

**ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE TRATABILIDAD PARA LA  
FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE LA PLANTA PALACÉ EN EL MUNICIPIO  
DE POPAYÁN, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

**ANA MILEIDY MUÑOZ SÁNCHEZ  
VIVIANA VALENCIA RENGIFO**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2013**

**ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE TRATABILIDAD PARA LA  
FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE LA PLANTA PALACÉ EN EL MUNICIPIO  
DE POPAYÁN, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

**ANA MILEIDY MUÑOZ SÁNCHEZ  
VIVIANA VALENCIA RENGIFO**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA AMBIENTAL**

**Director  
JAVIER ERNESTO FERNÁNDEZ MERA  
Ingeniero Sanitario, MSc.**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2013**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Director

\_\_\_\_\_  
MSc. Javier Ernesto Fernández Mera

Jurado

\_\_\_\_\_  
MSc. John Calderón Ramírez

Jurado

\_\_\_\_\_  
MSc. Napoleón Zambrano Alfonso

Fecha de sustentación: Popayán, 30 de Septiembre de 2013.

## DEDICATORIA

*Al gran espíritu por guiar siempre mi camino y por permitirme cumplir mis metas.*

*A mi familia por estar pendientes en esta etapa y por sus valiosos consejos.*

*A mis padres, Luis y Patricia pilares fundamentales en mi vida, con mucho amor y cariño, les dedico todo mi esfuerzo, en reconocimiento a todo el sacrificio puesto para que yo pueda estudiar, se merecen esto y mucho más.*

*A mis hermanas Diana y Eliana por ser mis amigas, por su amor, porque sus presencias en mi vida han sido el mejor regalo y por contribuir a hacer realidad este sueño.*

*A Oscar Julián, por su amor, por ser alguien muy especial en mi vida, por motivarme hacer las cosas de la mejor manera y demostrarme que en todo momento cuento con él.*

*A mis amigos por todo lo que compartimos, y*

*A mis maestros por su paciencia y dedicación.*

*A todos ustedes, con amor.*

*Ana Mileidy Muñoz*

*A Dios, por estar conmigo en cada momento de mi vida, fortaleciéndome e iluminándome.*

*A mis padres por brindarme su amor, motivación, consejos y buen ejemplo.*

*A mis familiares por su cariño y apoyo incondicional.*

*Viviana Valencia Rengifo*

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mis agradecimientos a todas aquellas personas que me han acompañado a lo largo de mi carrera, de quienes siempre he recibido apoyo, amor y dedicación.

A mis padres y hermanas por su preocupación y compañía, son mi fuerza para seguir adelante.

A Oscar por tu apoyo, colaboración y amor infinito.

A la universidad del Cauca por ser el centro de enseñanza que inculcó en mi la responsabilidad, el trabajo y la dedicación.

A los docentes del programa de ingeniería ambiental, quienes con su esfuerzo y dedicación lograron transmitirme todo lo necesario para hacer posible esta meta.

Al docente y director de este trabajo, Ingeniero Javier Ernesto Fernández Mera por su disposición y valiosa orientación.

A los jurados del trabajo, por las respectivas recomendaciones y sugerencias para el mejoramiento del mismo

A la empresa Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., en especial al Ingeniero Mauricio Ramírez por la oportunidad, colaboración, apoyo logístico permanente y acompañamiento.

A la auxiliar de laboratorio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán, Mónica Delgado y a los operarios de la planta de tratamiento Palacé por su colaboración y por compartir sus conocimientos y experiencias de vida.

A mis amigos de la universidad, quienes han compartido conmigo todos los sacrificios de esta vida universitaria, en especial a Viviana mi compañera en este trabajo de investigación por su amistad, por los buenos y malos momentos vividos en el transcurso del desarrollo del mismo.

A todas aquellas personas que resultaron involucradas en el desarrollo de este trabajo y estuvieron dispuestas a colaborar.

A todos ustedes, ¡Gracias!

**Ana Mileidy Muñoz Sánchez**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad del Cauca por brindarme las herramientas para crecer íntegramente.

A los docentes del programa de ingeniería ambiental, que me han permitido a través de sus conocimientos crecer intelectualmente.

Al docente y director de este trabajo, Ingeniero Javier Fernández por su valiosa asesoría y dedicación para el desarrollo del mismo.

A los jurados, que con sus respectivas evaluaciones y revisiones han contribuido al mejoramiento de este trabajo.

A Mileidy por haber sido una excelente compañera de tesis y amiga.

A los amigos y compañeros por haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

**Viviana Valencia Rengifo**

## CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN .....	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....	15
2. OBJETIVOS .....	17
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
3. MARCO TEÓRICO .....	18
3.1 CALIDAD DEL AGUA CRUDA .....	18
3.1.1 Características físicas .....	18
3.1.1.1 Turbiedad .....	18
3.1.1.2 Color .....	19
3.1.1.3 Temperatura .....	19
3.1.2 Características químicas .....	19
3.1.2.1 Alcalinidad .....	19
3.1.2.2 Potencial de hidrógeno .....	20
3.2 TEORÍA DE LA COAGULACIÓN DEL AGUA .....	20
3.2.1 Coagulación .....	20
3.2.2 Diagramas de coagulación .....	20
3.2.3 Factores que influyen en la coagulación .....	21
3.2.3.1 Dosis y tipos de coagulantes .....	21
3.2.3.2 pH .....	22
3.2.3.3 Turbiedad y color .....	22
3.2.3.4 Intensidad y tiempo de mezcla rápida .....	23
3.2.3.5 Temperatura .....	24
3.3 FLOCULACIÓN .....	24
3.4 SEDIMENTACIÓN .....	25
3.5 CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN .....	26

3.5.1	Sistemas de simulación del proceso de coagulación-floculación-sedimentación: Prueba de jarras.....	26
3.5.1.1	Determinación de la dosis óptima de coagulante.....	27
3.5.1.2	Determinación de la influencia del pH en la coagulación.....	27
3.5.1.3	Determinación de la eficiencia de la mezcla mediante ensayos de segregación.....	27
3.5.1.4	Determinación de la influencia que la concentración de los coagulantes tiene en la coagulación.....	27
3.5.1.5	Determinación del tiempo y gradientes óptimos de floculación...	28
3.5.1.6	Determinación de la velocidad de sedimentación en las jarras...	28
4.	METODOLOGÍA.....	29
4.1	MARCO CONTEXTUAL, PLANTA DE TRATAMIENTO “PALACÉ”.....	29
4.2	DESARROLLO METODOLÓGICO ESPECÍFICO.....	29
4.2.1	Recolección de muestras.....	30
4.2.2	Etapa 1. Determinación de parámetros óptimos de coagulación.....	30
4.2.2.1	Determinación de la solución madre óptima.....	30
4.2.2.2	Determinación de la dosis óptima.....	31
4.2.2.3	Determinación del pH de coagulación.....	31
4.2.2.4	Tiempo de mezcla rápida.....	32
4.2.3	Etapa 2. Determinación de los parámetros óptimos del proceso de floculación.....	32
4.2.4	Etapa 3. Determinación de los parámetros óptimos del proceso de sedimentación.....	33
4.2.5	Etapa 4. Determinación de la dosis de coagulante empleando los parámetros óptimos de coagulación, floculación y sedimentación.....	33
4.2.6	Etapa 5. Comparación de los parámetros óptimos de tratabilidad para la fuente de abastecimiento de la Planta Palacé haciendo uso de los tres coagulantes y selección del más eficaz.....	33
5.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	34
5.1	CALIDAD DEL AGUA CRUDA.....	34
5.2	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE COAGULACIÓN.....	37
5.2.1	Determinación de la solución madre óptima.....	37
5.2.2	Determinación de la dosis óptima.....	42
5.2.3	Determinación del pH de coagulación.....	44



5.2.4	Tiempo de mezcla rápida .....	47
5.3	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN .....	50
5.4	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN .....	53
5.5	DETERMINACIÓN DE LA DOSIS DE COAGULANTE EMPLEANDO LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN .....	58
5.6	COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE TRATABILIDAD PARA LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE LA PLANTA PALACÉ HACIENDO USO DE LOS TRES COAGULANTES Y SELECCIÓN DEL MÁS EFICAZ .....	60
6.	CONCLUSIONES .....	63
	RECOMENDACIONES .....	65
	BIBLIOGRAFÍA .....	67
	ANEXOS .....	71
	ANEXO 1. FICHAS TÉCNICAS DE COAGULANTES Y EQUIPOS UTILIZADOS	72
	ANEXO 2. MODELO DE TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO .....	74
	ANEXO 3. REGISTRO DE DATOS .....	75
	ANEXO 3.1 Determinación de los parámetros óptimos del proceso de coagulación .....	75
	ANEXO 3.2 Determinación de los parámetros óptimos del proceso de floculación .....	111
	ANEXO 3.3 Determinación de los parámetros óptimos del proceso de sedimentación.....	129
	ANEXO 3.4 Determinación de dosis de coagulante con los parámetros óptimos establecidos.....	144
	ANEXO 4. REGISTRO DE CÁLCULOS .....	152
	ANEXO 4.1 Preparación de soluciones madre de coagulante.....	152
	ANEXO 4.2 Cálculos de eficiencias de remoción de turbiedad mediante el empleo de curvas de sedimentabilidad. ....	153
	ANEXO 5. GRÁFICAS .....	161

ANEXO 5.1. Relación gradiente de velocidad en $s^{-1}$ Vs velocidad de agitación .....	161
ANEXO 5.2 Diagrama de coagulación –Turbiedad para sulfato de aluminio..	162
ANEXO 5.3 Diagrama de coagulación de hierro a 25°C.....	163
ANEXO 6. REGISTRO FOTOGRÁFICO .....	164

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Diferentes modelos del proceso de clarificación por sedimentación.	25
Tabla 2. Secuencia del ensayo de floculación.	32
Tabla 3. Estadísticas descriptivas de los parámetros de calidad de agua cruda del río Palacé evaluada en el periodo de julio de 2012 a mayo de 2013.	34
Tabla 4. Parámetro turbiedad julio 2012 – mayo 2013 (a) y periodo de estudio enero a mayo de 2013 (b).	35
Tabla 5. Parámetro color julio 2012 – mayo 2013 (a) y periodo de estudio enero a mayo de 2013 (b).	36
Tabla 6. Velocidad de sedimentación crítica con diferentes turbiedades del agua cruda para turbiedad residual de 1 NTU para el coagulante sulfato de aluminio líquido.	56
Tabla 7. Velocidad de sedimentación crítica con diferentes turbiedades del agua cruda para turbiedad residual de 1 NTU para el coagulante cloruro férrico.	56
Tabla 8. Velocidad de sedimentación crítica con diferentes turbiedades del agua cruda para turbiedad residual de 1 NTU para el coagulante Trafloc 2F.	56
Tabla 9. Velocidades de sedimentación crítica para obtener turbiedades del agua sedimentada menores a 2 y 1 NTU.	57
Tabla 10. Resumen de los resultados de los parámetros óptimos y las eficiencias obtenidas para los coagulantes en estudio.	60

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Porcentaje de frecuencias de turbiedad (a) y color (b).	36
Figura 2. Determinación de la solución madre óptima para sulfato de aluminio líquido.	37
Figura 3. Determinación de la solución madre óptima para cloruro férrico.	38
Figura 4. Determinación de la solución madre óptima para Trafloc 2F.	39
Figura 5. Determinación de la solución madre óptima para sulfato de aluminio líquido con dosis constante.	40
Figura 6. Determinación de la solución madre óptima para cloruro férrico con dosis constante.	41
Figura 7. Determinación de la solución madre óptima para Trafloc 2F con dosis constante.	41
Figura 8. Determinación de la dosis óptima de coagulante para sulfato de aluminio líquido.	42
Figura 9. Determinación de la dosis óptima de coagulante para cloruro férrico.	43
Figura 10. Determinación de la dosis óptima de coagulante para Trafloc 2F.	44
Figura 11. Determinación del pH óptimo de coagulación para sulfato de aluminio líquido.	45
Figura 12. Determinación del pH óptimo de coagulación para cloruro férrico.	46
Figura 13. Determinación del pH óptimo de coagulación para Trafloc 2F.	47
Figura 14. Determinación del tiempo óptimo de mezcla rápida para el sulfato de aluminio líquido.	48
Figura 15. Determinación del tiempo óptimo de mezcla rápida para el cloruro férrico.	49
Figura 16. Determinación del tiempo óptimo de mezcla rápida	49

para el Trafloc 2F.	
Figura 17. Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para sulfato de aluminio líquido.	50
Figura 18. Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para cloruro férrico.	51
Figura 19. Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para Trafloc 2F.	52
Figura 20. Curvas de sedimentación para distintos niveles del agua cruda para sulfato de aluminio líquido.	54
Figura 21. Curvas de sedimentación para distintos niveles del agua cruda para cloruro férrico.	54
Figura 22. Curvas de sedimentación para distintos niveles del agua cruda para Trafloc 2F.	55
Figura 23. Determinación de dosis óptima de coagulante empleando los parámetros óptimos para sulfato de aluminio líquido.	58
Figura 24. Determinación de dosis óptima de coagulante empleando los parámetros óptimos para cloruro férrico.	59
Figura 25. Determinación de dosis óptima de coagulante empleando los parámetros óptimos para Trafloc 2F.	59

## INTRODUCCIÓN

Las fuentes de agua superficial se encuentran muy influenciadas por las características climáticas de la región, que propician el arrastre de altas concentraciones de material particulado, incorporándole a la corriente aumento de turbiedad, color aparente, materia orgánica, sólidos suspendidos, entre otros (Berón *et al.*, 2000). Para lograr la remoción eficiente de estos parámetros físico-químicos y microbiológicos de manera que cumplan las especificaciones contenidas en las normas que regulan la materia, se hace uso de un conjunto de operaciones y procesos aplicados al agua cruda, conocido como tratamiento de potabilización de agua que se realiza en plantas diseñadas para tal fin y cuyo objetivo principal es suministrar agua segura para los seres humanos.

Para que el diseño de las plantas de tratamiento resulte apropiado, se considera necesario entre otros factores, encontrar los parámetros óptimos de tratabilidad, determinados mediante ensayos a escala de laboratorio, como son: los agentes de coagulación-floculación y los ayudantes de floculación más convenientes aplicados en dosis y concentraciones adecuadas; el pH; los tiempos y gradientes de mezcla rápida y lenta (Título C, RAS 2000), todo esto con la finalidad de garantizar el óptimo funcionamiento de la planta de tratamiento en su operación y garantizar la eficiencia y cumplimiento de los requisitos físico-químicos y microbiológicos que permitan certificar el agua como apta para consumo humano según las normas establecidas, como lo son el Decreto No. 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar los parámetros óptimos de tratabilidad para la fuente de abastecimiento de la Planta Palacé en el Municipio de Popayán, Departamento del Cauca, mediante la realización de pruebas de jarras a nivel de laboratorio, teniendo en cuenta la utilización de tres diferentes agentes de coagulación para evaluar la eficiencia de ellos en los procesos de potabilización de agua cruda, a saber coagulación, floculación y sedimentación.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La planta de potabilización de agua para consumo humano Planta Palacé cuya fuente de abastecimiento es el río Palacé, se encuentra localizada en la Hacienda Río Blanco, en la vía que de Popayán conduce a la vereda El Cabuyo, sobre la cota 1.930.00 msnm. La Planta cuenta con los procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y corrección de pH (Sancllemente, 2004).

