg+2, H+, etc. [11]. La mecánica de este proceso se observa en la gráfica 1.2

Gráfica 1.2 Mecanismo de coagulación



- **Etapas del proceso de coagulación.** En la primera fase ocurre la Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión. Posteriormente, en la segunda fase, se presenta la precipitación y formación de componentes químicos que se polimerizan. En la tercera fase sucede la adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides. Seguido a esto en la cuarta fase ocurre la adsorción mutua entre los coloides; y por último en la quinta fase se presenta la acción de barrido.

- **Coagulantes.** Son aquellos compuestos de hierro y aluminio capaces de formar un floc y que pueden efectuar coagulación al ser añadidos al agua. Por otra parte, ayudas de coagulación, en realidad no actúan como tales en la coagulación sino en la floculación generando un floc más pesado.

- **Coagulantes inorgánicos- metálicos.**

a.) Sales de aluminio. Entre estas se encuentran el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el policloruro de aluminio.

b.) Sales de hierro. Sales simples como: sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico. Y recientemente algunas sales polimerizadas como: sulfato poliférrico y cloruro poliférrico.

[11] RODRÍGUEZ, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995. 115

- **Coagulantes orgánicos.** Los coagulantes que pertenecen a este grupo son polímeros de elevado peso molecular. Estos polímeros pueden ser de origen natural y sintético.

a.) Naturales. Dentro de este grupo se incluyen los polímeros de origen microbiológico, segregados por algunos microorganismos y los polímeros de origen natural, extraídos de ciertos tipos de plantas, al gas o animales.

b.) Sintéticos. Se conocen como polielectrolitos, son cadenas de unidades monoméricas: polímeros aniónicos, polímeros catiónicos, polímeros no iónicos.

Floculación. Proceso posterior a la coagulación, la formación de los flóculos es consecuencia de la agrupación de las partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras. Puede ser causada por la colisión entre las partículas, debido a que cuando se acercan lo suficiente las superficies sólidas, las fuerzas de van der waals predominan sobre las fuerzas de repulsión, por la reducción de la carga eléctrica que trae como consecuencia la disminución de la repulsión eléctrica. El coagulante aplicado da lugar a la formación del flóculo, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y especialmente su cohesión.

Para favorecer el engrosamiento del flóculo será necesaria una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula flóculo[12].

- **Mezcla lenta.** Por medio de la cual se incrementa la posibilidad de choque entre partículas y por consiguiente la formación de floc, se realiza generalmente por r.p.m bajas en comparación con la mezcla lenta para conservar el flóculo formado y se aglomeren entre sí, generalmente las r.p.m es menor que la mezcla rápida, entre 20 r.p.m a 120 r.p.m.

Gradiente de velocidad. Es la velocidad de agitación de las aspas en mezcla rápida y mezcla lenta, se expresa en S-1o también en revoluciones por minuto (r.p.m). Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc, ya nombrado anteriormente. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados

Sedimentación. Después de que ha ocurrido la floculación, el siguiente paso es separar los sólidos del líquido, es decir los flocs formados y que están

[12] LORENZO-ACOSTA, Yaniris. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, 2006. P 3,4.

suspendidos en el agua, aprovechando su diferencia de densidad, con una velocidad de caída tal que estos pueden llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable, dando como resultado un fluido clarificado, y en el fondo de los tanques, una suspensión más concentrada que se considera ha sido separada del mismo. Los sólidos pueden estar presentes en el agua en la forma como ocurren naturalmente, como es el caso del limo o la arena, o en forma modificada de su estado natural, como resultado de la coagulación y la floculación en este caso, además como resultado a esto los filtros pueden operarse más fácilmente y a buen costo para producción de agua filtrada de buena calidad.

1.4 PRUEBAS DE TRATABILIDAD

Para la selección de los procesos de tratamientos previos o paralelos al diseño de una planta, deben realizarse ensayos en el laboratorio siendo obligatorio entre estos, el Ensayo de Prueba de Jarras y posteriormente, si se justifica, realizar ensayos en planta piloto para determinar el tratamiento al que debe ser sometida el agua.

La Prueba de Jarras es obligatoria para cualquier nivel de complejidad, no solamente para los estudios de tratabilidad en el proceso de diseño, sino también diariamente, durante la operación de la planta, y cada vez que se presenten cambios en la calidad del agua. Los ensayos de laboratorio y planta piloto deben emplearse principalmente para determinar el grado de comportamiento de ciertos procesos de tratamiento y los criterios básicos de diseño para la planta a escala real (dosificaciones de los productos químicos, necesidad de mezcla y floculación, tiempos de contacto, entre otros aspectos).[13]

1.4.1 Ensayos de laboratorio:

Prueba de Jarras. La Prueba de Jarras es la técnica más extensamente usada para determinar la dósis de químicos y otros parámetros para la potabilización del agua. En ella se simulan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio que permite obtener agua de buena calidad fácilmente separable por decantación; los flóculos formados con diferentes.

[13] Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS, año 2000, literal C.2.5 ESTUDIOS DE TRATABILIDAD pág. C-22

2. DESARROLLO DEL TRABAJO

2.1. DOTACION DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS

Se dotó al laboratorio de hidráulica y sanitaria de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño en conjunto con el trabajo de grado “ELABORACIÓN DE LOS ÁBACOS QUE RELACIONA LOS GRADIENTES DE VELOCIDAD CON LAS REVOLUCIONES POR MINUTO CON VASOS ACRÍLICOS CUADRADOS DE 2 LT A TEMPERATURAS ENTRE 4ºC Y 24ºC CON UN RANGO DE 2ºC PARA EL NUEVO EQUIPO DE PRUEBA DE ENSAYO DE JARRAS DEL LABORATORIO DE HIDRAÚLICA Y SANEAMIENTO DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO” adelantado por los egresados Giselle Jurado Arroyo y Germán Guiza Rosero, de un equipo de Prueba de Jarras de referencia Y-FL6 de control digital y procesos automáticos, como alta a baja velocidad en tiempos predeterminados (ver fotografía 2.1), con todas las especificaciones exigidas por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 3903 PROCEDIMIENTO PARA LE METODO DE JARRAS EN LA COAGULACION-FLOCULACION DEL AGUA, con el objetivo de realizar buenas prácticas en análisis de laboratorio de aguas y plantas de tratamiento de aguas, para garantizar un proceso seguro y confiable.

Fotografía 2.1 Equipo de Prueba de Jarras Ref. Y-FL6

El sistema dotado es ideal para mediciones de parámetros de una planta de tratamiento de agua, a nivel de laboratorio, este se adquirió mediante una empresa calificada (Yareth Químicos L.T.D.A, Santafé de Bogotá, Colombia), dedicada especialmente al diseño y fabricación de equipos de laboratorio para análisis de tipo industrial con experiencia en el campo en nuestro país, lo que representa seguridad en el servicio y funcionamiento del equipo, para obtener resultados óptimos y confiables. El equipo fue evaluado por personal técnico de laboratorios especializados como se muestra en la fotografía 2.2., además registrado y codificado en la base de datos de laboratorios de la Universidad de

Nariño, el cual es LBE-SMP-FR11. Hoja de vida del equipo, ver ANEXO E en medio magnético.

Fotografía 2.2 Evaluación del equipo por personal técnico de laboratorios especializados.

La información obtenida con la realización de los ensayos, se pueden utilizar tanto en el diseño de plantas de tratamiento de aguas como en la optimización de plantas existentes y en la operación de estas; la importancia del ensayo deriva de su facilidad de realización, interpretación y versatilidad al estudiar diferentes parámetros que influyen en el proceso de coagulación – floculación, determinando lo indicado en la norma RAS-2000 literal C.2.5.1.1.

Este equipo contiene seis agitadores para homogenizar el contenido de los seis vasos de precipitados en los que se varían las condiciones de operación, analizándose luego los resultados en cada caso, para concluir cuales son los parámetros óptimos de depuración. Mediante una agitación rápida se dispersa el coagulante en cada uno de los vasos, después se reduce a una mezcla lenta para promover la floculación ya que aumenta las probabilidades de colisiones entre partículas dando lugar así a mayores tamaños de flóculo. Por último, se cesa la agitación para que la disolución permanezca en reposo y estos flóculos sedimenten.

2.2. EVALUACION DEL EQUIPO

Considerando que el equipo de Prueba de Jarras, es la herramienta vital para diseñar una planta de agua potable u optimizar una existente y que opere en óptimas condiciones, es importante hacer una evaluación física y operativa del equipo como tal para asegurar su correcto servicio en las funciones para las que fue diseñado, su buena operatividad a la hora de realizar ensayos para las diferentes determinaciones, y principalmente conocer el desempeño de esta útil herramienta y así esperar resultados más exactos.