La planta se entregó para tratar inicialmente un caudal de 250 l/s con el objetivo de atender por gravedad la demanda de agua de la zona norte y, a mediano plazo busca tratar un caudal de 500 l/s que supla el déficit de la demanda de agua en la zona baja en tiempo seco, de la ciudad de Popayán (Boletín de Prensa, Lunes, 18 de abril de 2011). Sin embargo, el ingeniero Mauricio Ramírez (\*) señaló que actualmente la planta trata un caudal de 150 l/s y se quiere incrementarlo de 180 l/s a 250 l/s, pero al incrementarse el caudal en planta empleando sulfato de aluminio granular como coagulante se han presentado problemas en los procesos del sistema de tratamiento afectando de esta manera la calidad de agua de salida, por lo cual se han ensayado diferentes coagulantes y ayudantes de coagulación y floculación con el fin de aumentar el caudal sin obtener los resultados esperados.

Por otro lado, en los análisis fisicoquímicos de laboratorio realizados para la fuente río Palacé, en el periodo comprendido de julio de 2012 a mayo de 2013 se evidencian valores de color con un mínimo de 10.60 y un máximo de 890.40 UPtCo y valores de turbiedad con un mínimo de 1.90 y un máximo de 1448.00 NTU (Acueducto Y Alcantarillado De Popayán S.A, 2012 - 2013), evidenciándose en la mayoría de los datos obtenidos para este periodo la característica de altos valores de color y bajos de turbiedad, siendo este último parámetro de gran interés ya que las aguas de más difícil coagulación son las que tienen turbiedades menores de 20 NTU, ya sea en presencia de color o no (Arboleda, 2000). Con el fin de solucionar este problema en la planta se han ensayado diferentes coagulantes como lo son sulfato de aluminio granulado tipo b, cloruro férrico, Trafloc 2F, Tecnifloc 2059 y sulfato de aluminio líquido tipo b, además de la aplicación de auxiliares de coagulación y floculación. Es por este motivo que se plantea un estudio que permita determinar los parámetros óptimos de tratabilidad con base en prueba de jarras y definir cuál es el mejor coagulante a utilizar según las condiciones fisicoquímicas del agua cruda que abastece a la planta.

La importancia de este estudio radica en la comparación de tres coagulantes, dos coagulantes metálicos: sulfato de aluminio líquido tipo B y cloruro férrico como

---

(\*) RAMÍREZ, Mauricio. Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P. Popayán, Colombia. observación inédita, 2012.

coagulantes convencionales utilizados en el tratamiento de agua potable, y un coagulante inorgánico compuesto de sales polinucleares de aluminio y cloruro férrico identificado como Trafloc 2F, en los procesos de mezcla rápida, floculación y sedimentación, mediante ensayos a escala de laboratorio por medio de pruebas de jarras, para una misma calidad de agua cruda y en la optimización para tratarla según los resultados obtenidos en esta investigación.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar los parámetros óptimos de tratabilidad para la fuente de abastecimiento de la Planta Palacé en el Municipio de Popayán, Departamento del Cauca, utilizando tres coagulantes primarios y establecer cuál de ellos es el más eficaz para tratar dicha agua.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los parámetros óptimos de tratabilidad para la fuente de abastecimiento de la Planta Palacé, realizando ensayos a escala de laboratorio con los coagulantes: sulfato de aluminio líquido tipo B, cloruro férrico y Trafloc 2F en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación.
- Comparar la eficiencia de los tres coagulantes en el tratamiento del agua cruda y establecer cuál de ellos es el más eficaz para tratar el agua que abastece la Planta Palacé.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 CALIDAD DEL AGUA CRUDA

La calidad del agua depende fundamentalmente del uso que se le vaya a dar, ya sea para consumo humano, industrial, irrigación, crianza de ganado, etc. Cuando se habla de calidad de agua para consumo humano se debe realizar algún tipo de tratamiento que permita cumplir una serie de normas basadas en criterios técnicos que definan las características físicas, químicas y microbiológicas del agua (Ojeda, 2012). El diseño de una planta de tratamiento eficiente y económica requiere un estudio de ingeniería cuidadoso basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones del tratamiento más adecuados y económicos para producir agua de la calidad requerida (Romero, 2005).

Para caracterizar el agua física, química y biológicamente, diversos parámetros conocidos como indicadores de calidad se toman en consideración.

##### 3.1.1 Características físicas

Los principales parámetros utilizados para caracterizar físicamente aguas naturales son el color, la turbidez, la concentración de sólidos en sus diversas fracciones, temperatura, sabor y olor (Herkenhoff, 2008).

###### 3.1.1.1 *Turbiedad*

La turbiedad es la capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso (Arboleda, 2000), puede deberse a la presencia de materias diversas en suspensión, arena, limos, coloides orgánicos, plancton y otros organismos microscópicos en un agua. Estas partículas (de dimensiones variables, desde 10 nm hasta diámetros de orden 0,1 mm) se pueden asociar a tres categorías: minerales, partículas orgánicas húmicas (provenientes de la descomposición o agregación de restos vegetales), y partículas filamentosas (por ejemplo restos de amiantos u otros filosilicatos) (Marín, 2003).

La turbidez del agua cruda puede variar en un rango muy amplio, desde prácticamente cero a varios miles de NTU (Ratnayaka *et al.*, 2009) y suele evolucionar en el mismo sentido al del aporte de aguas de escorrentías al medio hídrico; a su vez provocada por la existencia de precipitaciones, especialmente si estas son de carácter torrencial o se producen en terrenos susceptibles de una fácil erosión (Marín, 2003).

Los valores de turbidez sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, la efectividad de los procesos de coagulación,

sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua (Rodríguez, 2008).

### **3.1.1.2 Color**

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hidrógeno y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, maderas, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales (Rodríguez, 2008).

Cualquiera que sea su origen, el conjunto de compuestos responsables de color, recibe el nombre de sustancias húmicas. Si bien la estructura molecular de dichas sustancias no es bien conocida, se sabe que básicamente contienen carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno en porcentajes variables. Se clasifican en cuatro fracciones: ácido fúlvico, ácido húmico, ácido himatomelánico y carbón húmico (Rodríguez, 2008).

Es muy importante distinguir entre color verdadero y color aparente. El primero es el que existe cuando se ha removido toda la turbiedad por medio de filtración o centrifugación para evitar que ésta quede registrada como color. El segundo es el valor que resulta de medir el color sin remover la turbiedad, lo que no da una indicación muy precisa de las características del agua (Arboleda, 2000).

### **3.1.1.3 Temperatura**

Desde el punto de vista del consumo humano, el agua es más agradable cuanto menor es su temperatura, con un óptimo situado entre 12 °C y 16 °C; una más baja temperatura dificulta la coagulación, sedimentación y filtración de un agua en fase de potabilización. De forma opuesta, una temperatura más alta favorece la esterilización (Marín, 2003).

## **3.1.2 Características químicas**

Desde el punto de vista sanitario, las características químicas del agua son de gran importancia, por la presencia de algunos elementos o compuestos químicos en el agua cruda que puede hacer fracasar el uso de ciertas tecnologías de tratamiento y requerir tratamientos específicos (Di Bernardo, 1993). Se puede citar como características químicas: pH, alcalinidad y la acidez, la dureza, las formas de nitrógeno y compuestos orgánicos (Herkenhoff, 2008).

### **3.1.2.1 Alcalinidad**

La alcalinidad es una medida de la capacidad de un agua para neutralizar un ácido fuerte. En las aguas naturales esta capacidad se puede atribuir a bases como bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, lo mismo que a las especies presentes con frecuencia en pequeñas concentraciones como son silicatos, boratos, amoniaco,

fosfatos y bases orgánicas (Snoeyink y Jenkins, 2002), además éste es uno de los parámetros más importantes en el tratamiento del agua, pues influye directamente en la coagulación o el ablandamiento (Barrenechea, 2004).

El agua debe tener una alcalinidad natural tal, que proporcione la reacción de los coagulantes, si la alcalinidad es baja, la coagulación puede requerir la adición de alcalinizante para ajustar el pH, pero si la alcalinidad y el pH son altos, es probable que haya problemas en este tipo de coagulación. En niveles altos, la alcalinidad puede proporcionar sabor desagradable al agua (Herkenhoff, 2008).

### **3.1.2.2 Potencial de hidrógeno**

Es el término usado universalmente para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas de una solución cualquiera, en este caso del agua (Pérez, 1981).

El pH es importante porque influencia los procesos de tratamiento, tanto los de agua potable como los de agua residual. En la potabilización del agua, interviene en la coagulación-floculación, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión (Pérez, 1981).

## **3.2 TEORÍA DE LA COAGULACIÓN DEL AGUA**

### **3.2.1 Coagulación**

Es el proceso de formación de pequeñas partículas mediante la adición de un coagulante al agua y la aplicación de energía de mezclado, que desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de las cargas de coloides cargados negativamente (Cogollo, 2011). Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, las superficies de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma (Arboleda, 2000).

Actualmente se considera a la coagulación como el resultado de la acción de cuatro mecanismos distintos: Compresión de la capa difusa, Adsorción y Neutralización, de Barrido y Adsorción y formación de puente (Di Bernardo, 1993).

### **3.2.2 Diagramas de coagulación**

Los diagramas de coagulación son herramientas útiles para la planificación, el análisis, la interpretación de los resultados y para predecir las condiciones químicas que gobiernan el proceso en los equipos jar test y plantas piloto (Edwards y Amirtharajah, 1985). Investigaciones efectuadas a finales del siglo XX han desarrollado el diagrama de coagulación con sulfato de aluminio y el diagrama de coagulación con hierro, diagramas sencillos pero efectivos para indicar las condiciones de dosis químicas y pH en que ocurre una efectiva coagulación. Los diagramas pueden ser usados para predecir las condiciones de coagulación:

remoción de turbiedad, remoción de color, filtración directa y selección de unidades de mezcla rápida (Barrenechea, 2004).

Los diagramas de coagulación pueden ser obtenidos a través de ensayos de coagulación, floculación y sedimentación (para una determinada velocidad de sedimentación) o de ensayos de coagulación y filtración, dependiendo del tipo de la tecnología de tratamiento (Di Bernardo, 1993).

### **3.2.3 Factores que influyen en la coagulación**

Los factores que influyen en la coagulación son: dosis y tipos de coagulantes, pH, concentración de coloides o turbiedad, color o concentración de sustancias orgánicas en el agua, intensidad y tiempo mezcla rápida y temperatura del agua (Amirtharajah citado por Arboleda, 2000).

#### **3.2.3.1 Dosis y tipos de coagulantes**

En general, la dosis requerida depende en gran parte del mecanismo de desestabilización. En los casos de baja turbiedad, cuando se necesita un floc de hidróxido voluminoso la dosis requerida tiende a disminuir a medida que la concentración de coloides aumenta. En los casos de alta turbiedad, una buena parte de la desestabilización se lleva a cabo por adsorción y la dosis requerida es menor incrementándose con la concentración de coloides.

Las aguas de baja turbiedad pueden ser coaguladas por otra técnica auxiliar que consiste en la adición de partículas de arcilla para aumentar la turbiedad antes de agregar el coagulante, con lo cual la coagulación se efectúa en buena parte por adsorción y no por barrido requiriéndose así menores dosis de coagulante (Kirchmer, 1977).

En general, los coagulantes los podemos clasificar en dos grupos: los polielectrolitos o ayudas de coagulación y los coagulantes metálicos. Además de la existencia de coagulantes de origen natural (Garcés, 2010; Rodríguez, 2008).

Los polielectrolitos o polímeros son compuestos complejos de alto peso molecular que se utilizan no propiamente como coagulantes sino como ayudantes de coagulación. Se clasifican como catiónicos, aniónicos y no iónicos. La dosificación de estas sustancias se lleva a cabo en concentraciones muy bajas, lo cual es una gran ventaja y compensa el costo del polímero (Restrepo, 2009).

Los coagulantes metálicos típicos son las sales de aluminio y hierro. Las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado. El sulfato de aluminio,  $Al_2(SO_3) \times 14H_2O$  es el coagulante más conocido, denominado también alumbre, éste por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo se usa con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable. Las sales de hierro más conocidas son: el cloruro

férrico  $\text{FeCl}_3$ , el sulfato férrico  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  y sulfato ferroso  $\text{FeSO}_4$ , tienen ventaja sobre las sales de aluminio en algunos casos, porque forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento y porque pueden trabajar con un rango de pH mucho más amplio. Por tanto, se usan cuando el sulfato de aluminio no produce una coagulación adecuada o cuando los sedimentadores están demasiado recargados y resulta económico aumentar el peso del floc para incrementar la eficiencia de ellos (Restrepo, 2009; Arboleda, 2000).

### **3.2.3.2 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 (Cárdenas, 2000).

El rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar, cuando son sales de aluminio y de hierro los coagulantes utilizados, en general el pH óptimo para la coagulación de aguas con color es más bajo (4.0 – 6.0) que para aguas con turbiedad donde el pH óptimo fluctúa entre (6.5 – 8.5). Regularmente las sales férricas son efectivas en un rango mucho más amplio de pH que las sales de aluminio (Barrenechea, 2004).

En la literatura no hay consenso sobre un rango específico de pH óptimo para la coagulación, sin embargo autores como Cárdenas (2000) sugiere valores pH's entre 6.5 a 8.0 para sales de aluminio y de 5.5 a 8.5 para sales de hierro mientras que Matiailen, *et al.* (2010) sugiere valores de 5.0 a 6.5 (con dosis de alumbre entre 5 y 100 mg de Al/l) y de 4.5 a 6.0, para coagulación con hierro.

### **3.2.3.3 Turbiedad y color**

La remoción de turbiedad es fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo, sin embargo, cuando se presenta concentración de coloides bajas la coagulación es más difícil. Además si la alcalinidad es baja, la coagulación por medio de captura se dificulta, ya que el pH disminuye al agregar el coagulante y no permite la formación de hidróxidos. Así mismo, la coagulación por medio de adsorción también es difícil, ya que la concentración coloidal es demasiado baja para permitir el contacto interparticular. Para realizar una coagulación efectiva, deberá agregarse alcalinidad adicional y/o bentonita o preferentemente arcilla (Barrenechea, 2004).

Las sustancias húmicas son de gran importancia porque aportan color a las aguas naturales y son el componente mayoritario del carbono orgánico disuelto. Recientemente se ha determinado que estas sustancias, y en general la materia orgánica presente en las aguas naturales, son precursoras en la formación de subproductos generados en la desinfección con cloro; es por eso que al no ser

removidas eficientemente en las operaciones y procesos previos a la desinfección con cloro libre dan origen a sustancias orgánicas halogenadas, como los trihalometanos, que son reconocidos como potencialmente cancerígenos en humanos.

Kin *et al.* citado por Camargo y Cruz (2011), estudiaron el comportamiento de las sustancias húmicas y su remoción en la planta de tratamiento de Chattahoochee (Georgía) y determinaron que las condiciones óptimas para la remoción de turbiedad y sustancias húmicas están controladas por la presencia de sustancias húmicas y no por la turbiedad.