2.2.1. Especificaciones digitales y electrónicas de equipo. Las siguientes especificaciones y características son importantes para conocer la mecánica de funcionamiento de esta útil herramienta y tener una alta eficiencia en los procedimientos de laboratorio y cuidado del equipo.

a.) Agitación:

- **Equipo automático controlado por microprocesador**
- **Rango Velocidad variable.** 20 hasta 300 r.p.m. Hasta tres ciclos
- **Nivel de precisión.** + - 1 r.p.m.
- **Transmisión Aspas.** Una de las variables que más importancia tiene en la Prueba de Jarras es la intensidad de agitación expresada como gradiente de movimiento del agua. Se utilizan aspas o rotores. El movimiento de las aspas en este equipo es por movimiento por piñón, de igual velocidad en todas las aspas.

b.) Tiempo:

- **Rango ciclo de trabajo.** Programable (0-99 minutos, 59 seg), y alarma acústica de error o terminación de ciclo.
- **Rampas o ciclos.** 3 ajustes para velocidad o tiempo
- **Control de velocidad.** Tipo P.I.D laso cerrado.
- **Programación.** Es manual y automática de fácil operación, de alta a baja velocidad y viceversa.
- **Visualización de velocidad.** Pantalla retro iluminada LCD con menú de texto. Control digital por teclado. Ver fotografía 2.3.

Fotografía 2.3 Teclado con Pantalla LCD

- **Iluminación.** Lámpara inferior fluorescente de 60 watts-120 voltios (interruptor independiente) con una base blanca y una iluminación en ángulo recto a la dirección del observador; por ejemplo, para observar el flóculo formado en los vasos. Ver fotografía 2.4.

- **Voltaje.** Línea de voltaje de 120 A.C, Fusible de 1.5 amp. Para trabajos de campo se puede usar con batería de 12 V.

Fotografía 2.4 Sistema de Iluminación.

2.2.2. Evaluación revolución – tiempo. Se corroboró el funcionamiento correcto y exacto del equipo, utilizando un tacómetro del departamento de física proveniente de los laboratorios de física de la Universidad de Nariño, y efectivamente, nuestro equipo está en perfecto funcionamiento tomando como parámetro r.p.m/ min.

2.2.3. Testigo de funcionalidad y desempeño. Una etapa de la evaluación del equipo fue la elaboración de un testigo de operación estándar de este mismo, además se pre evaluó simultáneamente algunos aspectos de los parámetros físico-químicos, haciendo una serie de variaciones, para observar las condiciones y variables del proceso de operación, desempeño y funcionalidad en los procesos de coagulación y floculación. Este es un testigo estándar donde se ejecutó básicamente el ensayo de determinación de dósis óptima de coagulante, ya que es suficiente para evaluar la mecánica de operación del equipo. Este testigo se realizó utilizando agua sintética, tomando como parámetro de referencia la turbiedad, el valor más elevado fue de 100 NTU aproximadamente y el valor más bajo fue de 10 NTU aproximadamente, con el propósito de ejemplificar el ensayo de manera adecuada y significativa.

Preparación de agua sintética. Se preparó en el laboratorio de hidráulica y saneamiento a partir de la mezcla de agua destilada mas bentonita o lodo bentonitico, se preparó una muestra considerable de agua sintética proporcionada por laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, para la realización de este testigo de operación, este procedimiento requiere de todos los cuidados básicos y normas de laboratorio para tener seguridad personal y exactitud en los resultados arrojados. Para obtener la turbiedad exacta requerida se realizó varias pruebas descritas posteriormente, con el objetivo de utilizar todos los valores de turbiedad obtenidos, en un modelo de regresión múltiple y con esto obtener una fórmula estadística con la cual sea fácil encontrar la cantidad de agua y el peso de bentonita necesarios para una turbiedad especificada, lo cual servirá de

herramienta para facilidad de procedimientos al necesitar cierta cantidad y valor de turbiedad de agua sintética.

- **Ejecucion de prueba de laboratorio para preparar la muestra de agua artificial.** El objetivo de esta prueba es obtener una variedad de valores de turbiedad, y procesar estos datos estadísticamente, para obtener una fórmula estándar y poder aplicarla, en la obtención de una muestra de agua sintética de cualquier valor requerido de turbiedad.

- **Procedimiento.** Se agregó diferentes cantidades de Bentonita en 1 litro de agua sintética preparada. (5gr/l, 10gr/l, 15gr/l y 20gr/l).[14]

- Se vertió 1 litro de agua destilada en cuatro Beakers previamente esterilizados, 1 litro de agua en cada uno de los cuatro beackers.
- Se pesó las diferentes cantidades de Bentonita en la balanza electrónica previamente calibrada (5gr, 10gr, 15gr y 20gr).
- Procedí a mezclar bentonita más agua destilada, con el dilusor de vidrio para evitar los grumos y desaparecerlos, de la manera que la disolución quede previamente homogenizada.
- Se colocó cada una de las disoluciones patrón en el agitador electrónico durante una hora para completar el proceso de homogenización de la muestra.
- Posterior a la agitación electrónica, se dejó hidratar cada muestra durante 24 horas con el propósito de que las partículas se sedimenten totalmente y se pueda tomar el sobrenadante. Se deja en un lugar seguro, sin peligro de re suspensión y protegido con papel plástico para evitar el posible contacto con basura o insectos.
- Pasadas las 24 Horas se sifoneó el sobrenadante cuidando de no arrastrar las partículas sedimentadas, traspasándolo a frascos de plástico para su buen y seguro almacenamiento.
- Posteriormente, de cada una de las diluciones preparadas, utilizando la pipeta de vidrio se tomó, 5 dósis o cantidades diferentes de la mezcla estas fueron 5ml, 10ml, 15ml, 20ml y 30ml y nuevamente se diluyó en 1 litro de agua cada una de estas. Para las todas y cada una de las diluciones, se determinó su valor de turbiedad, color, pH y temperatura.

- **Toma de datos.** En las tablas 2.1 y 2.2, se encuentran los valores de los parámetros fisicoquímicos determinados de las disoluciones realizadas.

[14] Caldera, Yaxcelis; Mendoza, Invan; Briceño, Ligia; Garcia, Juan; Fuentes, Lorena.(2007). "*Eficiencia de las semillas de moringa Oleifera como coagulante alternativo en la potabilización del agua".* Boletín del centro de investigaciones biológicas. Maracaibo, Venezuela. Universidad del Zulia.

Tabla 2.1 Datos de laboratorio disolución patrón 5gr/l, 10 gr/l

Dilución patrón (gr/l)	5	pH	10.1	
Turbiedad (NTU)	453.83	Temp. (°C)	18.1	
Dósis de dilución patrón (ml)	Turbiedad (NTU)	Color (UPC)	pH	Temp. (°C)
5	4.5	45.5	7.3	18
10	6.71	112	7.41	18.1
15	8.5	140	8	19
20	11.92	130.5	8.2	18
25	16	153.6	8.2	19.2
30	20.5	250.9	8.4	18.7

Dilución patrón (gr/l)	10	pH	10.28	
Turbiedad (NTU)	1027.5	Temp. (°C)	18	
Dósis de dilución patrón (ml)	Turbiedad (NTU)	Color (UPC)	pH	Temp. (°C)
5	13.38	129.85515	7.41	18.2
10	23.4	242.93119	8.6	20.1
15	35.5	363.71696	8.17	21.7
20	45.7	548.75048	8.32	21.5
25	57	546.5477	8.44	21.6
30	68.9	654.11679	8.52	20

Tabla 2.2 Datos de laboratorio disolución patrón 15gr/l, 20 gr/l,

Dilución patrón (gr/l)	15	pH	10.17	
Turbiedad (NTU)	840	Temp. (°C)	18.8	
Dósis de dilución patrón (ml)	Turbiedad (NTU)	Color (UPC)	pH	Temp. (°C)
5	18.3	199.60985	8.3	21.9
10	35.9	382.44059	8.38	21.7
15	52.2	559.03012	8.49	21.5
20	70.6	700.7423	8.56	21.4
25	87.5	855.67116	8.66	21.3
30	107.2	998.85186	8.74	21.7
Dilución patrón (gr/l)	20	pH	9.85	
Turbiedad (NTU)	869.3	Temp. (°C)	18.8	
Dósis de dilución patrón (ml)	Turbiedad (NTU)	Color (UPC)	pH	Temp. (°C)
5	9.41	105.9917	8.27	21.9
10	20.3	210.25662	8.3	22
15	30.2	309.01459	8.45	21.7
20	45.7	443.01704	8.39	21.8
25	49.6	478.62865	8.66	22.2
30	59.9	570.77828	8.8	22

- **Procesamiento de datos:**

1. De los valores anteriormente plasmados se utilizó como variables de referencia **la dilución patrón, las dósis de dilución patrón y el valor de turbiedad determinado**, en un método estadístico para obtener una fórmula base con la cual sea posible calcular el peso de la bentonita y la cantidad de agua según la turbiedad especifica necesitada, sin necesidad de optar por el método de ensayo y error y así ahorrar tiempo en la preparación de agua sintética. Dicho método estadístico es el modelo de regresión múltiple, usando el programa "StatGraphics". **Resultados y análisis de resultados.** Cabe aclarar que esta serie de resultados y análisis de los mismos son dados por el software mismo. Muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre TURBIEDAD y 5 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

TURBIEDAD = -55,485 + (12,9667*dilución patrón) – (0,5539*dilución^2) + (0,158666*dilución*dósis) [1.1]

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de **confianza del 95,0%.** El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica **89,4355%** de la variabilidad en TURBIEDAD. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 87,8509%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 9,58595. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, hay indicación de una posible correlación serial con un nivel de confianza del 95,0%.

- **Aplicación de fórmula obtenida.** Se aplicó la fórmula obtenida, haciendo iteraciones con valores arbitrarios de dilución patrón y dósis, obteniendo finalmente la turbiedad deseada (100 NTU), esta fórmula fue obtenida en base a 1 litro de agua destilada.

    - **Dilución patrón =** 15gr/l
    - **Dósis =** 35 ml
    - **Dilucion^2 =** 225
    - **Turbiedad =** 100.08 NTU

Turbiedad = -55,485 + (12,9667*15) – (0,5539*225) + (0,158666*15*35)

Turbiedad = 100.08 NTU **De fórmula, Turbiedad =** 103.1 NTU d**e laboratorio**

Esto indica que mezclando 35 ml de disolución patrón de 15gr/l, en un litro de agua, se obtiene una muestra de agua sintética preparada de 100 NTU de turbiedad, que es la necesitada. Por lo tanto, para obtener cierta cantidad de agua

se debe multiplicar la dósis por la cantidad de agua requerida en litros para el ensayo de Prueba de Jarras completo o a medida del requerimiento de esta.

- **Preparación de la muestra de agua requerida para el ensayo de Prueba de Jarras.** Tomando en cuenta que la cantidad de ensayos de Prueba de Jarras son numerosos, se decidió preparar la cantidad mínima requerida para un ensayo a medida del avance, lo cual son 2 litros por cada vaso, en total 12 litros y un litro más para determinaciones de parámetros físico-químicos iniciales de la muestra preparada. Por ejemplo, para obtener una turbiedad de 100 NTU para 13 litros de muestra se vio la necesidad de preparar varias disoluciones de 15mg/l para obtener la cantidad suficiente de sobrenadante para añadir a los 13 litros de agua necesarios para realizar un solo ensayo de coagulación-floculación, dado que para 1 litro de agua destilada se requiere 35 ml de solución patrón, entonces para 13 litros requeridos se añadieron 455 ml de sobrenadante de disolución patrón.

Estructuración del testigo de operación estándar con agua sintética. Esta etapa del trabajo se realizó con el objetivo de:

- Obtener de un testigo de operación, eficiencia y desempeño del equipo, con el cual, permite conocer y evaluar suficientemente la mecánica del proceso de funcionamiento del equipo de Prueba de Jarras. Este testigo se realizó básicamente ejecutando el proceso de determinación de dósis óptima de coagulante utilizando cuatro muestras de agua cruda artificial

- Evaluar previamente aspectos de los parámetros los ensayos de Pruebas de Jarras como tal.

- Base y apoyo para estructurar el protocolo final de los ensayos de laboratorio ejecutados indicados por la norma RAS 2000, literal C.2.5.1.1 y definitivo de este proyecto.

El objetivo de ejecución del ensayo de determinación de dósis óptima de coagulante corresponde a encontrar la dósis de coagulante adicionada con la que se obtenga el mayor porcentaje de remoción de turbiedad y color, ajustándose así estos y los demás parámetros fisicoquímicos en estudio de calidad a los valores máximos admisibles por la norma colombiana de calidad de agua potable según el decreto 1575/2007.

Esta prueba se realizó con cuatro (4) turbiedades diferentes para analizar la variación y el comportamiento de la calidad de agua en función de la dósis de coagulante, en este caso con sulfato de aluminio granulado tipo B ya que es el coagulante generalmente más utilizado en Colombia. A continuación, este el procedimiento general que se realizó para todas las turbiedades en cuestión.

- **Procedimiento de laboratorio**. Gracias a la ejecución de estos procesos de ha estructurado las guías de laboratorio, por lo tanto, la descripción de este proceso se encuentra en la guía de determinación de dósis óptima de coagulante, con los respectivos formatos a nivel de laboratorio para el registro de datos, remitirse al ANEXO B. Para consultar dichos formatos con el registro de información de estos ensayos a nivel de laboratorio, remitirse al ANEXO C en medio magnético. Gracias a este registro de parámetros fisicoquímicos, se pudo procesar los datos obtenido un análisis completo, donde se selecciona la menor dósis de coagulante que removió el mayor valor de turbiedad y color de cada una de las muestras artificiales, haciendo una comparación de los parámetros iniciales, resultados finales obtenidos y los valores máximos aceptados por la norma colombiana de calidad de agua potable según el decreto 475/98

  Se utilizó como coagulante el sulfato de aluminio, y se omitió el uso de alcalinizantes ya que la muestra se encontró con la alcalinidad suficiente para reaccionar con el coagulante, y este sea un proceso exitoso (obtener agua apta para consumo humano). En la tabla 2.3, se observa los parámetros fisicoquímicos para representativos de las cuatro muestras de agua, y en la tabla 2.4 los parámetros del ensayo de coagulación- floculación- sedimentación.

Tabla 2.3 Parámetros iniciales de las 4 muestras

Turbiedades iniciales (NTU)	Color (UPC)	Alcalinidad (mg/l H_2SO_4)	pH	Temperatura °C
104	980	52.65	7.69	18.3
55.1	524	33.15	8	19
30.1	265.71	35.35	8.1	19.9
10.1	113.7	29.25	7.9	22.4

Tabla 2.4 Parámetros de mezcla de los ensayos de cada muestra

MEZCLA RAPIDA			MEZCLA LENTA			SEDIMENTACION
G (S^{-1})	r.p.m	Tiempo (seg)	G (S^{-1})	r.p.m	Tiempo (min)	Tiempo (min)
650	300	60	33	40	20	20

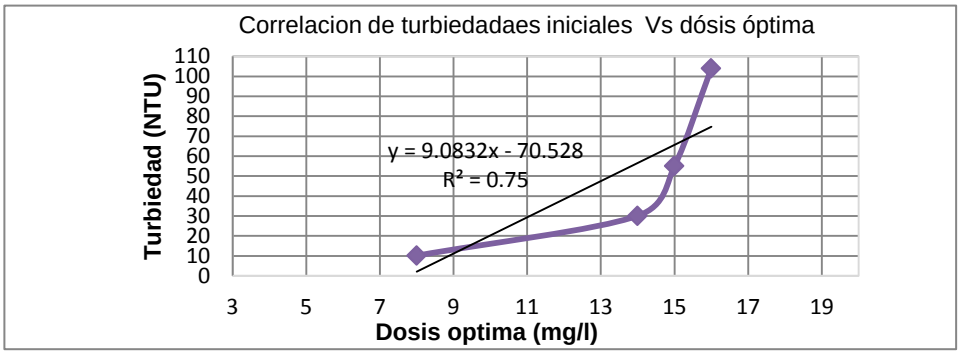
Tabla 2.5 Parámetros fisicoquímicos principales finales

Muestra	Dosis (mg/l)	Turbiedad (NTU)	Color (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	pH	Temp. °C	% Remoción Turbiedad	% Remoción Color
1	16	1.02	21.92	11.7	5.95	18.5	99.02	97.76
2	15	1.3	35.87	3.9	6.1	20.07	97.64	93.16
3	14	1.44	16.04	15.6	6.05	21	94.55	94.18
4	8	1	9.80	7.8	6.42	22.1	90.10	91.38

Tabla 2.6 Selección de dósis de coagulante óptima

Dosis de Coagulante (mg/l)	Turbiedad Inicial y final (NTU)			
	10.1	**30.1**	**55.1**	**104**
5	1.7			
6	1.7			
7	1.3			
8	**1**			
9	1.6			
10	1.6	1.9	3.2	
11		2.2	1.92	
12		1.8	1.84	
13		1.99	2.4	
14		**1.44**	1.47	1.1
15		1.7	**1.3**	1.45
16				**1.02**
17				1.08
18				1.22
20				1.4

Gráfica 2.1 Comportamiento de coagulante en turbiedades diferentes



- **Análisis de resultados.** Estadísticamente se puede decir que el ajuste del modelo de regresión lineal indicado en la gráfica 2.1, es regular, y se denomina así ya que el valor de R^2= 0.75, en concreto el 75% lo que quiere decir que el modelo lineal describe el comportamiento de turbiedad y dósis de coagulante con un margen de error del 30%, que indica que no siempre la dósis de coagulante es directamente proporcional a la turbiedad del agua, ya que existen parámetros generales que pueden ser alterados por técnicas de operatividad o factores de laboratorio y del medio en sí. Sin embargo, en la tabla 2.6 se observa que buenos porcentajes de remoción tanto de turbiedad como color los cuales están sobre el 90%.