#### **3.2.3.4 Intensidad y tiempo de mezcla rápida**

La mezcla rápida es una operación empleada en el tratamiento del agua realizada antes del proceso de floculación para la dispersión inmediata del coagulante a través de la masa de agua cruda e iniciar el proceso de aglutinación de partículas. Este proceso depende de diversos factores como la concentración de la sal en la solución de coagulante, la dosis de coagulante, la concentración y el tamaño de las partículas, la temperatura, el constituyente iónico de la solución, y las condiciones del flujo turbulento (O' Melia, *et al.*, 1999 citado por Munar y Solís, 2006).

Para lograr ésto, es necesario agitar el agua violentamente e inyectar la sustancia química en la zona más turbulenta para asegurar su dispersión uniforme y rápida. (Huisman *et al.*, 1988). Turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como: resaltos hidráulicos en canales, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipo de mezcla rápida (Romero, 2005).

La cantidad de energía disipada y el tiempo de retención requerido para dispersar los químicos no están aún bien definidos. En la literatura existen recomendaciones para los parámetros de mezcla rápida: algunos autores sugieren mezcla instantánea basándose en la teoría del contacto desestabilización, otros recomiendan tiempo de mezcla de unos pocos minutos (Yu *et al.*, 2011). ASCE *et al.*, citado por Rossini, García y Galluzza (1998) afirman que no hay valores exactos para establecer la potencia de mezcla y el tiempo de residencia requerido para que los coagulantes se dispersen en el agua. Según Amirtharajah citado por Martín *et al.* (2008) la coagulación por adsorción-neutralización requiere de tiempos inferiores a 1s y la coagulación por barrido requiere entre 1 y 7s.

El grado de intensidad de la mezcla está definido por el gradiente medio de velocidad  $G$  establecido como:

$$G = \left( \frac{P_w}{\mu V} \right)^{1/2}$$

Donde  $P_w$ : energía disipada en el agua (watts), V: volumen de líquido donde la energía es disipada ( $m^3$ ), y  $\mu$ : viscosidad dinámica absoluta del líquido ( $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ ).

Para mezcla por coagulación por barrido, la experiencia indica que se pueden seleccionar gradientes (G) de 400 - 800  $s^{-1}$ . Con coagulación por adsorción-neutralización los gradientes aconsejables están entre 700 y 1000  $s^{-1}$  para retromezcladores y entre 3000 y 5000 para mezcladores en línea. Sin embargo, los valores óptimos de G y t dependen de la composición del agua y de la naturaleza y cantidad de coloides presentes en la misma (Martín *et al.*, 2008).

### **3.2.3.5 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 (Cárdenas, 2000).

Vik y Eikebrokk citado por Xiao *et al.* (2009) sugieren que malas condiciones de la mezcla rápida causados por el aumento de la viscosidad a baja temperatura pueden provocar un rendimiento deficiente de coagulación. Además genera dificultades de sedimentación del floc en las unidades de decantación (Cárdenas, 2000).

## **3.3 FLOCULACIÓN**

La floculación es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides se provee de una mezcla suave a las partículas, mediante agitación lenta prolongada, durante la cual éstas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad (Romero, 2005) con el fin de sedimentar con facilidad.

Fundamentalmente en la floculación deben considerarse tres características esenciales: gradiente de velocidad, tiempo de detención y forma de producir la agitación (Cepis, 1973). Cada gradiente de velocidad se optimiza con un tiempo de retención específico. La máxima eficiencia se obtiene con un desarrollo decreciente de gradientes. El rango de gradientes óptimos para floculación varía entre 70  $s^{-1}$  y 20  $s^{-1}$  y tiempos de detención entre 20 y 40 minutos (Titulo C, RAS, 2000). Estudios han demostrado que al aumentar la velocidad de agitación lenta el tamaño de flóculos en estado estacionario disminuyó (Yu *et al.*, 2011). También, la permanencia del agua en el floculador durante un tiempo inferior o superior al óptimo produce resultados inferiores, tanto más acentuados cuanto más se aleje este del tiempo óptimo de floculación (Cánepa, 2004).

La floculación puede presentarse mediante dos mecanismos: floculación ortocinética y pericinética, según sea el tamaño de las partículas desestabilizadas.



Las partículas pequeñas (<1µm) están sometidas a floculación pericinetica, motivada por el movimiento browniano, mientras que las que presentan un tamaño mayor, están afectadas principalmente por el gradiente de velocidad del líquido, predominando en ella la floculación ortocinética (Cárdenas, 2000).

### 3.4 SEDIMENTACIÓN

Es la remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de gravedad y que tienen una velocidad de caída o de sedimentación tal que pueden llegar al fondo del sedimentador, empleando un tiempo de retención adecuado. Estos sólidos están constituidos generalmente por arenas, limos y coloides agrupados mediante las etapas anteriores de coagulación y floculación. La velocidad de sedimentación de los flóculos depende fundamentalmente de la calidad del agua cruda, de las características químicas de la coagulación y de los parámetros físicos de la floculación (Cogollo, 2011; Di Bernardo, 1993).

En un sentido amplio, el término sedimentación comprende un grupo de acciones diferentes según el tipo y concentración de sólidos o partículas en suspensión, las cuales se pueden resumir de la siguiente forma (Arboleda, 2000):

Tabla 1. Diferentes modelos del proceso de clarificación por sedimentación.

Tipo de clarificación por sedimentación.	Características de los sólidos en suspensión.	Descripción del proceso.	Ejemplos.
1	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas	No hay interacción entre las partículas y el resto del fluido.	Movimiento de sedimentación de partículas en desarenadores o presedimentadores
2	Partículas aglomerables en soluciones relativamente diluidas.	Las partículas se aglomeran agrupándose en partículas de mayor tamaño.	Sedimentación de flocs en decantadores horizontales o de placas.
3	Soluciones de concentración intermedia.	Las partículas interfieren entre sí en su descenso manteniendo posiciones estables.	Deposición de lodos en decantadores de flujo ascendente.
4	Soluciones de alta concentración.	Se forma una estructura entre las partículas que va modificándose	Compactación de depósitos de lodos

Fuente: Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo I. Arboleda 2000

Cabe destacar que para el modelo de clarificación tipo 1 los sólidos o partículas son idealizadas como discretas y aisladas, o sea, no cambian de densidad, tamaño o

forma al descender en el líquido. En cambio, en el modelo de clarificación tipo 2 los sólidos o partículas son pensadas como aglomerables y al descender se adhieren o aglutinan entre sí cambiando de tamaño, forma y peso específico durante la caída. En la clarificación tipo 3 y tipo 4 es el comportamiento conjunto de los sólidos lo que se analiza, debido a las interferencias mutuas entre partículas que hace que estas formen un manto de lodos que flota en el líquido (Arboleda, 2000).

### **3.5 CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN**

La coagulación – floculación del agua constituye el proceso básico que determina en gran parte las condiciones de operación de la planta de tratamiento. De aquella depende casi por completo la mayor o menor eficiencia del proceso subsiguiente: el de la separación de sólidos por sedimentación y filtración. La remoción de turbiedad en los sedimentadores y en los filtros así como la calidad del agua que se obtenga de ellos, se relacionan directamente con la manera como las partículas sean desestabilizadas y con la intensidad de las fuerzas que las aglutinan. Por tanto, el cuidadoso control del proceso de coagulación – floculación, debe constituir una de las principales preocupaciones en la operación de plantas de tratamiento (Arboleda, 2000).

#### **3.5.1 Sistemas de simulación del proceso de coagulación-floculación-sedimentación: Prueba de jarras**

Estos sistemas consisten en simular en vasos de precipitado o jarras el proceso de coagulación que se produce en la planta de tratamiento y evaluar distintos parámetros durante o al final de los ensayos para caracterizar su funcionamiento (Titulo C, RAS 2000). Las pruebas de jarras pueden utilizarse tanto para controlar la coagulación – floculación de una planta de tratamiento existente como para obtener los datos de diseño para el proyecto de nuevas unidades (Cepis, 1973).

Con los sistemas de simulación se pueden determinar los siguientes parámetros:

- Determinación de dosis óptima
- Determinación de la influencia del pH en la coagulación.
- Determinación de la eficiencia de la mezcla mediante ensayos de segregación.
- Determinación de la influencia que la concentración de los coagulantes tiene en la coagulación.
- Determinación del tiempo y gradientes óptimos de floculación.
- Determinación de la velocidad de sedimentación en las jarras (Arboleda, 2000).

### **3.5.1.1 Determinación de la dosis óptima de coagulante**

El objetivo de este ensayo es poder determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales y que hace que se forme un floc pesado y compacto que quede fácilmente retenido en los sedimentadores y no se rompa al pasar por el filtro. El floc que se busca es aquel que da el mayor rendimiento en el conjunto de los procesos de clarificación (Arboleda, 2000).

### **3.5.1.2 Determinación de la influencia del pH en la coagulación**

El objetivo de esta prueba es determinar el rango de pH óptimo que caracteriza la muestra estudiada, el cual varía según el agua y los reactivos empleados (Arboleda, 2000). El valor de pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto sobre el proceso de coagulación; de acuerdo con Haney citado por Granados (2007) 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, ya que según Arboleda (2000) existe una zona de pH donde se produce una buena floculación en corto plazo y con una dosis dada de coagulante. Por lo general existe un pH óptimo, valores por encima o por debajo de dicho pH óptimo produce malos resultados.

### **3.5.1.3 Determinación de la eficiencia de la mezcla mediante ensayos de segregación**

El objetivo del presente ensayo es el de conocer cualitativamente hasta qué punto el fenómeno de segregación afecta la eficiencia de la coagulación de un agua y, por tanto, cuán crítica es la rapidez con que se haga la dispersión de los coagulantes (Arboleda, 2000).

### **3.5.1.4 Determinación de la influencia que la concentración de los coagulantes tiene en la coagulación**

El objetivo del presente ensayo es el de determinar la concentración de la solución de coagulantes que dé los mejores resultados en la planta de tratamiento (Arboleda, 2000).

Estudios investigativos han demostrado que la concentración de la solución de coagulantes influye en la eficiencia de la mezcla rápida y cambia los resultados de la coagulación (Arboleda, 2000). Si se suministra una buena turbulencia se consigue una mejor dispersión cuanto más diluida sea la solución, lo que resultará en una mejor remoción de la turbiedad porque el coagulante entrará más rápido y más fácilmente en contacto con el mayor número de partículas coloidales. Sin embargo, las soluciones muy diluidas tienden a hidrolizarse muy rápidamente antes de su aplicación formando productos que no son muy efectivos en la coagulación. Se sugieren valores del orden de 1 a 2% como ideales para adoptar en el proyecto o en la operación de la planta de tratamiento (Barrenechea, 2004).

#### **3.5.1.5 Determinación del tiempo y gradientes óptimos de floculación**

El objetivo de este ensayo es el de conocer la intensidad y tiempo que debe dársele a la mezcla durante el proceso de floculación a fin de optimizar la remoción de partículas durante el proceso de sedimentación (Arboleda, 2000).

#### **3.5.1.6 Determinación de la velocidad de sedimentación en las jarras**

El objetivo del presente ensayo es poder comparar los resultados obtenidos con dos o más jarras en la prueba de floculación, evaluándolos no solamente desde el punto de vista de turbiedad residual, sino de la diferente velocidad de sedimentación que tiene las partículas producidas (Arboleda, 2000).

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 MARCO CONTEXTUAL, PLANTA DE TRATAMIENTO “PALACÉ”

La planta de tratamiento “Palacé” se encuentra ubicada en la hacienda Río Blanco, en la vía que de Popayán Conduce a la vereda de El Cabuyo, sobre la cota 1.930.00 msnm y se abastece de la fuente río Palacé.

La planta potabilizadora es de tipo convencional que actualmente trata un caudal de 150 l/s y atiende por gravedad la demanda de agua de la zona norte de la ciudad de Popayán. Cuenta con los procesos de mezcla rápida y medida de flujo en Canaleta Parshall, floculación hidráulica del tipo “Cox” de flujo helicoidal con variación del gradiente de velocidad en los orificios de paso entre cámaras de floculación, compuesta de cuatro (4) unidades con capacidad para 125 l/s cada una y periodo de detención de 25 minutos, un sistema de sedimentación de cuatro (4) tanques con capacidad de 125 l/s cada uno, para una carga superficial neta de 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día, es un sistema laminar o de “alta tasa” mediante el uso de placas planas de asbesto cemento inclinadas 60° con relación a la horizontal, 5 unidades de filtración rápida de gravedad, con lecho profundo de antracita y arena de velocidad variable declinante, desinfección con cloro en tanque de contacto y corrección de pH mediante adición de cal (Sanclemente, 2004).

Utilizan como solución coagulante sulfato de aluminio granular tipo B (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·14H<sub>2</sub>O) que es almacenado en el cuarto de dosificación. El sistema de dosificación en seco se realiza mediante una tolva.

### 4.2 DESARROLLO METODOLÓGICO ESPECÍFICO

El estudio fue realizado dentro de las instalaciones de la Planta de abastecimiento de agua potable zona norte “Planta Palacé” del municipio de Popayán, mediante prueba de jarras a nivel de laboratorio.

Se evaluó la fuente de abastecimiento río Palacé determinándose los parámetros físico-químicos de turbiedad, color, pH, alcalinidad y temperatura, y posteriormente se determinaron los parámetros óptimos de tratabilidad relacionados con el proceso de coagulación, floculación y sedimentación, con ensayos a escala de laboratorio con tres coagulantes diferentes, a saber: sulfato de aluminio líquido tipo B Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·14H<sub>2</sub>O, cloruro férrico FeCl<sub>3</sub> y Trafloc 2F.

El estudio para la fuente río Palacé fue desarrollado por etapas, la primera comprendió los estudios de la determinación de los parámetros óptimos de tratabilidad relacionados con el proceso de coagulación (solución madre, dosis, pH y tiempo de mezcla rápida); la segunda etapa abarcó lo concerniente al proceso de

floculación (gradientes de velocidad y tiempos de floculación); la tercera comprendió el proceso de sedimentación (velocidades de sedimentación y fracciones remanentes de turbiedad); la cuarta etapa en la que se determinó nuevamente la dosis de los coagulantes empleando los parámetros óptimos de coagulación, floculación y sedimentación y por último la quinta etapa en la que se compararon los resultados de los estudios de tratabilidad con los diferentes coagulantes y se determinaron los parámetros óptimos de tratabilidad para la fuente de abastecimiento de la Planta Palacé según el coagulante a utilizar, así como se determinó el coagulante más adecuado a utilizar en planta.

Las pruebas de jarras se desarrollaron en un equipo E & Q floculador. Para la medición de turbiedad se empleó un turbidímetro HACH 2100 Q, para color un espectrofotómetro Spectroquant NOVA 60 y para la medición de pH se empleó un pHmetro ORION Modelo 720 A. Las fichas técnicas de cada uno de los equipos y coagulantes utilizados se presenta en el Anexo 1.

Para la determinación de la alcalinidad total se utilizó el método titulométrico con solución titulante de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 0.02 N y para la medición de la temperatura un termómetro de mercurio de 50°C.

#### **4.2.1 Recolección de muestras**

Se recolectaron muestras de agua cruda de la fuente del río Palacé para ser evaluadas directamente en planta, determinando en tiempo real sus características fisicoquímicas y garantizando una representatividad de las muestras. El punto de muestreo se localizó en la cámara de llegada que transporta el agua cruda a la canaleta Parshall (Anexo 6).

Las muestras fueron recolectadas en un recipiente plástico (volumen 50 litros), limpio y rotulado que se transportó inmediatamente al laboratorio para efectuar su análisis.