  El comportamiento de la dósis óptima frente a la turbiedad debería ser un comportamiento que siga el modelo línea, por el hecho de que a medida que la turbiedad aumenta también lo debería hacer la dósis de coagulante a emplear según la teoría, pero en algunos de los ensayos realizados experimentalmente no se evidencia este comportamiento. Al momento de pasar de la teoría a la práctica el agua se comporta siempre de una manera diferente, debido que los factores estudiados, turbiedad y color, pH y alcalinidad influyen significativamente en el proceso ya que cada muestra de agua tiene su propia caracterización fisicoquímica atribuyendo esto a aspectos naturales como clima y fuente principalmente. Esta gráfica es necesaria para diseñar o evaluar todas las instalaciones de dosificación de una planta, y por su puesto para su operación[15], esta gráfica es parte vital de nuestro testigo estándar de operación por que indica lo siguiente:

  - En cuanto a esta evaluación del equipo como tal, se da fe de que este se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento y tiene una mecánica de proceso excelente, siempre y cuando se maneje con todas las precauciones y especificaciones básicas posibles, lo cual sirve como base para estructurar las recomendaciones y precauciones de uso en el protocolo final de este trabajo de grado, de igual manera, se proporcionará el respetivo manual de operación.

  - Las especificaciones de funcionamiento y diseño inicial del equipo son acordes a lo ofrecido por el fabricante, lo cual indica que esta herramienta será útil para todas las determinaciones para las cuales un equipo de Prueba de Jarras estándar debe ser diseñado, según la norma RAS 2000, literal C.2.5.1.1

  - Según las condiciones y especificaciones para la funcionalidad y operación del equipo adquirido y los parámetros iniciales de muestra de agua cruda, estos resultados se denominan estándar, donde se observa un comportamiento tal, que si se hace nuevamente el ensayo se va a obtener valores alrededor de estos resultados tomando en cuenta variables que pueden afectar, por eso se

[15] CEPIS, Tratamiento para aguas de consumo Humano, Ing Lidia Vargas.

lo ha denominado “testigo estándar”, el cual proporcionó la evaluación de la mecánica de operación del equipo como tal.

- Se optó por hacer esta evaluación de esta forma, ya que operando el equipo en condiciones de muestra artificial se obtuvo resultados que sirvieron de fundamentos y apoyo para observar el servicio, funcionalidad, eficiencia y desempeño del equipo de Prueba de Jarras como tal.

2.3. EVALUACION DE PARÁMETROS DE ENSAYOS.

Esta evaluación se realizó en todos los ensayos para las determinaciones, establecidas en la norma RAS-2000 literal C.2.5.1.1 que incluyen los ensayos de Prueba de Jarras.

2.3.1. Determinaciones de ensayos de Prueba de Jarras. Los ensayos de laboratorio para los cuales el equipo de Prueba de Jarras ha sido diseñado son los indicados por la norma RAS 2000, literal C.2.5.1.1, consisten en “simular” en vasos de precipitado o jarras, el proceso de coagulación-floculación que se producirá en la planta de tratamiento y evaluar distintos parámetros durante o al final de los ensayos para caracterizar su funcionamiento. Su objetivo básico es la determinación del coagulante, su dósis óptimas, secuencia de adición de los mismos para una turbiedad, un color, un pH, una temperatura”[16]. Las Pruebas de Jarras se pueden usar para la determinación de:

1. Dósis óptima de coagulantes, alcalinizantes.

2. Evaluaciones cualitativas:

- Tamaño del flóculo producido
- Tiempo inicial de formación del flóculo.

3. Evaluaciones cuantitativas:

- **Determinaciones físicas**. Turbiedad y color residuales, así como tiempos y gradientes óptimos de velocidad. Cuando sea pertinente pueden también determinarse: la velocidad de sedimentación de los flóculos formados, y el número de partículas presentes por tamaños.

- **Determinaciones químicas**. pH y alcalinidad antes y después de la coagulación. Adicionalmente la concentración del aluminio residual, hierro y/o manganeso si procede.

[16] REGLAMIENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS 2000, Sección II Titulo C, Ensayos de laboratorio, Pruebas de Jarras, pág. C.22

2.3.2. Observaciones cualitativas:

Índice de Willcomb. Este índice ha establecido, observar la forma como se desarrolla el floc en cada una de los vasos, escogiendo aquel que produzca el floc más grande y fuerte, de mayor velocidad de asentamiento aparente, y que deje ver un agua más cristalina entre las partículas coaguladas con apoyo de la siguiente tabla ya establecida, ver tabla 2.7.

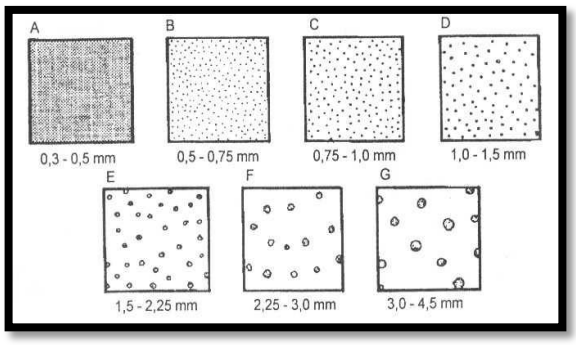
Tamaño del floc. Puede expresarse en mm de acuerdo con el comparador desarrollado por la Water Research Institute de acuerdo con la gráfica 2.2. "Se escoge como dósis óptima la de la jarra que produce una partícula más grande, aunque no siempre el mayor tamaño de partículas produce la mayor velocidad de asentamiento" [17]

Tabla 2.7 Índice de floculación de Willcomb

índice	Descripción	Observación
0	No visible	Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación
2	Visible	Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador entrenado
4	Disperso	Floc bien formado pero uniformemente distribuido, sedimenta muy lentamente o no sedimenta
6	Claro	Floc de tamaño relativamente grande , precipita con lentitud
8	Bueno	Floc bueno, que se deposita fácil pero no completamente
10	Excelente	Floc muy bueno, se deposita totalmente, dejando el agua cristalina

FUENTE: PIEDAD LOPEZ MACIAS, Manual de Laboratorio de Química Sanitaria I, Capitulo 5

Gráfica 2.2 Comparador para estimar el tamaño del flóculo producido en la coagulación SEGÚN Water Research Institute de Inglaterra



FUENTE: VARGAS, Lidiacriterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. Cap. 1, (WWW.CEPIS.OPS.OMS.ORG)

[17] ROMERO ROJAS, Jairo Alberto, Calidad del agua, segunda edición, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá Colombia,2002

Tiempo de formación del floc. Se determinó en segundos el tiempo que tarda en aparecer el primer indicio de formación de floc, es uno de los sistemas para cuantificar la velocidad de la reacción. La iluminación de la base del agitador ayuda en esta determinación, la que ni aún así suele ser fácil, pues el floc cuando recién se forma, suele ser incoloro. Por otra parte, cable aclarar que el floc que se forma más rápido no necesariamente es el mejor.

Observaciones de sobrenadante. Para obtener un amplio registro de observaciones cualitativas, se concluyó con la descripción del sobrenadante para cada condición o vaso de los ensayos ejecutados, para esta observación se tomó como referencia básica la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Descripción del sobrenadante.

Numero	Observación
2	Poco claro con flóculos en la solución, No separación
3	Medio claro
4	Muy claro y pocos flóculos en la solución (claros)
5	Muy claro, ligeramente más flóculos en la solución
1	Transparente, sedimenta rápido al inicio; estable

FUENTE: Universidad Iberoamericana de México, laboratorio de Ingeniería ambiental Práctica No 2 prueba de Coagulación-Floculación

2.3.3. Control de los procesos. Existe una variedad de controles y variables en muchos sentidos que se debe considerar a la hora de ejecutar estos ensayos de laboratorio ya que determina en gran parte el nivel de efectividad del proceso.

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores influyentes de manera significativa a la hora de ejecutar los ensayos, con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación ya que esta es una etapa definitiva en la totalidad del ensayo. Además, la interrelación entre cada uno de ellos permite predecir cuales son las cantidades de los coagulantes a adicionar al agua.

Influencia de parámetros fisicoquímicos iniciales:

- **Influencia del pH**. El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua a tratar. El pH afecta la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio, así como el tiempo requerido para formación de floc y la carga sobre las partículas coloidales.

Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena coagulación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dósis de coagulante; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dósis requerida es alta, además la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro o el aluminio y generar problemas al usuario del agua. Cuanto menos sea la dósis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del flóculo a cambios de pH. Generalmente, para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de aproximadamente de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades.

- **Influencia de la alcalinidad.** La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto, el contenido de alcalinidad del agua, es necesario que el agua contenga un exceso de concentración de alcalinidad para que ocurra una coagulación completa y efectiva, además neutralizar la acidez del coagulante metálico y mantener un pH aproximadamente neutro.

  Cuando es necesario, debido a la baja alcalinidad de la muestra, hay que preparar una suspensión de cal añadiendo agua destilada a 10 gr de dicho material hasta completar un volumen total de 1000 ml. Debe anotarse el compuesto de cal que se ha utilizado, CaO o Ca (OH)2, y evitar el contacto de la suspensión así preparada con el aire cuyo contendido de CO2 puede reaccionar con el óxido de calcio para formar carbonato que precipita. Antes de usar la suspensión, hay que agitarla.

- **Influencia de la temperatura.** La variación de 1°C en la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad (variación de la densidad del agua) de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad, esto explica las dificultades de la sedimentación de un floc. La temperatura del agua varía según la región geográfica y el clima. En general, mientras no exceda los 30ºC no presenta un problema mayor.

- **Influencia de la turbiedad.** La variación de la concentración de las partículas que son causantes de la turbiedad permiten hacer las siguientes predicciones y por lo tanto, el siguiente control.

  Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dósis óptima, cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar la cantidad de coagulante no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la

turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.

Cuando la turbiedad es demasiado alta, conviene realizar un control previo que sería el proceso de pre sedimentación natural o forzada, en este caso con el empleo de un polímero aniónico.

Tamaño de las partículas. La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas.

Influencia de otros parámetros:

- **Tipo de coagulante**. Normalmente no todos los coagulantes producen el mismo efecto ni llevan a cabo la desestabilización por el mismo mecanismo. Hay muchos factores que influyen en el proceso de coagulación y que varían del tipo de coagulante, como por ejemplo, el margen de pH óptimo y la solubilidad.

- **Dosificación del coagulante.**

  Una poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto la turbiedad residual es elevada. Si la cantidad es alta de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.

- **Sistema de aplicación del coagulante.** Se considera que una reacción adecuada del coagulante con el agua se produce cuando la dósis del coagulante que se adicione al agua es en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida, tal que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua. Se debe aplicar en el centro del vaso para mejor homogenización de la mezcla y obtener buenos resultados.

Influencia de mezcla. El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecha y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente. En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas.

En la primera etapa, la mezcla es enérgica y de corta duración (60 seg. máx.) llamado mezcla rápida; esta mezcla tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar. En la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos.

Gradiente de velocidad, Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados.

2.3.4. Ejecución de los ensayos muestra de agua natural Río Pasto. Para poner en práctica y ejemplificar significativamente todos los ensayos para las determinaciones, establecidas en la norma RAS-2000, se utilizó muestra de agua cruda natural del Río Pasto, suministrada por EMPOPASTO, tomada en la planta de potabilización de agua "Centenario" donde el punto de muestreo fue antes de la primera rejilla de la planta como se indica en la fotografía 2.5. Se utilizó como coagulante el policloruro de aluminio (PAC), y se omitió el uso de alcalinizantes ya que la muestra se encontró con la alcalinidad suficiente para reaccionar con el coagulante.

Fotografía 2.5 Punto de muestreo

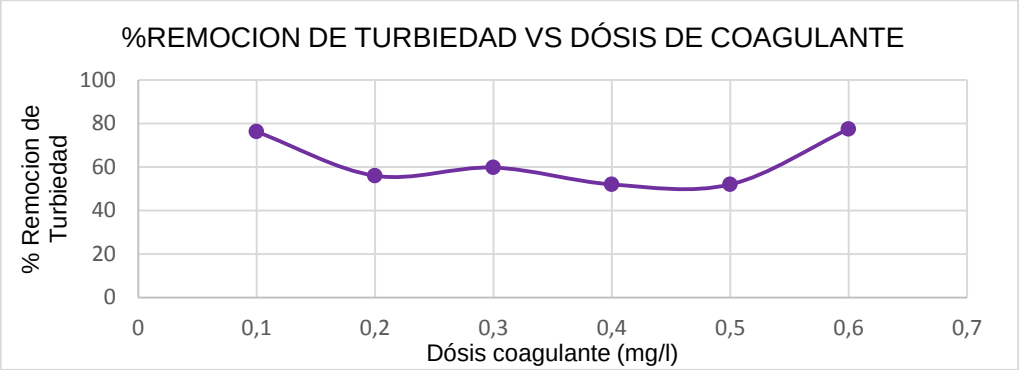
Este proceso fue de gran apoyo en la evaluación de los parámetros de ensayos y estructuración del protocolo final de este trabajo. Girando en torno a la obtención de valores de parámetros fisicoquímicos estudiados, ajustados al decreto 475/1998. La descripción de cada uno de los proceso se encuentra en la guías de laboratorio con los respectivos formatos a nivel de laboratorio para el registro de datos e información con observaciones en base a las características cualitativas y resultados obtenidos, los cuales sirven como apoyo para seleccionar buenos resultados, remitirse a los ANEXOS B, C, D. Para consultar dichos formatos con el correspondiente registro de información de ensayos realizados a nivel de laboratorio, remitirse al ANEXO B en medio magnético.

Gracias a este registro de parámetros fisicoquímicos se evaluó datos, obteniendo un análisis completo de su comportamiento, donde se selecciona la dósis óptima de coagulante, velocidades con sus tiempos de mezcla y tiempo de sedimentación que removió mayor turbiedad y color en la muestra analizada, en base a la comparación los valores iniciales de los parámetros con resultados finales obtenidos y los valores máximos aceptados por la norma colombiana de calidad de agua potable. También se ha estructurado un modelo de formatos de entrega de resultados, con el fin de sintetizar la información obtenida en el proceso de laboratorio y la selección de resultados finales. Remitirse al ANEXO D en medio magnético.

2.3.5. Análisis de resultados.

Análisis de resultados de la muestra natural de agua cruda proveniente del Río Pasto. Los resultados obtenidos de los ensayos anteriormente ejecutados, son con características fisicoquímicas en período seco sin lluvias de dicho Río, razón por la cual la turbiedad es baja (4NTU) y el color aparente también es relativamente bajo (48 UPC).

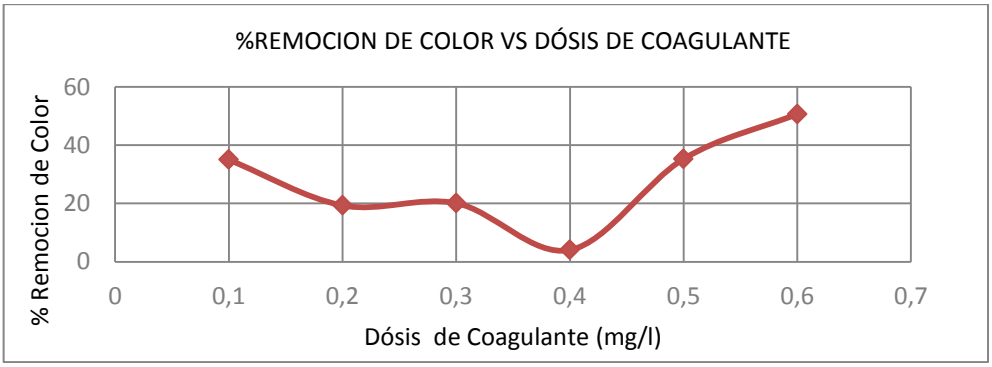
Gráfica 2.3 Eficiencia en la remoción de turbiedad en función de la dósis del coagulante utilizado policloruro de aluminio PAC, frente a una turbiedad de 4 NTU como parámetro principal de referencia.



La gráfica 2.3, indica que los ensayos realizados de todas las variaciones de dósis de coagulante, estas fueron las que más se acercaron al resultado esperado, las cuales están entre 0.1 mg/l y 0.6 mg/l. Los porcentajes de remoción de turbiedad están sobre el 55%, donde todos los valores de turbiedad obtenidos, están por debajo del valor máximo admisible (2NTU) dejando como resultado muestras tratadas aptas para el consumo humano. El porcentaje más alto de remoción de turbiedad arrojado fue el del 77.50%, minimizando la turbiedad de 4 NTU a 0.9 NTU muy por debajo del valor máximo admisible indicando que 0.6 mg/l es la mejor opción.

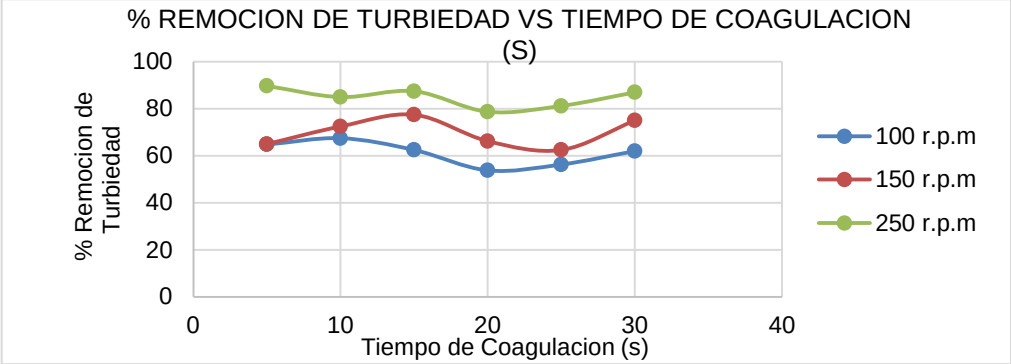
Se optó por trabajar con este coagulante ya que el convencional (sulfato de aluminio) no se comporta de manera satisfactoria con turbiedades bajas, se intentó trabajar en un principio con dicho coagulante pero su acción fue perjudicial para el valor de turbiedad porque lo elevó, Muchas veces cuando se tienen turbiedades bajas del agua cruda se hace necesario la adición de partículas arcillosas para aumentar la turbiedad y así lograr un mejor tratamiento aumentando el número de colisiones entre las partículas lo que provoca una mejor coagulación.

Gráfica 2.4 Eficiencia en la remoción de color en función de la dósis del coagulante utilizado Policloruro de aluminio PAC, frente a un Color de 48 UPC



En la gráfica 2.4, se observa que en el caso del color hubo porcentajes de eficiencias mucho más bajos, los cuales están sobre un 5 % y el más alto que se obtuvo fue un 50.69%, arrojando un valor de 23.67 UPC, 8 dígitos por encima del valor máximo admitido por las normas vigentes colombianas, esto probablemente se deba a una re estabilización de los flóculos y por lo tanto, se les dificulta la sedimentación. De todas maneras, se garantiza un valor de color en la muestra de agua que sea apta para el consumo humano, con el posterior procedimiento de filtración, lo que arroja un resultado de color mucho más bajo y acorde a los valores mínimos exigidos. De acuerdo con la dosificación escogida 0.6 mg/l el valor de color después del procedimiento de filtración es de 10.17 UPC, aumentando el porcentaje de remoción de 50.69% a un 79.17%.

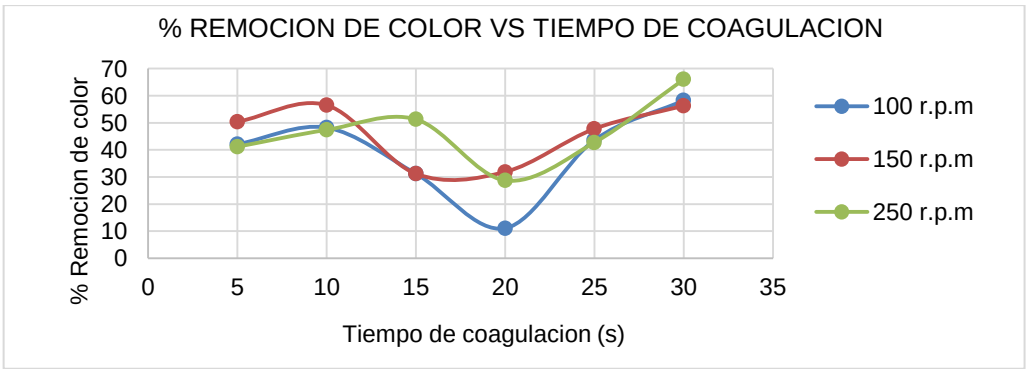
Gráfica 2.5 Eficiencia en la remoción de Turbiedad en función de parámetros de mezcla rápida como gradientes y tiempo de agitación



Según la gráfica 2.5, se observa que de los ensayos realizados de las variaciones de velocidad de agitación (r.p.m) o gradiente de velocidad (S^{-1}), y tiempos de agitación de mezcla, se observa combinaciones de estos dos parámetros, que han arrojado porcentajes de remoción de turbiedad por encima del 53.8% para una velocidad de 100 r.p.m, 62.5% para una velocidad de 150 r.p.m y 78.75% para una velocidad de 250 r.p.m. Estas velocidades fueron escogidas arbitrariamente para los ensayos. Sin embargo, el mayor porcentaje de remoción entre todo estos parámetros fue de un 89.75% para una velocidad de 250 r.p.m durante un tiempo de agitación de 5 segundos, obteniendo una turbiedad de un valor de 0.41 NTU, el cual es un valor muy por debajo del valor máximo admisible el cual es 2NTU.

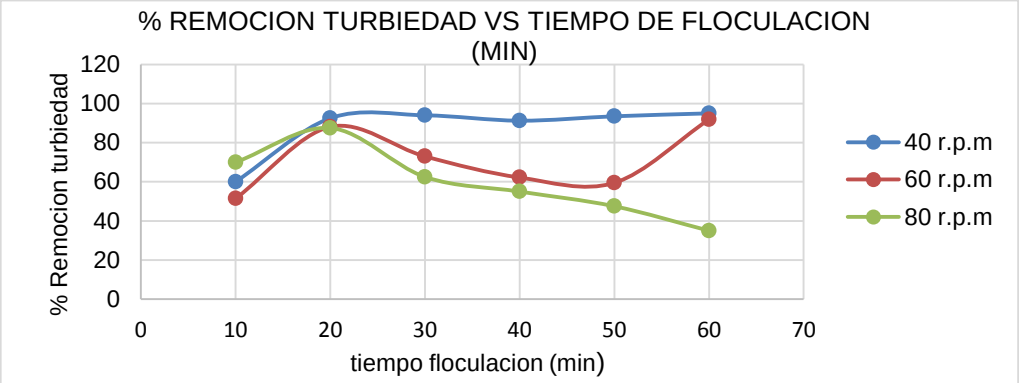
Según el índice de Willcomb, se observó un floc bueno, floc que se deposita fácil pero no completamente, con un tamaño aproximado de 1.0 mm – 1.5 mm y un sobrenadante muy claro y pocos ligeramente flóculos en la solución.

Gráfica 2.6 Eficiencia remoción de Color en función de parámetros de mezcla rápida como gradientes y tiempo de agitación



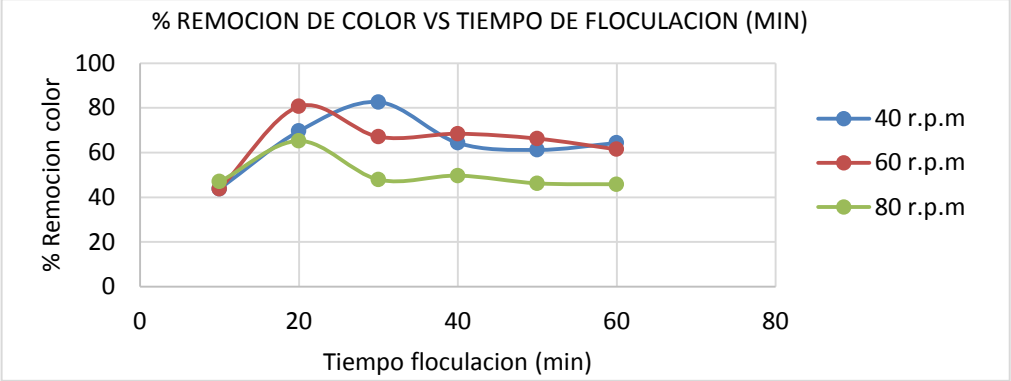
De acuerdo a la gráfica 2.6, se observa una gran variación en la remoción de color para las diferentes condiciones de mezcla rápida, se observa combinaciones de estos dos parámetros, que han arrojado porcentajes de remoción de color por encima del 11% para una velocidad de 100 r.p.m, 31.2% para una velocidad de 150 r.p.m y 28.2% para una velocidad de 250 r.p.m. Dado que los parámetros seleccionados son velocidad de agitación de 250 r.p.m en un tiempo de 5 segundos, el porcentaje de remoción para estas condiciones según la gráfica obtenida de los resultados es 41.18%, arrojando un valor de color de 27.79 UPC, de todas maneras, se garantiza un valor de color en la muestra de agua que sea apta para el consumo humano, con el posterior procedimiento de filtración, lo que arroja un resultado de color mucho más bajo y acorde a los valores mínimos exigidos, este valor es de 9.44 UPC, aumentando el porcentaje de remoción en un 80.3%.

Gráfica 2.7 Eficiencia en la remoción de Turbiedad en función de parámetros de mezcla lenta como gradientes y tiempo de agitación.