#### **4.2.2 Etapa 1. Determinación de parámetros óptimos de coagulación**

Se determinaron los parámetros óptimos referentes al proceso de coagulación por medio de pruebas de jarras, las cuales arrojaron resultados de: dosis óptimas, pH's óptimos de coagulación, concentraciones óptimas de la solución madre de coagulante, y tiempos de mezcla rápida para cada uno de los tres coagulantes estudiados.

##### **4.2.2.1 Determinación de la solución madre óptima**

Se evaluaron soluciones con concentraciones de 1, 2, 3, 5, 7 y 10% volumen/volumen (V/V) para determinar la solución madre óptima de los coagulantes en estudio: sulfato de aluminio líquido tipo B ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ ) al 50%

V/V de concentración, cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) al 42% V/V y Trafloc 2F al 20% V/V. Los cálculos de su preparación se presentan en el Anexo 4.1.

La prueba de jarras se realizó variando la dosis de coagulante en cada jarra en un rango de 10 a 60 mg/l para cada una de las soluciones madre de los coagulantes cloruro férrico y Trafloc 2F y dosis de 10 a 80 mg/l para el coagulante sulfato de aluminio líquido tipo B.

Los parámetros de tratabilidad considerados fueron: gradiente y tiempo de mezcla rápida (300 RPM y 60 segundos), gradiente de velocidad y tiempo de mezcla lenta (40 RPM y 20 minutos) y tiempo de sedimentación (20 minutos).

Una vez culminados los ensayos de pruebas de jarras para cada una de las concentraciones de solución madre para cada coagulante, se evaluaron las condiciones finales de cada jarra con relación al pH residual, turbiedad y color residual. El criterio de selección se basó en el reporte de las mayores eficiencias de remoción de color y turbiedad al final del proceso de sedimentación.

Con el fin de tener una mayor certeza para la selección de la concentración de la solución madre óptima y con los resultados anteriormente obtenidos, se realizaron ensayos en donde se varió la concentración de la solución madre en cada una de las seis jarras y se aplicó una dosis constante de coagulante.

#### **4.2.2.2 Determinación de la dosis óptima**

Una vez determinada la solución madre óptima se establecieron rangos de dosis de coagulante a adicionar según los resultados anteriormente obtenidos y se procedió a realizar la prueba de jarras utilizando los mismos parámetros de tratabilidad en la determinación de la solución madre óptima. Según los resultados se seleccionó un rango óptimo de dosis con el fin de llegar a un valor óptimo específico para cada uno de los coagulantes. Una vez culminadas las pruebas de jarras se evaluaron las condiciones de las muestras de cada una de las jarras con relación al pH residual, turbiedad y color remanente. El criterio de selección de éste se basó en el reporte de las mayores eficiencias de remoción de turbiedad y color al final del proceso de sedimentación.

#### **4.2.2.3 Determinación del pH de coagulación**

Determinada la concentración de la solución madre y la dosis óptima, se procedió a estudiar un rango de pH comprendido entre 6.5 y 9.0, con el fin de encontrar el pH óptimo de coagulación. Para ello se ajustaron los pH de las muestras de agua cruda a este rango con solución de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) al 0.1 N o solución de cal al 10% de acuerdo a los requerimientos del caso.

Se realizó la prueba de jarras de manera convencional con la concentración de solución madre y dosis óptimas determinadas y aproximando el pH en cada una de las seis jarras (6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5 y 9.0 respectivamente), al finalizar la prueba se

determinó el rango de pH de coagulación óptimo, el cual fue seleccionado de acuerdo con los resultados de eficiencias de remoción de turbiedad y color.

#### 4.2.2.4 *Tiempo de mezcla rápida*

Una vez ajustados los parámetros anteriores se hicieron pruebas para determinar el tiempo de mezcla rápida, las cuales se realizaron con la solución madre, pH y dosis óptimas determinadas. Para estudiar el tiempo de mezcla rápida se adicionó la dosis de coagulante en cada jarra con un intervalo de 10 segundos de diferencia en cada una de las 6 jarras que componen la prueba con el fin de obtener diferentes tiempos de mezcla rápida (10, 20, 30, 40, 50 y 60 segundos respectivamente). Al final de la prueba se determinó el mejor tiempo de mezcla rápida, según los resultados obtenidos con las mayores eficiencias de remoción de color y turbiedad, procedimiento que se realizó para cada uno de los tres coagulantes.

#### 4.2.3 **Etapa 2. Determinación de los parámetros óptimos del proceso de floculación**

Para esta fase se utilizaron los parámetros óptimos obtenidos para el proceso de coagulación (dosis, solución madre, pH y tiempo de mezcla rápida) determinados en las pruebas anteriores, con estas variables se efectuó la mezcla rápida, al finalizarla se inició el proceso de floculación, variando la velocidad de rotación de 20 RPM ( $13 \text{ s}^{-1}$ ) a 50 RPM ( $40 \text{ s}^{-1}$ ), los gradientes de mezcla se estimaron con las curvas que relacionan los gradientes de velocidad en  $\text{s}^{-1}$  Vs revoluciones por minuto (Anexo 5.1). Para cada gradiente se emplearon tiempos de floculación comprendidos en un rango de 5 a 60 minutos, usando intervalos de 5 minutos en cada jarra, este procedimiento se realizó para cada uno de los coagulantes considerados. Al finalizar las pruebas y evaluar cada una de las características de las muestras, se determinó el gradiente y el tiempo óptimo de floculación con base en las eficiencias de remoción de turbiedad y color para cada coagulante.

Una vez fijados estos parámetros se procedió al montaje de la prueba siguiendo la secuencia presentada en la siguiente tabla:

Tabla 2. Secuencia del ensayo de floculación

<b>Tiempo (minutos)</b>		<b>Acción por ejecutar</b>
Prueba de Jarras N°1	Prueba de Jarras N°2	
0	0	Comienza la floculación al gradiente seleccionado
5	35	Se levanta el agitador de la jarra N°1
10	40	Se levanta el agitador de la jarra N°2
15	45	Se levanta el agitador de la jarra N°3
20	50	Se levanta el agitador de la jarra N°4
25	55	Se levanta el agitador de la jarra N°5 y se toma muestra de la jarra N°1
30	60	Se levanta el agitador de la celda N°6 y se toma muestra de la jarra N°2
35	65	Se toma muestra de la jarra N°3
40	70	Se toma muestra de la jarra N°4
45	75	Se toma muestra de la jarra N°5
50	80	Se toma muestra de la jarra N°6



#### **4.2.4 Etapa 3. Determinación de los parámetros óptimos del proceso de sedimentación**

En esta fase se efectuó la prueba de jarras convencional, empleando los parámetros óptimos de coagulación y floculación determinados en los procesos anteriores. Culminado el proceso de floculación se detuvo el equipo y se tomaron muestras a una profundidad de 10 cm empleando rangos de tiempos de sedimentación comprendidos entre 5 y 60 minutos, usando intervalos de 5 minutos en cada jarra. Posteriormente se realizó la curva de sedimentabilidad, graficada con los resultados obtenidos de la caracterización de las muestras de sobrenadante, para cada uno de los tres coagulantes estudiados, teniendo como referencia el parámetro de turbiedad y la velocidad de sedimentación.

#### **4.2.5 Etapa 4. Determinación de la dosis de coagulante empleando los parámetros óptimos de coagulación, floculación y sedimentación**

En esta fase se efectuó la prueba de jarras variando la dosis de coagulante en un rango de 10 a 60 mg/l, variando la dosis en un rango de 10 mg/l en cada jarra, empleando los parámetros óptimos determinados en las fases de coagulación, floculación y sedimentación para cada coagulante, con el fin de llegar a un rango óptimo de dosis para cada uno de los coagulantes. Una vez culminadas las pruebas se evaluaron las condiciones de las muestras de cada una de las jarras con relación al pH residual, turbiedad y color remanente. El criterio de selección de éste se basó en el reporte de las mayores eficiencias de remoción de turbiedad y color al final del proceso de sedimentación.

#### **4.2.6 Etapa 5. Comparación de los parámetros óptimos de tratabilidad para la fuente de abastecimiento de la Planta Palacé haciendo uso de los tres coagulantes y selección del más eficaz**

Se analizaron los resultados obtenidos en las distintas pruebas de jarras realizadas mediante la comparación de las eficiencias de remoción de color y turbiedad que se registraron para los tres tipos de coagulantes, determinando los parámetros óptimos de tratabilidad para cada uno de ellos y finalmente se determinó el coagulante que mejor se ajusta a la calidad del agua cruda que abastece la planta Palacé.

## 5. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 CALIDAD DEL AGUA CRUDA

En la tabla 3 se presentan las estadísticas descriptivas, analizadas mediante el programa IBM SPSS Statistics versión 20, de los parámetros turbiedad, color, alcalinidad, pH y temperatura para la fuente río Palacé en el periodo comprendido entre los meses de julio de 2012 a mayo de 2013, parámetros medidos en su mayoría por el auxiliar de laboratorio del Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P., incluyéndose además los determinados en el presente estudio.

Tabla 3. Estadísticas descriptivas de los parámetros de calidad de agua cruda del río Palacé evaluada en el periodo de julio de 2012 a mayo de 2013.

Parámetro	Media	Desviación estándar	Rango	Valor máximo	Valor mínimo	Numero de datos
Turbiedad (NTU)	17.85	85.73	1446.10	1448.00	1.90	363
Color (UPtCo)	51.52	68.24	879.80	890.40	10.60	339
Alcalinidad (mg/l de CaCo <sub>3</sub> )	40.87	10.47	44.80	61.00	16.20	166
pH	-	-	3.30	8.40	5.10	362
Temperatura (°C)	15.20	0.87	4.00	18	14	110

Los resultados obtenidos para la desviación estándar indican que hay una variabilidad significativa para los parámetros de turbiedad y color durante el periodo de estudio, reflejando un comportamiento no uniforme de la calidad del agua cruda, como el presentado por los valores máximos y mínimos registrados que ocasionan que la media de los datos no sea representativa del estado de la misma, estos valores máximos y mínimos no necesariamente son permanentes y estables, es decir, valores máximos como éstos pueden durar sólo horas después de las cuales descienden lentamente hasta alcanzar valores más estables. Los valores más altos de turbiedad y color se suelen presentar en épocas de invierno así como consecuencia de eventos aislados como por ejemplo lluvias río arriba de la bocatoma en veranos fuertes, tiempo donde predominan las turbiedades y colores más bajos.

Los parámetros de alcalinidad y temperatura presentaron un comportamiento más estable en el periodo de estudio según su desviación estándar.

En las tablas 4 y 5 se presentan las frecuencias y porcentajes de los parámetros de turbiedad y color, al ser éstos los parámetros de interés de estudio por la característica que presenta el agua cruda de la fuente río Palacé que son altos valores de color y bajos de turbiedad.

La tabla 4a presenta un resumen de los valores registrados para turbiedad en el periodo de julio de 2012 a mayo 2013 y la tabla 4b un resumen de los valores registrados para turbiedad en el periodo en el que se desarrolló el presente estudio, en los meses de enero a mayo de 2013.

Tabla 4. Turbiedad julio 2012- mayo 2013 (a) y Turbiedad periodo de estudio enero a mayo 2013 (b)

Rango turbiedad (NTU)	frecuencia	porcentaje	porcentaje acumulado	Rango turbiedad (NTU)	frecuencia	porcentaje	porcentaje acumulado
0 - 5	187	51.5	51.5	0 - 5	34	30.9	30.9
6 - 10	94	26	77.4	6 - 10	37	33.6	64.5
11 - 15	21	6	83.2	11 - 15	10	9.1	73.6
16 - 20	20	6	88.7	16 - 20	12	10.9	84.5
21 - 30	17	5	93.4	21 - 30	8	7.3	91.8
31 - 50	10	3	96.1	31 - 50	4	3.6	95.5
51 - 80	6	2	97.8	51 - 80	1	0.9	96.4
>80	8	2	100.0	>80	4	3.6	100.0
Total	363	100.0		Total	110	100.0	

En la tabla 4a se puede apreciar cómo la mayoría de datos (51.5%) de turbiedad se encuentra entre 0 y 5 NTU, mientras que en la tabla 4b la mayoría de datos de turbiedad (33.6%) se encuentra entre 6 y 10 NTU, seguido por un porcentaje de 30.9% que corresponde a datos de turbiedad entre 0 y 5 NTU, siendo un porcentaje considerable de datos y que está en concordancia con los que se reportan en la tabla 4a, por tanto se puede decir que el estudio realizado interpreta de manera acertada el parámetro turbiedad.

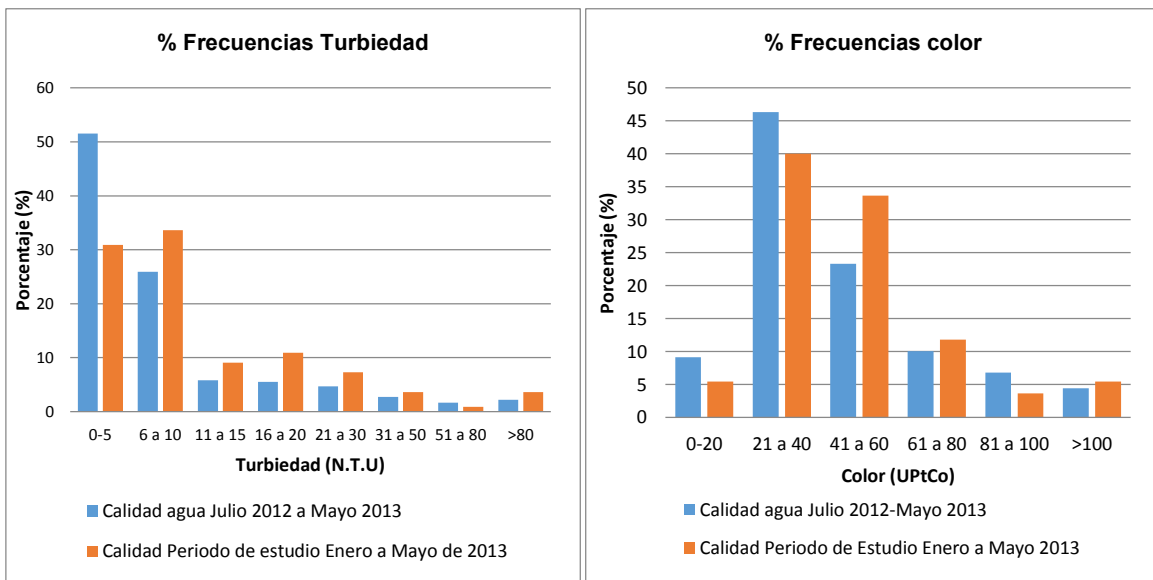
Las tablas 5a y 5b presentan un resumen de los valores registrados para color en el periodo de julio de 2012 a mayo 2013 y en el periodo en el que se desarrolló el presente estudio, meses de enero a mayo de 2013, respectivamente.