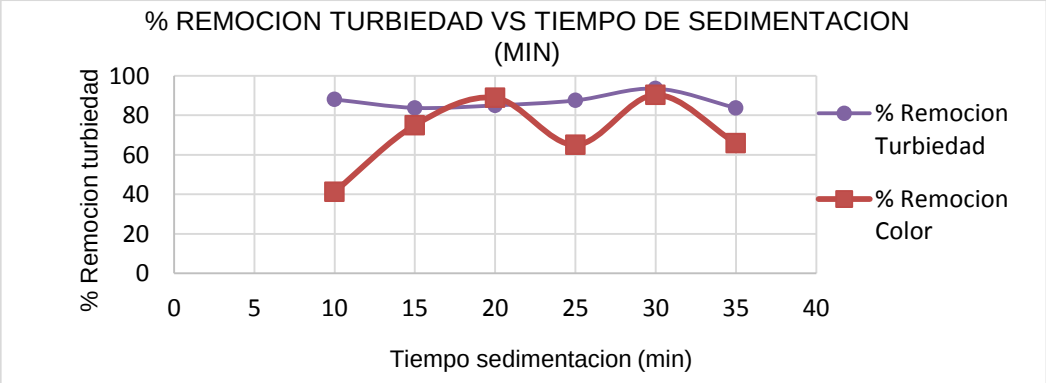
En cuanto a la gráfica 2.7, muestra que de los ensayos realizados de las variaciones de velocidad de agitación (r.p.m) o gradiente de velocidad (S^{-1}), y tiempos de agitación de mezcla lenta, se observa combinaciones de estos dos parámetros, que han arrojado porcentajes de remoción de turbiedad por encima del 56.76% para una velocidad de 40 r.p.m, 51.4% para una velocidad de 60 r.p.m y 47.5% para una velocidad de 80 r.p.m. Estas velocidades fueron escogidas arbitrariamente para los ensayos. Sin embargo, el mayor porcentaje de remoción entre todo estos parámetros fue de un 93.51% para una velocidad de 40 r.p.m durante un tiempo de agitación de 30 minutos, arrojando una turbiedad de un valor de 0.24 NTU, el cual es un valor muy por debajo del valor máximo admisible el cual es 2NTU.

Gráfica 2.8 Eficiencia en la remoción de Color en función de parámetros de mezcla lenta como gradientes y tiempo de agitación



En la gráfica 2.8, se observa poca variación en la remoción de color para las diferentes condiciones de mezcla rápida, se observa combinaciones de estos dos parámetros, que han arrojado porcentajes de remoción de turbiedad por encima del 43.8% para una velocidad de 40 r.p.m, 51.4% para una velocidad de 60 r.p.m y 47.5% para una velocidad de 80 r.p.m. Dado que los parámetros seleccionados son velocidad de agitación de 40 r.p.m en un tiempo de 30 minutos, el porcentaje de remoción para estas condiciones según la gráfica obtenida de los resultados es 94%, arrojando un valor de color de 8.34 UPC, el cual está por debajo del valor admisible según las normas vigentes colombianas, decreto 475/98.

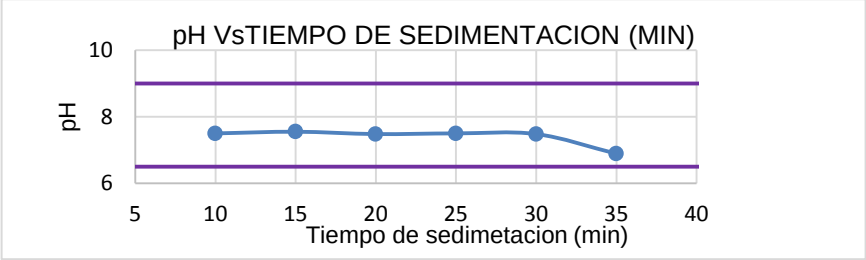
Gráfica 2.9 Eficiencia en la remoción de Turbiedad y color en función de diferentes tiempos de sedimentación.



La gráfica 2.9, muestra que el porcentaje de remoción de turbiedad es más alto que porcentaje de remoción de color, siendo así el mayor porcentaje de 89.5% y 90.13% respectivamente, los cuales hacen referencia a 30 minutos de tiempo de

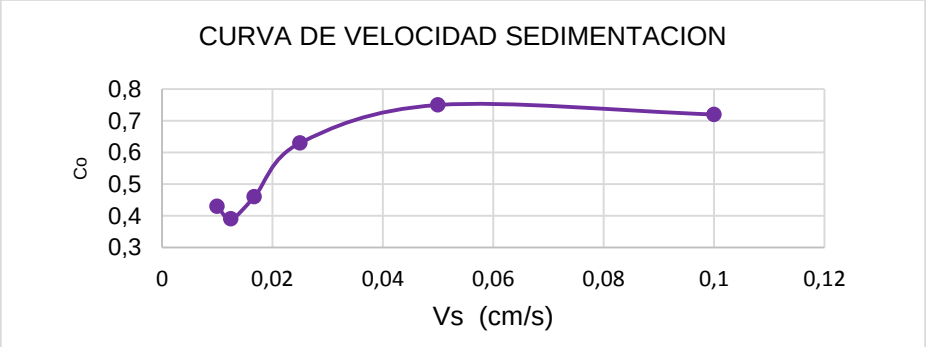
sedimentación, observando un valor de 0.26 NTU para turbiedad y un valor de 4.66 UPC para color. Generalmente, se obtuvo resultados buenos que están sobre el 83% de remoción de turbiedad y 40% de remoción de color en general. Con estos últimos resultados se completan las todas las condiciones óptimas del ensayo de Prueba de Jarras, donde gracias a la combinación de todos los parámetros anteriormente encontrados, se obtienen altos porcentajes de remoción tanto de turbiedad como de color seleccionando valores de 0.26 NTU y 4.66 UPC respectivamente. A continuación, se presenta el comportamiento de pH y color para estas condiciones

Gráfica 2.11 Comportamiento del pH analizado con todas las condiciones óptimas de ensayo previamente determinadas



Según la gráfica 2.10, evidencia que el pH no ha sufrido un cambio brusco respecto al pH inicial, el cual fue de un valor de 9.65, y después del procedimiento disminuyó ajustándose al rango según las normas colombianas; respecto al resultado del ensayo de la combinación de los parámetros óptimos del proceso, el pH resultante fue de 7.48, un valor muy bueno, o casi neutro, por lo tanto, está dentro del rango admitido. El coagulante utilizado policloruro de aluminio (PAC) no ha permitido gran variación en el pH.

Gráfica 2.12 Curva de velocidad de sedimentación para la muestra de agua natural utilizada



De acuerdo a la gráfica 2.12 se puede observar que la velocidad de sedimentación con la que se consigue la máxima eficiencia remocional es de 0.01 cm/s, y esta coincide con un valor de Co=Cf=0.43 donde indica una turbiedad final de 1.7 NTU la cual se ajusta a la norma vigente colombiana. La velocidad de sedimentación de la partícula disminuye en poco tiempo desde 0.1 m/s hasta su valor final.

En condiciones de reposo, las partículas suspendidas en el agua muestran tendencia a aglomerarse formando partículas de mayor tamaño, a medida que van sedimentando, el volumen de las partículas cambian a medida que ellas se adhieren unas a otras mediante el mecanismo de la floculación y la precipitación química. Así, la claridad del sobrenadante va aumentando a través del tiempo por la sedimentación de las partículas floculadas. Se observó un floc claro, floc de tamaño relativamente grande, precipita con lentitud, con un tamaño aproximado de 1.0 mm – 1.5 mm y un sobrenadante muy claro y pocos ligeramente flóculos en la solución.

En la tabla 2.9, se indica la comparación de parámetros fisicoquímicos obtenidos antes y después del proceso de coagulación-floculación-sedimentación. Lo cual ha resultado muy satisfactorio

Tabla 2.9 Comparación de caracterización fisicoquímica inicial y final con muestra de agua natural

Valor	Turbiedad (NTU)	Color (UPC)	Alcalinidad (mg/l)	pH	Temperatura °C
Inicial	4	48	28.2	7.8	15.6
Final	0.26	4.66	23.4	7.48	20.3

2.3.6. Comportamiento de coagulantes utilizados. Tanto el sulfato de aluminio (alumbre) granulado tipo B como el policloruro de aluminio (PAC) indicados en la fotografía 2.7, son coagulantes efectivos para el tratamiento de aguas para consumo humano dado que se presentaron buenos porcentajes de remoción de la turbiedad y color en las muestras de agua cruda analizada. Aunque generalmente con lo observado en la mayoría de plantas de potabilización, el sulfato de aluminio líquido tipo B es una muy buena opción solamente siempre y cuando el agua tenga una alcalinidad apropiada, aunque este parámetro se puede incrementar pero los costos se elevan; en cambio el policloruro de aluminio tiene un rango más amplio de reacción con valores de alcalinidad.