Tabla 5. Color julio 2012- mayo 2013 (a) y Color periodo de estudio enero a mayo 2013 (b)  
a) b)

Rango color (UPtCo)	frecuencia	porcentaje	porcentaje acumulado	Rango color (UPtCo)	frecuencia	porcentaje	porcentaje acumulado
0-20	31	9.1	9.1	0-20	6.0	5.5	5.5
21 a 40	157	46.3	55.5	21 a 40	44.0	40.0	45.5
41 a 60	79	23.3	78.8	41 a 60	37.0	33.6	79.1
61 a 80	34	10.0	88.8	61 a 80	13.0	11.8	90.9
81 a 100	23	6.8	95.6	81 a 100	4.0	3.6	94.5
>100	15	4.4	100.0	>100	6.0	5.5	100.0
Total	339	100.0		Total	110.0	100	

En la tabla 5a se puede apreciar como la mayoría de datos (46.3%) de color se encuentra entre 21 a 40 UPtCo, y un porcentaje (4.4%) es para datos que corresponde a colores mayores de 100 UPtCo, igual sucede en la tabla 5b donde la mayoría de los datos de color (40%) se encuentra entre 21 a 40 UPtCo, y solo un porcentaje (5.5%) fue para datos de color mayor a 100 UPtCo, por lo cual los datos de color con los que se desarrolló el presente estudio interpretan de manera acertada este parámetro.

En la figura 1 se presenta la comparación de las frecuencias de calidad de agua cruda (parámetros turbiedad y color) obtenidas en los dos periodos anteriormente considerados con el fin de determinar la representatividad de este estudio.



a) b)  
Figura 1. Porcentaje de frecuencias de Turbiedad (a) y Color (b)

El mayor porcentaje de datos de turbiedad está dentro del rango de 0 a 10 NTU tanto para el periodo de estudio (enero a mayo de 2013) como para el periodo comprendido entre julio de 2012 a mayo de 2013 tal como se evidencia en la figura 1a, de igual forma ocurre con el parámetro color (Figura 1b) para el cual el mayor porcentaje de datos está en el rango de 21 a 40 UPtCo para los dos periodos considerados, por tanto los datos con los que se desarrolló el presente estudio sí representan las condiciones de calidad de agua cruda de la fuente río Palacé dándole confiabilidad a éste estudio.

## 5.2 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE COAGULACIÓN

Los resultados obtenidos del proceso de coagulación se vieron influenciados por la calidad del agua cruda de la fuente y el coagulante utilizado. A continuación se presentan los resultados de la determinación de la solución madre de coagulante, la dosis óptima, pH de coagulación y tiempo de mezcla rápida para cada uno de los coagulantes considerados en el estudio.

### 5.2.1 Determinación de la solución madre óptima

En las figuras 2 a 4 se presentan los resultados obtenidos al realizar pruebas de jarras variando la concentración de la solución madre y la dosis de coagulante aplicada para los parámetros turbiedad y color en la determinación de la solución madre óptima para cada uno de los tres coagulantes.

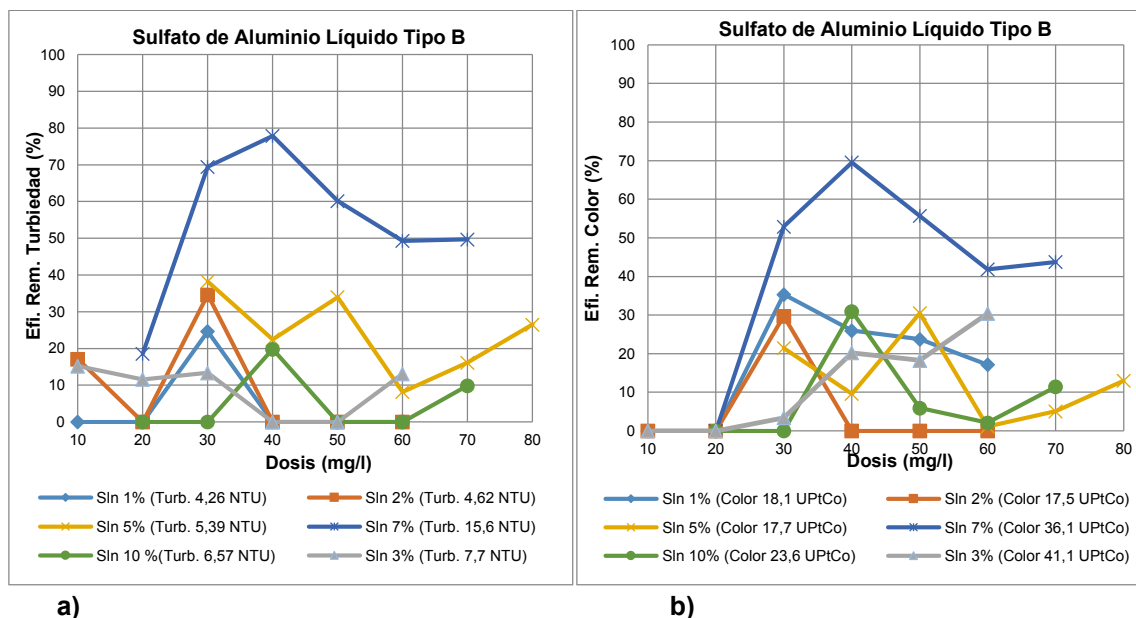
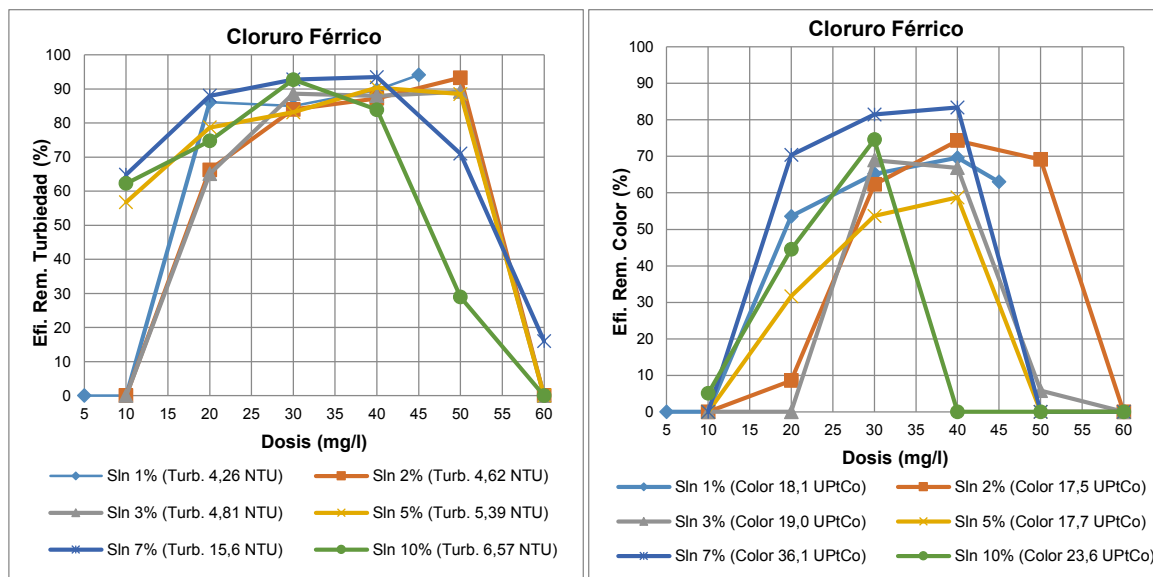


Figura 2. Determinación de la solución madre óptima para Sulfato de aluminio líquido. Eficiencia de remoción de (a) turbiedad y (b) color.

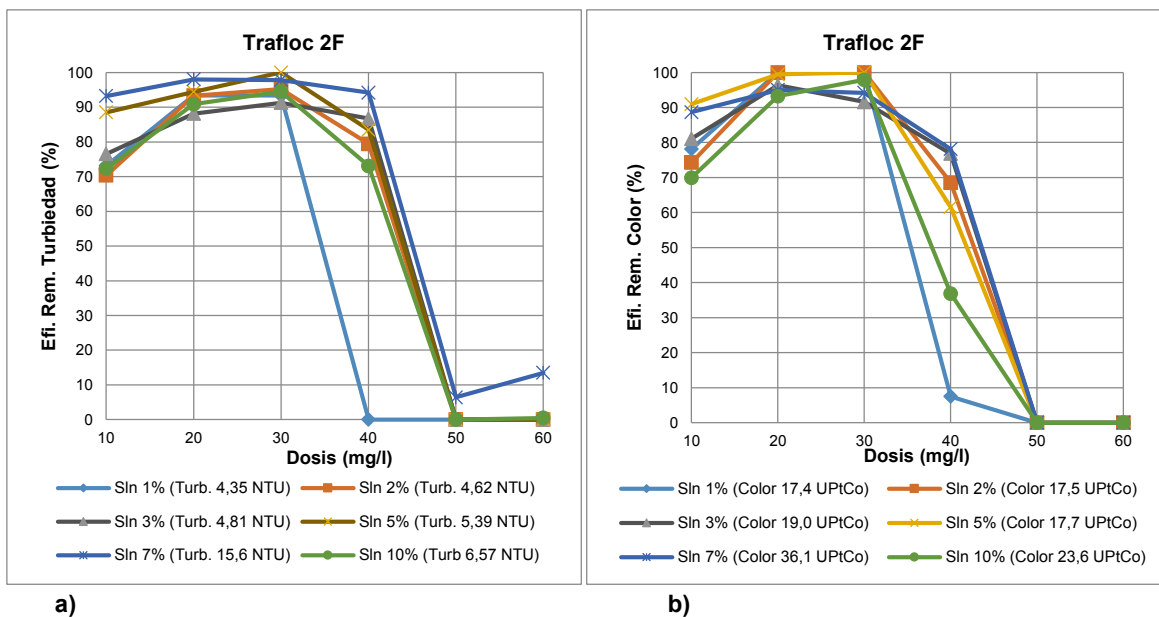
De acuerdo con las figuras 2a y 2b se puede apreciar que la solución madre de 7% con una dosis de 40 mg/l es la que presenta los valores máximos de eficiencias de remoción de turbiedad (77.9%) y color (69.5%), mientras que las otras soluciones estudiadas presentan eficiencias de remoción de turbiedad y color menores al 40%.

Las eficiencias obtenidas para las soluciones estudiadas están relacionadas con las condiciones iniciales de turbiedad del agua cruda, donde la mayor turbiedad registrada (15.6 NTU) fue la que dio los mejores resultados de remoción en los parámetros de turbiedad y color.



**Figura 3. Determinación de la solución madre óptima para cloruro férrico. Eficiencia de remoción de (a) turbiedad y (b) color.**

En la figura 3a se evidencian eficiencias de remoción de turbiedad superiores al 80% para dosis de 30 mg/l y 40 mg/l y en la figura 3b con una dosis de 30 mg/l se alcanzan eficiencias superiores al 50% de remoción de color para todas las concentraciones de soluciones madre estudiadas. Además se observa que a medida que la dosis se acerca a 60 mg/l hay una disminución en la eficiencias de remoción lo que se puede explicar debido a que al aplicarse una alta cantidad de coagulante se produce la inversión de la carga de las partículas, que forman microfloculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son muy bajas, por lo tanto la turbiedad y el color residual son elevados (Andía, 2000).

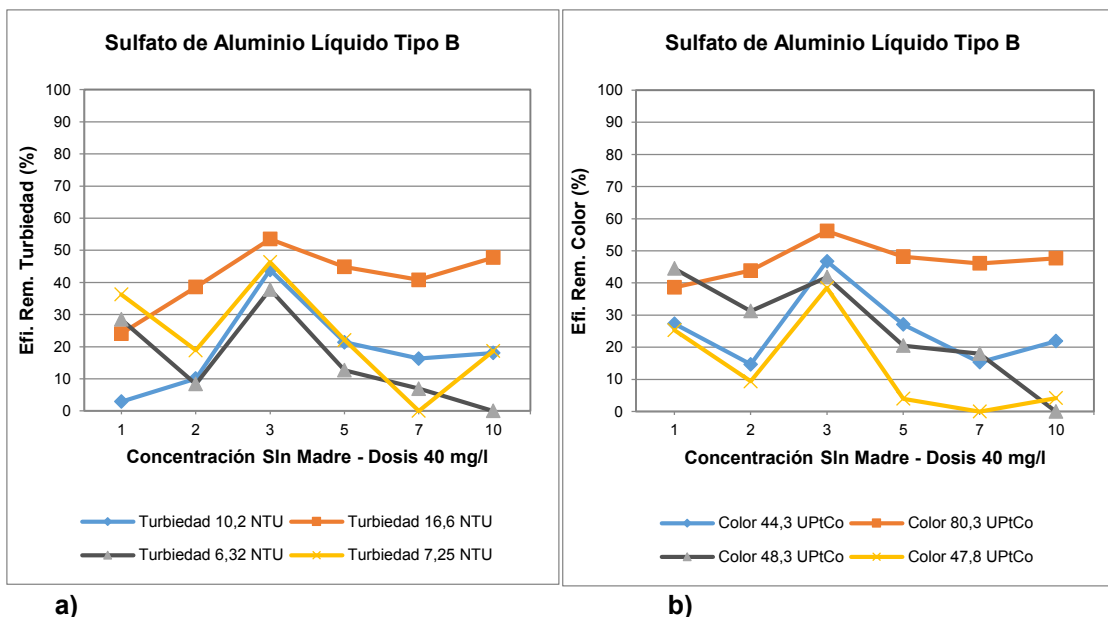


**Figura 4. Determinación de la solución madre óptima para Trafloc 2F. Eficiencia de remoción de (a) turbiedad y (b) color.**

Los resultados presentados en las figuras 4a y 4b para el coagulante Trafloc 2F indican que éste genera buenas eficiencias de remoción para turbiedad (> 80 %) y color (> 90 %) independientemente de la concentración de solución empleada en un rango de dosis comprendido entre 20 mg/l y 30 mg/l.

De acuerdo con la figura 2, se seleccionó una dosis de 40 mg/l para sulfato de aluminio líquido tipo B, dosis de 30 mg/l para cloruro férrico según la figura 3, y una dosis de 20 mg/l para Trafloc 2F, figura 4.

Con el fin de tener una mayor certeza para la selección de la concentración de la solución madre óptima y considerando los anteriores resultados, se realizaron ensayos en donde se varió la concentración de la solución madre en cada una de las seis jarras y se aplicó una dosis constante de coagulante. En las figuras 5 a 7 se presentan los resultados obtenidos para los parámetros turbiedad y color de dicho procedimiento.



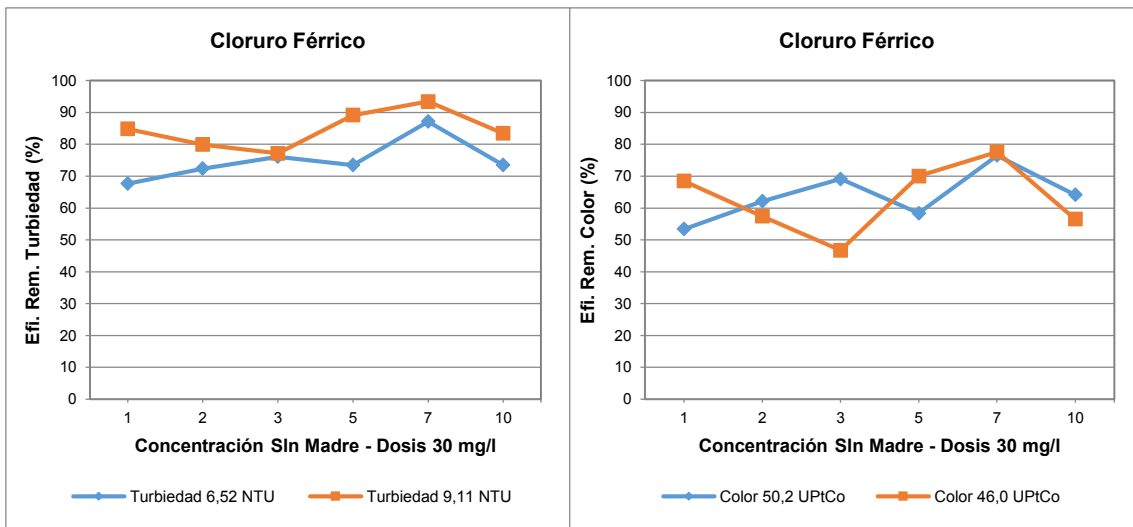
**Figura 5. Determinación de la solución madre óptima para sulfato de aluminio líquido con dosis constante. Eficiencia de remoción de (a) turbiedad y (b) color.**

De acuerdo a la figura 5a la concentración de solución madre de 3% presenta las mejores eficiencias de remoción de turbiedad para las cuatro diferentes turbiedades iniciales donde la turbiedad de 16.6 NTU presenta un valor de 53.5% que es el valor máximo de remoción, mientras que las soluciones del 5%, 7% y 10% muestran una disminución en sus eficiencias.

En la figura 5b se observa que la concentración del 3% presenta un mejor comportamiento con respecto a la eficiencia de remoción de color, con un máximo valor de 56.2% para el valor de color inicial de 80.3 UPTCo.

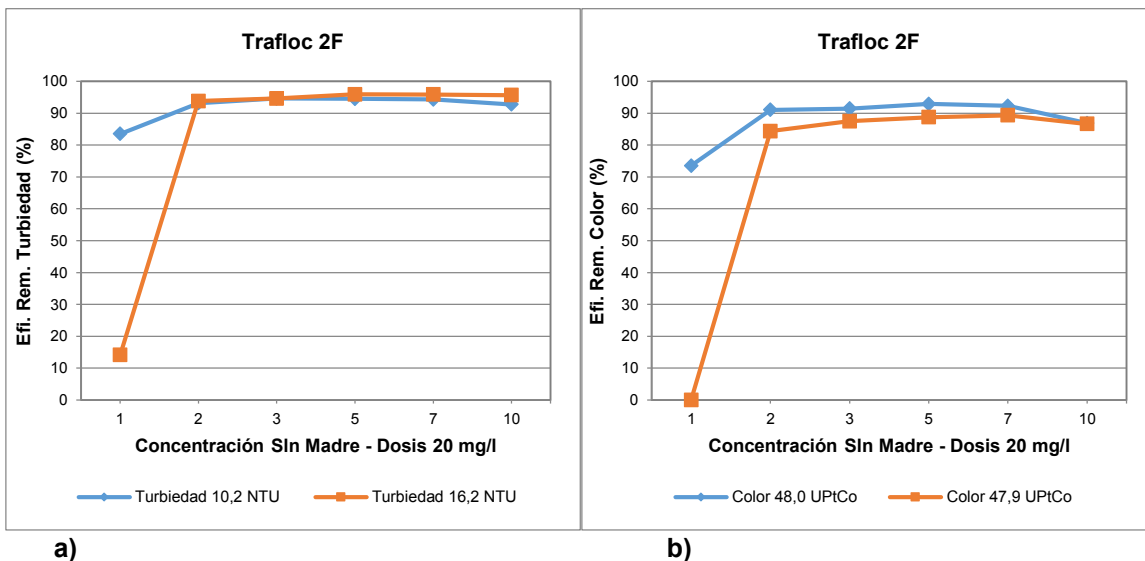
Al comparar las eficiencias de remoción tanto de turbiedad como de color, se determina que la solución madre óptima para sulfato de aluminio líquido tipo B es de 3% ya que presenta el mejor comportamiento para estos dos parámetros con las diferentes calidades de agua estudiadas.





**Figura 6. Determinación de la solución madre óptima para cloruro férrico con dosis constante. Eficiencia de remoción de (a) turbiedad y (b) color.**

La figura 6a muestra que todas las soluciones presentan eficiencias superiores al 70% exceptuando la solución madre del 1% con turbiedad inicial de 6.52 NTU, además la solución madre del 7% es la que alcanza la mejor eficiencia de remoción de turbiedad estando por encima del 80% y según la turbiedad inicial del agua cruda, como es el caso de 9.11 NTU, se puede alcanzar una eficiencia del 90%. En cuanto al color (Figura 6b) la solución madre del 7% es la que presenta el mayor porcentaje de remoción de color siendo éste superior al 70%, razón por la cual se selecciona la solución del 7% como concentración madre óptima para el coagulante cloruro férrico.

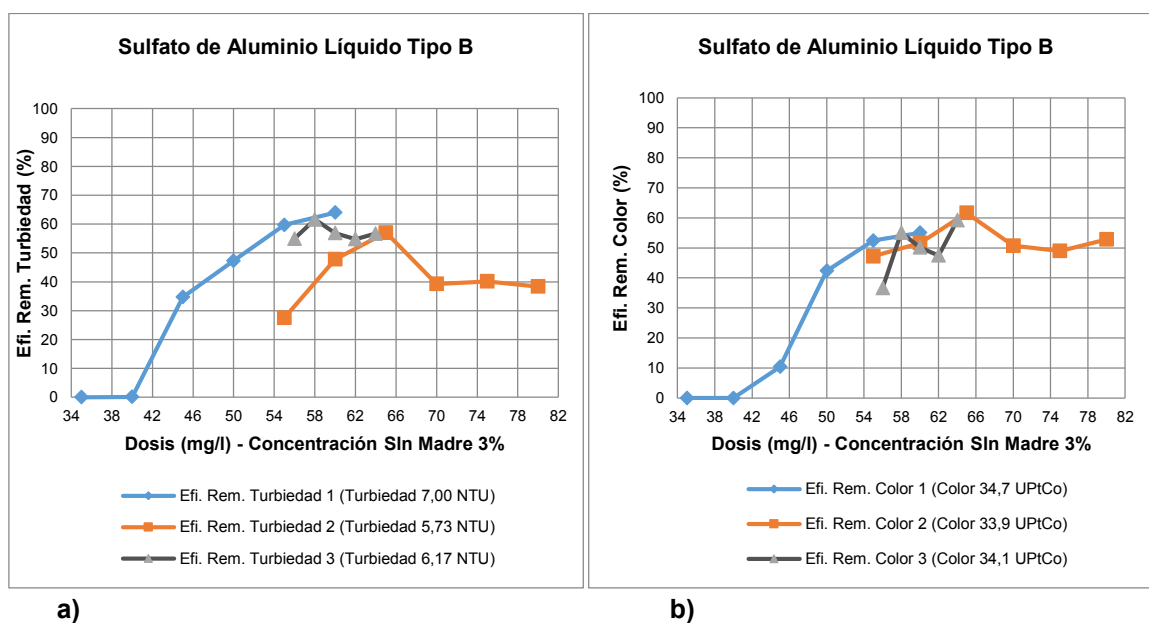


**Figura 7. Determinación de la solución madre óptima para Trafloc 2F con dosis constante. Eficiencia de remoción de (a) turbiedad y (b) color.**

En las figuras 7a y 7b se observa que a partir de la solución del 2% se obtienen eficiencias por encima del 90% para el parámetro turbiedad y por encima del 80% para el parámetro color, mostrando un comportamiento uniforme todas las soluciones madre estudiadas, exceptuando la concentración del 1%, para turbiedad y color respecto a las eficiencias de remoción de estos parámetros, razón por la cual se determina como concentración madre óptima la solución del 2% ya que dicha concentración facilita su dosificación al haber mayor precisión en la medición de volúmenes con respecto a las demás soluciones.

### 5.2.2 Determinación de la dosis óptima

Una vez seleccionadas las concentraciones de solución madre para cada coagulante se realizaron pruebas para determinar la dosis óptima de coagulante, los resultados de dichas pruebas se presentan en las figuras 8 a 10.

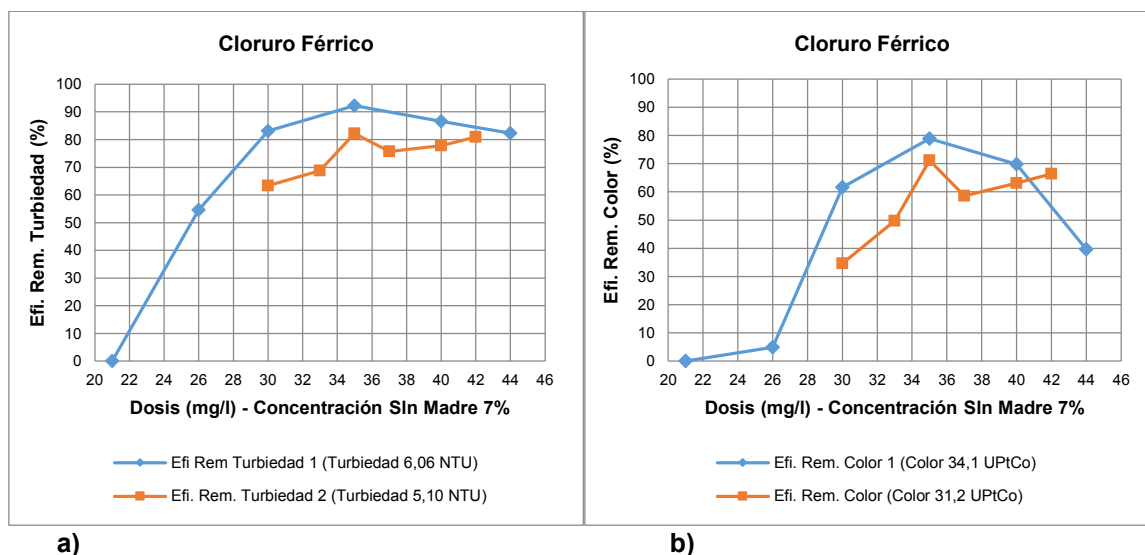


**Figura 8. Determinación de la dosis óptima de coagulante sulfato de aluminio líquido. Eficiencia de remoción de (a) turbiedad y (b) color.**

Con las diferentes dosis ensayadas la mejor eficiencia para turbiedad fue de 64% para una dosis de 60 mg/l (Figura 8a), mientras que para color la mejor eficiencia fue de 61.5% para una dosis de 65 mg/l (Figura 8b), sin embargo para dosis mayores a ésta las eficiencias de remoción disminuyen, lo cual puede explicarse por las zonas de coagulación de turbiedad, según los estudios de Amirtharajh y Mills citado por Arboleda (2000), para distintas dosis de sulfato de aluminio a distinto pH, en donde al aumentarse la dosis de sulfato de aluminio y con un pH de mezcla en

rangos entre 6.5 a 6.7 la coagulación se lleva a cabo en los límites de la zona de coagulación de barrido.

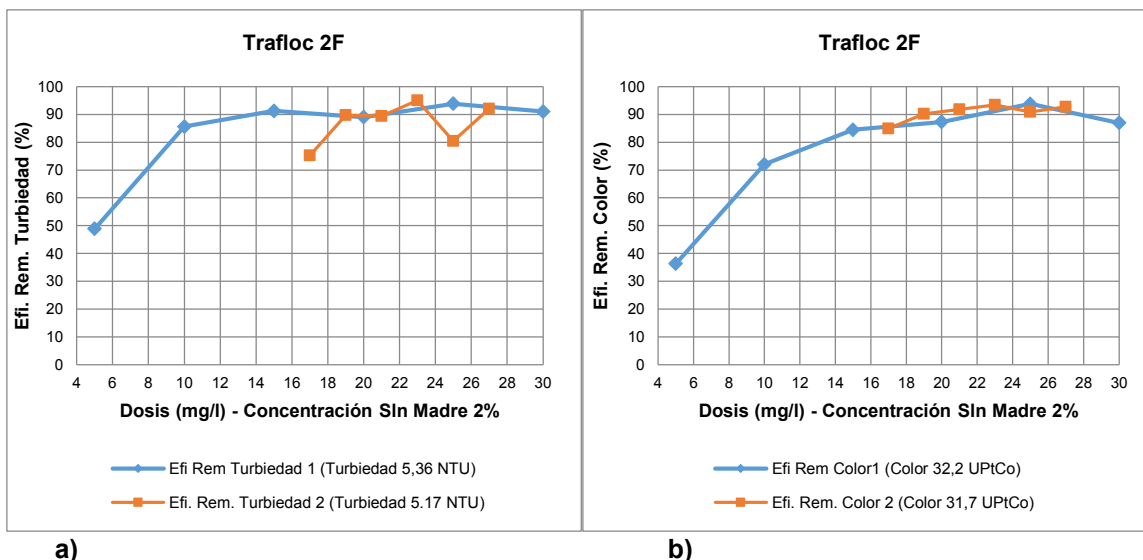
De acuerdo con lo anterior se escoge 60 mg/l como dosis óptima de coagulante ya que una dosis superior no garantiza eficiencias mayores a la obtenida con ésta dosis.



**Figura 9. Determinación de la dosis óptima de coagulante cloruro férrico. Eficiencia de remoción de (a) turbiedad y (b) color.**

Con relación a la figura 9a se observa que se presentan eficiencias de remoción de turbiedad superiores al 60% para una turbiedad de 5.10 NTU y superiores al 80% para una turbiedad inicial de 6.06 NTU en un rango de dosis de coagulante de 30 mg/l a 44 mg/l, indicando que la eficiencia de remoción de turbiedad y dosis de coagulante están influenciados por las condiciones iniciales de calidad del agua. Además la dosis de 35 mg/l presenta la mejor eficiencia para ambas condiciones iniciales de turbiedad con un máximo de eficiencia de 92.2%.

Para el parámetro color el rango de dosis para obtener eficiencias mayores a 60%, según la figura 9b, es más estrecho que para el parámetro turbiedad, sin embargo la mejor eficiencia de remoción se presenta para una dosis de 35 mg/l siendo superior al 70%. Por tanto se escoge 35 mg/l como dosis óptima para el coagulante cloruro férrico.