Fotografía. 2.6 Sulfato de aluminio (alumbre) granulado tipo B y policloruro de aluminio (PAC)

De acuerdo con las características iníciales de las muestras de agua cruda, se determinó que en función a las pruebas de comparación realizada en el laboratorio, el coagulante que removía mayor cantidad de turbiedad y mantenía un potencial de hidrógeno más estable, fue el policloruro de aluminio, no obstante la remoción de color en la mayoría de los casos para los dos coagulantes era casi la misma. Además, cabe anotar que el sulfato de aluminio no trabajó bien con la muestra de agua natural. La alta remoción de turbiedad, color y un potencial de hidrógeno estable del policloruro de aluminio, significa una mejor operación en una planta de tratamiento real, menor acumulación de lodos y carreras de filtros más prolongadas, menor cantidad de químico a emplear y también mejores resultados de calidad. El uso de policloruro de aluminio representa un gasto económico menor, que al usar el sulfato de aluminio, ya que anualmente el PAC representará un menor costo de operación, en el proceso de coagulación-floculación presenta un muy buen desempeño con el coagulante utilizado que arroje mejor remoción acompañado de una evaluación económica. Muchas veces el pH del agua después del tratamiento con sulfato de aluminio queda por fuera del rango permisible para lo cual se debe contar con una etapa de post-cal para ajustarlo, representando así mayores costos.

2.4. PROTOCOLO PARA EL FUNCIONAMIENTO, CONTROL Y OPERACIÓN DEL NUEVO EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA Y SANEAMIENTO

Se ha establecido un protocolo en cuanto al funcionamiento, operación del equipo de Prueba de Jarras como tal y en cuanto los procesos necesarios de los ensayos para las diferentes determinaciones indicados por la norma RAS-2000 literal C.2.5.1.1, con sus respectivos formatos, que servirán de apoyo tanto en la parte experimental como en la parte de realización de cálculos con los datos obtenidos y organización de resultados. Por otro lado, se dejó establecida una guía de uso, cuidado, mantenimiento y precauciones generales tanto del equipo como en los procesos de laboratorio para la conservación del equipo. Estas guías se apoyan

en la evaluación del equipo como tal y en la evaluación de parámetros de ensayos y determinaciones realizadas en este trabajo. El protocolo consta de lo siguiente:

Manual de instrucciones y recomendaciones previas acerca del equipo y los ensayos de laboratorio codificado por laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, remitirse ANEXO A.

Guías de ejecución de ensayos de pruebas de jarras codificadas oficialmente por laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

- Determinación de dósis óptima de coagulante. Código LBE-SPM-GU-10. remitirse ANEXO B
- Determinación de parámetros de mezcla rápida y mezcla lenta. Código LBE-SPM-GU-11. remitirse ANEXO C
- Determinación de tiempos y velocidad de sedimentación. Código LBE-SPM-GU-12. remitirse ANEXO D

Formatos generales de reporte de resultados de ensayos completos de Prueba de Jarras. Código LBE-SPM-FR-109. remitirse ANEXO E

.

3. CONCLUSIONES

Se Observó altos porcentaje de eficiencia de remoción de turbiedad y color, mostrando que el parámetro de turbiedad obtuvo mejores resultados, evidenciando que los parámetros fisicoquímicos del agua varían en relación con el tiempo climático, ya que la ejecución de los ensayos se realizó en periodo seco por lo cual las muestras presentaron una turbiedad relativamente baja y en compañía del PAC se ajustó este valor con resultados positivos.

No existe una correlación lineal entre la dósis óptima aplicada de coagulante y la turbiedad del agua cruda, dado que en los ensayos experimentales se obtuvo resultados con dosificaciones mayores en muestras de turbiedades bajas, mientras que en turbiedades altas se empleó dosificaciones menores. Con respecto a parámetros del color, inicialmente se encontró un nivel muy alto en comparación a lo aceptable, sin embargo con el proceso no fue posible en la mayoría de los casos obtener un valor admisible, lo que llevó a simular el proceso de filtración para completar parámetros fisicoquímicos con valores ajustados a las normas vigentes colombianas.

La re estabilización de los flóculos y su dificultad para la sedimentación causa Las constantes y pronunciadas variaciones en los resultados ya observados, evidenciando claramente la susceptibilidad a cambios por la delicadeza de los flóculos formados.

El análisis cualitativo de los ensayos son un importante punto de partida para el observador en el diseño de una planta de tratamiento real de cualquier nivel de complejidad, ya que abarcan el desarrollo del floc siendo este el icono central del proceso, lo que definirá el grado de comportamiento de estos tratamientos elementales.

Aunque tanto el sulfato de aluminio como el policloruro de aluminio (PAC) son coagulantes efectivos para el tratamiento de aguas, los resultados obtenidos demostró que el policloruro de aluminio (PAC) trabaja mejor que el sulfato de aluminio dado que el nivel de dosificación es bajo, Produce pocos lodos; no modifica considerablemente el pH, no genera aluminio, Por lo tanto es factibilidad tanto de el punto de vista técnico, ambiental y económico.

Los ensayos ejecutados en este trabajo sirvieron de apoyo en la estructuración de todo el protocolo de funcionamiento y operación del equipo de prueba de jarras, para ejecución de ensayos de academia, estudios reales y futuras investigaciones, ya que dicho equipo tiene amplia aplicación en el campo de la tratabilidad de agua y los respectivos sistemas eficaces de tratamiento.

4. RECOMENDACIONES

Seguir realizando investigaciones que permitan la búsqueda de nuevos productos naturales locales con propiedades coagulantes para facilitar el proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable y a su vez no depender de la producción de los coagulantes químicos en el país. Además, es de vital importancia realizar siempre los respectivos controles del proceso, para poder garantizar la calidad de la fuente y del producto final.

Realizar mantenimiento periódico y calibración de los equipos utilizados en el proceso de potabilización de una forma periódica por personal especializado y así lograr resultados de mayor confiabilidad y óptimo funcionamiento. Estos equipos incluyen al equipo de Prueba de Jarras como a los equipos para realizar las diferentes de terminaciones como turbiedad, color, pH temperatura y alcalinidad.

Realizar una inversión en equipos y material de laboratorio, en general, utilizado dado que es necesario tener un buen control en el sector del agua potable que garantice que los estudios realizados arrojen resultados que aseguren que el agua a suministrar esté libre de impurezas que puedan tener efectos adversos sobre la salud.

Para posteriores análisis de tratabilidad de agua reales del laboratorio de hidráulica y saneamiento, la calidad de la fuente debe conocerse de la manera más completa posible para poder identificar el tipo de tratamiento que necesita y los parámetros principales de interés en período seco y de lluvia, Además, de ser necesario la recolección de un mayor volumen de agua cruda para la realización de los ensayos de una forma repetitiva y así lograr una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.

Importante es evaluar muy bien el protocolo en cuanto al funcionamiento, operación del equipo de Prueba de Jarras como tal y en cuanto los procesos necesarios de los ensayos para las diferentes determinaciones indicados por la norma RAS-2000 literal C.2.5.1.1, con sus respectivos formatos y manual de mantenimiento, cuidado y recomendaciones que se ha establecido en este trabajo, para evitar contratiempos y realizar los ensayos de manera correcta y efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá, Mc Graw Hill y ACODAL, 2000.

ARGAMAN, Y, Pilot Studies of Flocculation, Journal AWWA, año 1971. Pág. 40

Caldera, Yaxcelis; Mendoza, Invan; Briceño, Ligia; Garcia, Juan; Fuentes, Lorena.(2007). "Eficiencia de las semillas de moringa Oleifera como coagulante alternativo en la potabilización del agua". Boletín del centro de investigaciones biológicas. Maracaibo, Venezuela. Universidad del Zulia.

CEPIS. Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe / OPS, 1995 Http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/

LOPEZ MACIAS, Piedad, Manual de Laboratorio de Química Sanitaria I. Facultad de ingeniería, Universidad del Valle, Capitulo 2

MATIZ, A. Soluciones individuales en potabilización de agua, Experiencias en la búsqueda de alternativas sostenibles, Guía para la reflexión y análisis en la toma de decisiones, año 2009

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. República de Colombia. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS. Resolución 1096 del 17 de noviembre de 2000. Santa Fé de Bogotá.

Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución 2115 de 2007

Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000

RODRÍGUEZ, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acuiquímica. Primera Edición. Departamento de publicaciones Escuela Colombiana de Ingenierías, 1996 y segunda edición, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá Colombia, 2002.

SALAZAR CANO**,** Roberto. Plantas de Potabilización, Segunda edición. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Capítulo V

VARGAS LIDIA, Ing." Criterios para la selección de los procesos y de los Parámetros óptimos de las unidades.

ANEXOS