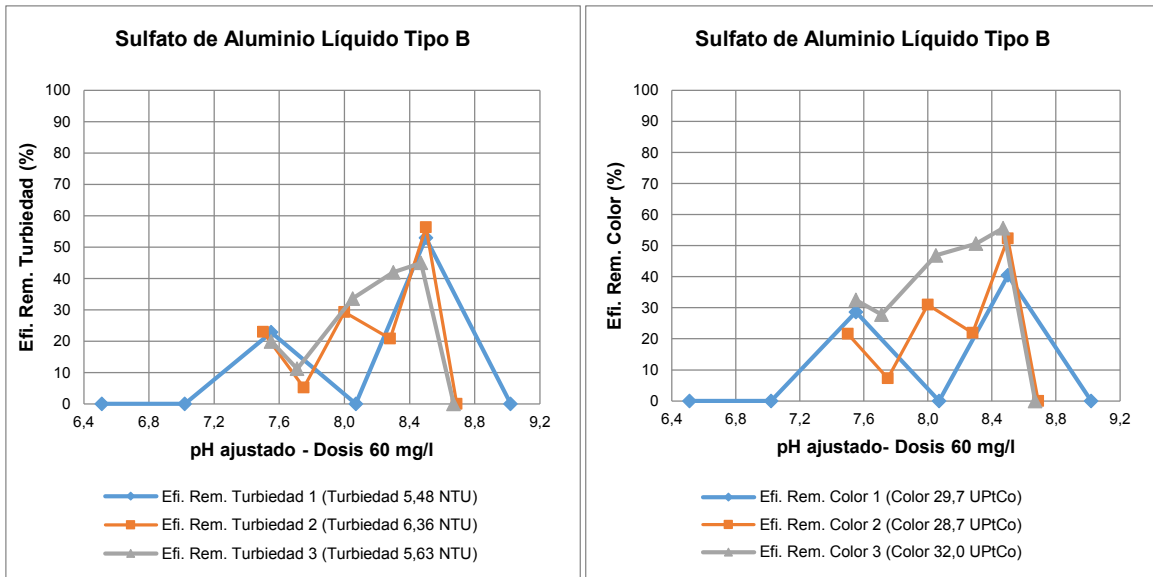
**Figura 10. Determinación de la dosis óptima de coagulante Trafloc 2F. Eficiencia de remoción de (a) turbiedad y (b) color.**

Al utilizar el Trafloc 2F como coagulante se alcanzan eficiencias de remoción mayores al 70% tanto para turbiedad como para color con dosis de coagulante de 10 a 30 mg/l (Figuras 10a y 10b). Además se observa que a partir de dosis de 15 mg/l tiende a ser constantes las eficiencias de remoción de turbiedad y color siendo éstas cercanas al 90% a excepción de la dosis de 17 y 25 mg/l para la turbiedad 5.17 NTU (Figura 10a) que alcanzan eficiencias cercanas al 80%, debido a esta tendencia se escoge un valor de 15 mg/l como dosis óptima.

En cuanto a la determinación de este parámetro se encontró que con dosis menores y mayores que la óptima las eficiencias de remoción tanto para turbiedad como para color disminuyen lo cual podría explicarse porque con dosis menores a la óptima no se desestabilizan los coloides y con dosis mayores, se pueden llegar a reestabilizar, lo que deteriora la calidad del efluente (Vargas, 2004).

### 5.2.3 Determinación del pH de coagulación

En la figuras 11 a 13 se presentan los resultados de la determinación del pH óptimo de coagulación con respecto a los parámetros de turbiedad y color para cada coagulante.

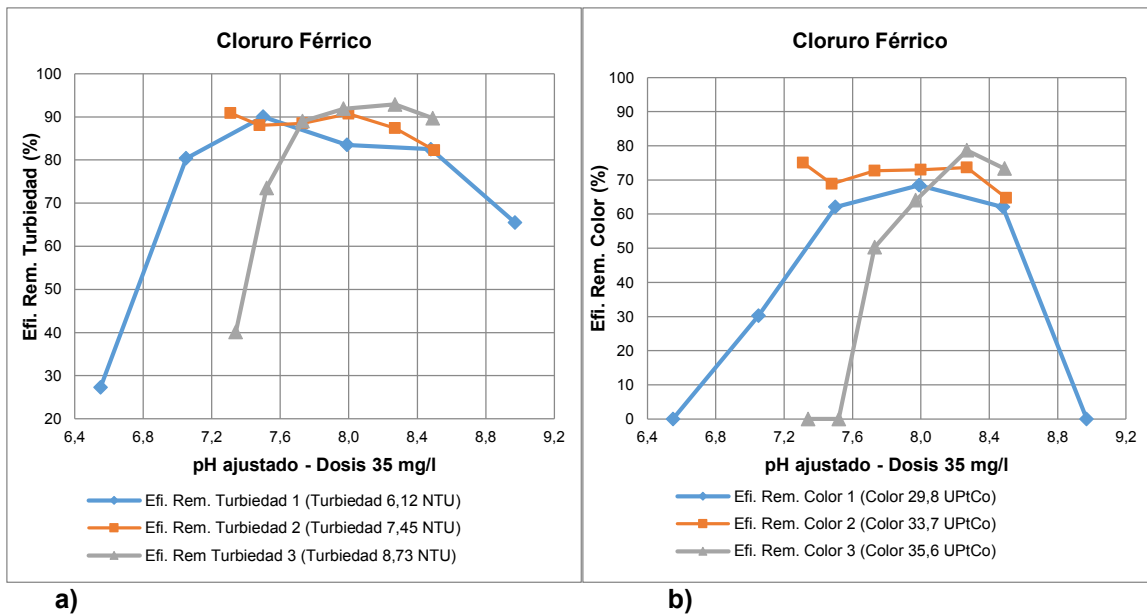


**Figura 11. Determinación del pH óptimo de coagulación para sulfato de aluminio líquido. Eficiencia de remoción de (a) turbiedad y (b) color**

Con relación a la figura 11a se puede observar que la mejor remoción de turbiedad, superior al 50%, se presenta a un pH ajustado de 8.5 el cual corresponde a un pH de coagulación promedio de 6.42 lo que evidencia que para la dosis óptima determinada (60 mg/l de Sulfato de aluminio líquido tipo B) se ubica dentro de la zona de barrido de acuerdo al diagrama de coagulación de Amirtharajah y Mills (Anexo 5.2) tomado de Arboleda (2000).

Para el caso de la remoción de color, como se aprecia en la figura 11b, el pH ajustado a 8.5 es el que presenta la mayor eficiencia de remoción con un máximo registrado de 55.6% para un color de 32.0 UPTCo.

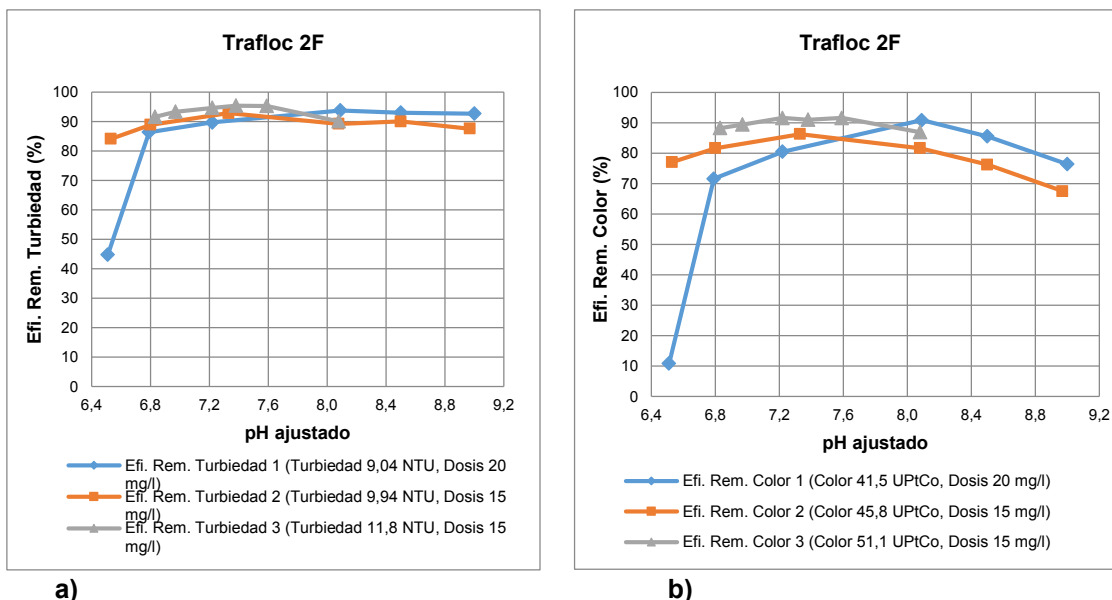
Se determina que el pH del agua cruda debe corregirse a un valor de 8.5 con el fin de que resulte el pH óptimo de coagulación, el cual garantiza que la coagulación esté dentro de la zona de barrido según los diagramas de coagulación y que a su vez dé las mejores eficiencias de remoción para los parámetros evaluados.



**Figura 12. Determinación del pH óptimo de coagulación para cloruro férrico. Eficiencia de remoción de (a) turbiedad y (b) color**

Con relación a la figura 12a se puede observar que la remoción de turbiedad superior al 80% se presenta a pH's comprendidos entre 7.7 y 8.5, y para el parámetro color se presentan eficiencias superiores al 60% en un rango de pH entre 8.0 y 8.5 (Figura 12b), por lo cual se escoge un valor de pH de 8.5 para garantizar un pH que se ubique dentro de las zonas de coagulación.

La coagulación según el diagrama de coagulación de hierro a 25°C (Anexo 5.3) se dá en los límites de la región en que predominan los mecanismos de absorción y neutralización de cargas y la región de barrido según la dosis óptima determinada (35 mg/l) y los pH's de coagulación registrados.



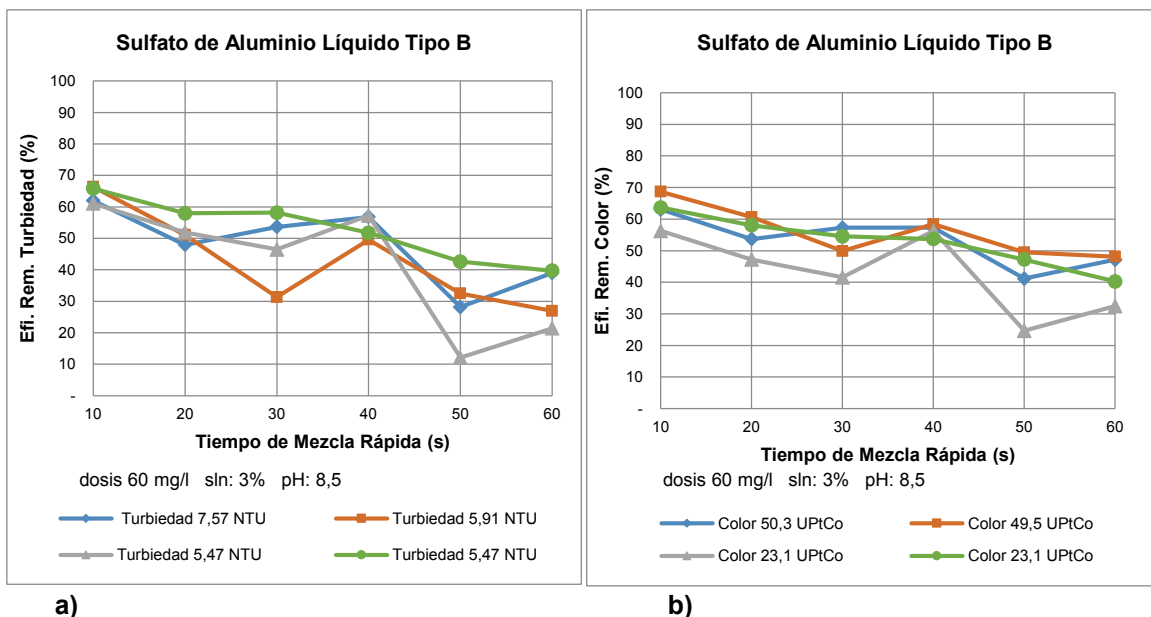
**Figura 13. Determinación del pH óptimo de coagulación para Trafloc 2F. Eficiencia de remoción de (a) turbiedad y (b) color.**

Según los resultados obtenidos (Figuras 13a y 13b) se observa que el coagulante Trafloc 2F tiene buenas eficiencias de remoción de turbiedad (>80%) y de color (>70%) para un amplio rango de pH's (6.8 a 9.0) con un rango óptimo de 7.2 a 7.6, por tal razón para este coagulante no se requiere un ajuste de pH salvo que el pH del agua cruda sea inferior a 6.8.

Al comparar el coagulante Trafloc 2F con los otros dos coagulantes estudiados, además de presentar la ventaja de no requerir ajuste de pH, el pH de coagulación reportado no es tan ácido ya que en ningún caso fue inferior a 6.0.

#### 5.2.4 Tiempo de mezcla rápida

Los resultados de la determinación del tiempo de mezcla rápida se presentan en las figuras 14 a 16.

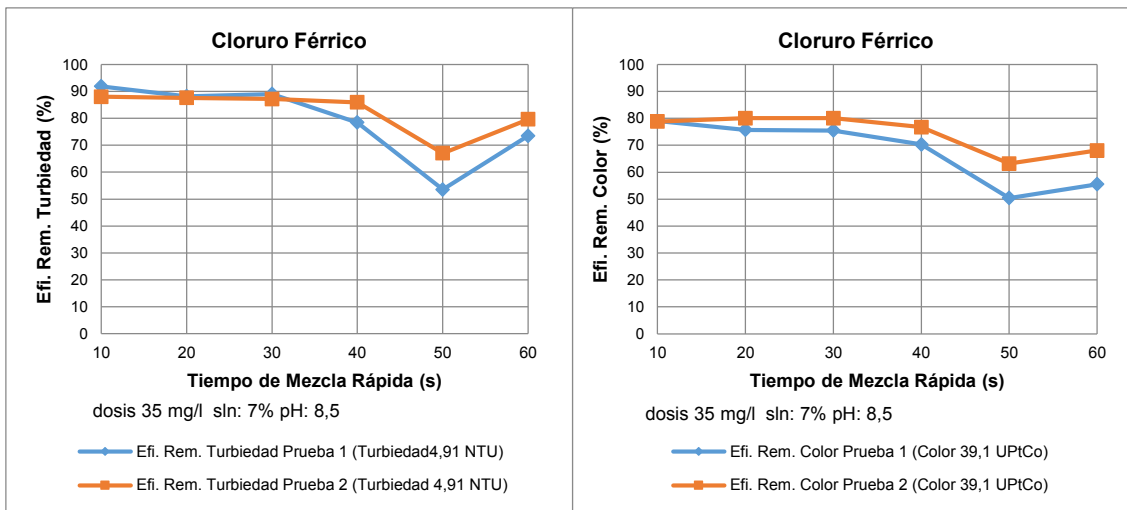


**Figura 14. Determinación del tiempo óptimo de mezcla rápida para sulfato de aluminio líquido. Eficiencia remoción (a) turbiedad y (b) color.**

El tiempo de mezcla rápida óptimo determinado para el sulfato de aluminio líquido tipo B es de 10 segundos de acuerdo con las figuras 14a y 14b, con el que se obtienen las mejores eficiencias de remoción superiores al 60% para turbiedad y al 55% para color. A medida que aumenta el tiempo de mezcla rápida se evidencia una disminución en las eficiencias de remoción tanto de turbiedad como de color siendo éstas inferiores a las que se obtiene con el tiempo de mezcla de 10 segundos.

Las figuras 14a y 14b indican que el sulfato de aluminio requiere de tiempo corto de mezcla rápida (10 segundos) para que éste se disperse en la masa del fluido y garantice la desestabilización de los coloides (Arboleda, 2000), además al llevarse a cabo una coagulación por barrido requiere tiempos entre 1 a 7 segundos (Amirtharajah 1991 citado por Martín *et al.*, 2008).

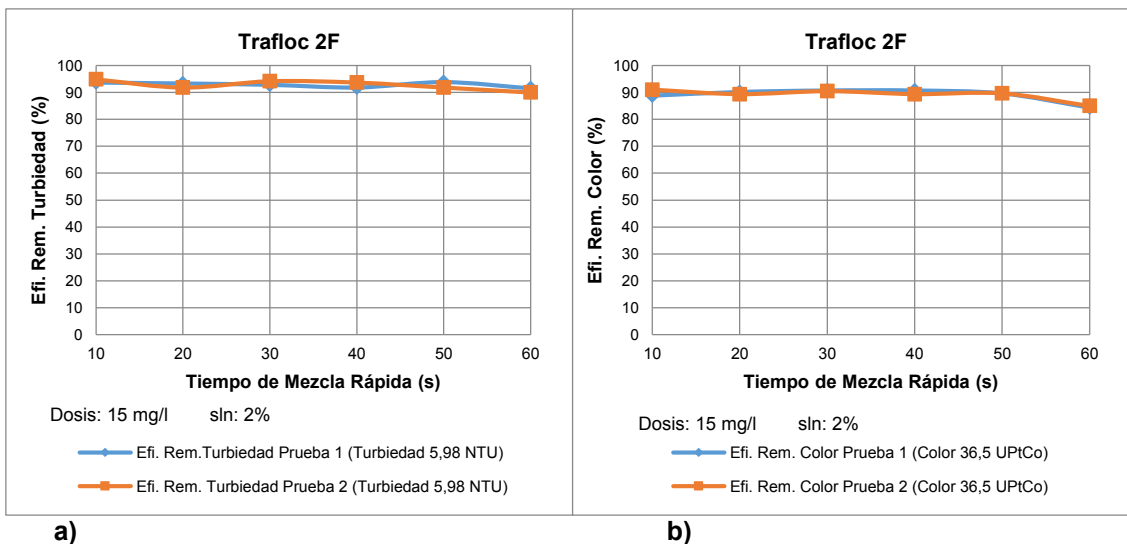




a) b)  
**Figura 15. Determinación del tiempo óptimo de mezcla rápida para cloruro férrico. Eficiencia de remoción (a) turbiedad y (b) color.**

De acuerdo con la figura 15a se observa un rango de tiempo de mezcla rápida entre 10 y 30 segundos en el cual se alcanzan eficiencias de remoción para el parámetro turbiedad cercano al 90% y la figura 15b muestra un rango de 10 a 40 segundos en el que se alcanzan eficiencias de color superiores al 70%. Tanto en los parámetros de turbiedad y color con los tiempos de mezcla de 50 y 60 segundos hay una disminución en sus eficiencias de remoción.

Se escoge como tiempo óptimo de mezcla rápida el de 30 segundos para el coagulante cloruro férrico, tiempo con el cual se garantiza que el coagulante agregado se disperse uniforme y eficientemente dentro del agua.



a) b)  
**Figura 16. Determinación del tiempo óptimo de mezcla rápida para Trafloc 2F. Eficiencia de remoción Turbiedad (a) y Color (b).**

Para el Trafloc 2F se observa que con todos los tiempos de mezcla rápida ensayados éste alcanza eficiencias de remoción del orden del 90% tanto para turbiedad (Figura 16a) como para color (Figura 16b) a excepción del tiempo de mezcla rápida de 60 segundos para el parámetro color en el cual se presenta una disminución en su eficiencia de remoción (84.9%).

Se seleccionó el tiempo de 50 segundos con el fin de cumplir con el objetivo de la mezcla rápida el cual es el de proporcionar las condiciones adecuadas de mezcla, tanto en intensidad como en tiempo. Además, debido a que el agua cruda de la fuente río Palacé se caracteriza por presentar niveles bajos de turbiedad y altos de color, se dificulta su tratamiento para abastecimiento, como lo expresa Arboleda (2000), las aguas de más difícil coagulación son las que tienen turbiedades menores de 20 NTU, ya sea en presencia de color o no, motivo por el cual se requiere de un tiempo suficiente para que el coagulante agregado se disperse uniforme y eficientemente dentro del agua, de tal manera que haga contacto con las partículas coloidales antes de que las reacciones de hidrólisis se completen favoreciendo así los procesos siguientes.

### 5.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN

Se presentan los resultados obtenidos de la determinación del tiempo óptimo de floculación comprendidos entre 5 y 60 minutos y de los gradientes de mezcla lenta los cuales se encuentran entre  $13 \text{ s}^{-1}$  y  $40 \text{ s}^{-1}$  para la fuente río Palacé utilizando cada uno de los tres coagulantes, en las figuras 17 a 19.

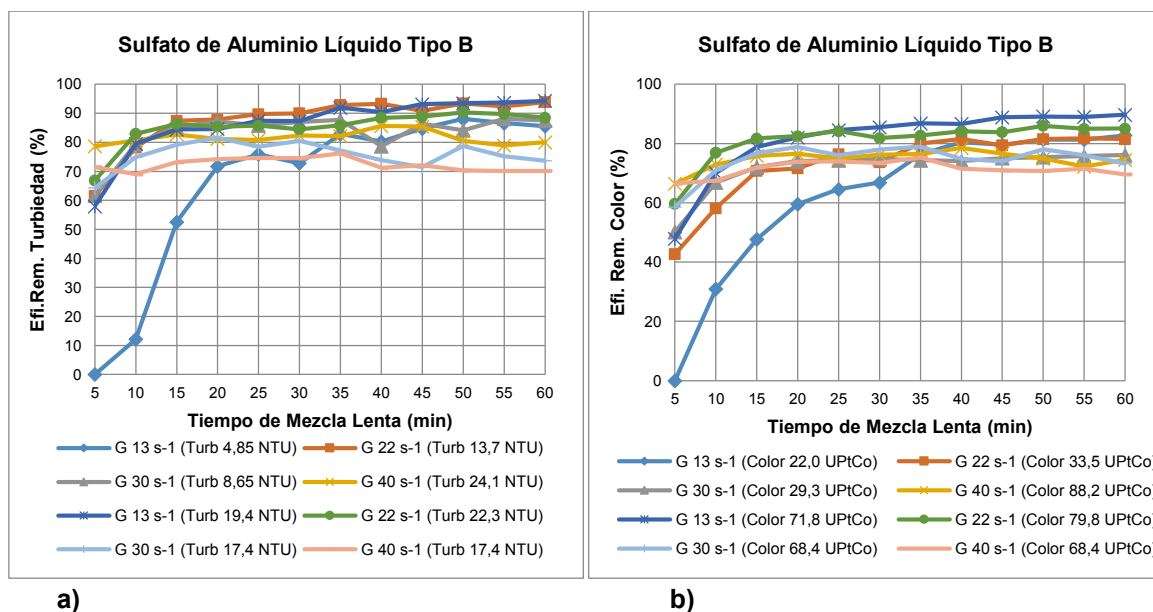


Figura 17. Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para sulfato de aluminio líquido. Eficiencia de remoción Turbiedad (a) y Color (b).

Se observa para el coagulante sulfato de aluminio líquido tipo B (Figura 17) una tendencia similar en todas las curvas de gradiente de velocidad tanto para turbiedad (Figura 17a) como para color (Figura 17b).

En la figura 17a se aprecia que para alcanzar una eficiencia de remoción superior o igual al 80% para un gradiente de  $13 \text{ s}^{-1}$  y con bajas turbiedades (4.85 NTU) se requiere como mínimo un tiempo de mezcla lenta de 35 minutos, mientras que para una turbiedad mayor (19.4 NTU) se requiere de un tiempo de mezcla lenta menor (15 minutos), igualmente se aprecia en la figura 17b que para un color de 22.0 UPtCo se requiere un tiempo mayor de mezcla lenta (40 minutos) que para un color de 71.8 UPtCo (20 minutos) con este mismo gradiente para alcanzar dicha eficiencia de remoción.

Los gradientes de  $22 \text{ s}^{-1}$  (30 RPM) y de  $30 \text{ s}^{-1}$  (40 RPM) tienen una tendencia similar, sin embargo el gradiente de  $22 \text{ s}^{-1}$  presentó las mejores eficiencias de remoción tanto para turbiedad y color superando eficiencias del 80% a partir de tiempos de 10 minutos para turbiedad y 20 minutos para color, mientras que para el gradiente de  $30 \text{ s}^{-1}$  no se alcanzó eficiencias superiores al 80% para el parámetro color con ninguno de los tiempos de mezcla lenta ensayados.

El gradiente de  $40 \text{ s}^{-1}$  (50 RPM) dio buenas eficiencias de remoción para el parámetro turbiedad estando en un rango de 70% a 80%, pero las eficiencias para color son inestables a medida que se aumentó el tiempo de mezcla lenta y no alcanzaron eficiencias superiores al 80%.

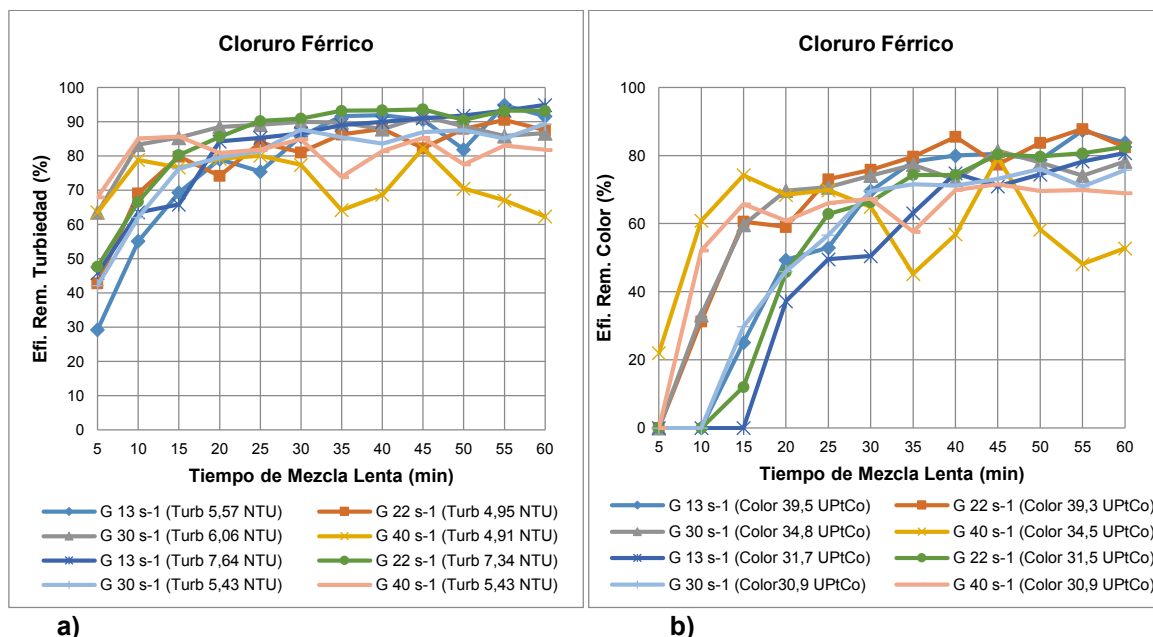
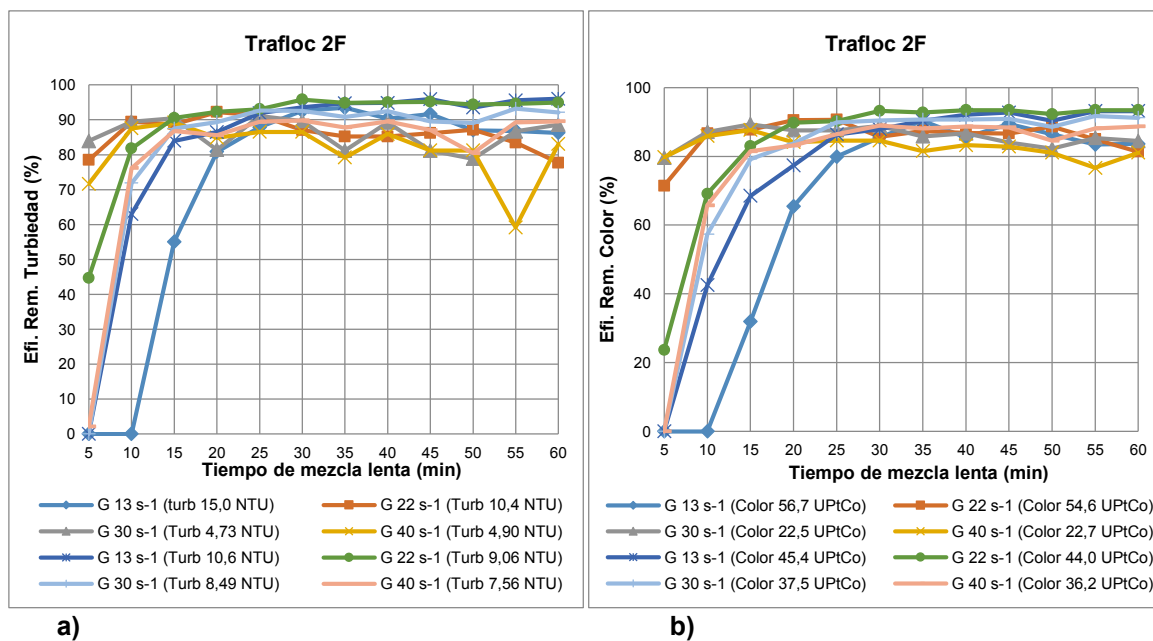


Figura 18. Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para cloruro férrico. Eficiencia de remoción Turbiedad (a) y Color (b).

Se aprecia que con el coagulante cloruro férrico para gradientes de floculación de  $22 \text{ s}^{-1}$  y  $30 \text{ s}^{-1}$ , se obtienen eficiencias de remoción superiores al 80% para tiempos de floculación superiores a 25 minutos para el parámetro turbiedad (Figura 18a), en cuanto al parámetro color (Figura 18b) para el gradiente de  $22 \text{ s}^{-1}$  se requiere un tiempo mínimo de 35 minutos para alcanzar eficiencias mayores o iguales al 80%, mientras que para el gradiente de  $30 \text{ s}^{-1}$ , eficiencias superiores al 70% pero inferiores al 80%, se alcanzan con tiempos mayores a 30 minutos.

En cuanto al gradiente más bajo de  $13 \text{ s}^{-1}$  éste requiere un tiempo mínimo de mezcla lenta de 30 minutos para alcanzar eficiencias de remoción de turbiedad superiores al 80%, eficiencias que se incrementan conforme aumenta el tiempo de mezcla lenta, con un máximo de 94.8% de remoción para un tiempo de 60 minutos (Figura 18a), y para color son necesarios tiempos de mezcla lenta mayores a 40 minutos para alcanzar eficiencias del 80% (Figura 18b). Caso opuesto ocurre con el mayor gradiente de mezcla lenta de  $40 \text{ s}^{-1}$  en donde las eficiencias de remoción de turbiedad y color fueron mejores para tiempos bajos de mezcla lenta ( $< 25$  minutos) mientras que a medida que éste se incrementó se evidencia una tendencia a la disminución de las eficiencias y ser más inestable su comportamiento de remoción.



**Figura 19. Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para Trafloc 2F. Eficiencia de remoción Turbiedad (a) y Color (b).**

Tal como se aprecia en la figura 19 hay una tendencia similar en todas las curvas de los gradientes de velocidad para los parámetros de turbiedad (Figura 19a) y color (Figura 19b), evidenciándose eficiencias de remoción superiores al 80% a partir de los 20 minutos para turbiedad y de 25 minutos para color con todos los gradientes de mezcla ensayados a excepción del gradiente  $40 \text{ s}^{-1}$  con un tiempo de mezcla de

55 minutos para una turbiedad y color inicial de 4.90 NTU y 22.7 UPtCo respectivamente.

En cuanto al gradiente de  $13 \text{ s}^{-1}$  éste mostró necesitar mayor tiempo de mezcla lenta con respecto a los demás para lograr buenas eficiencias de remoción en los parámetros turbiedad y color.

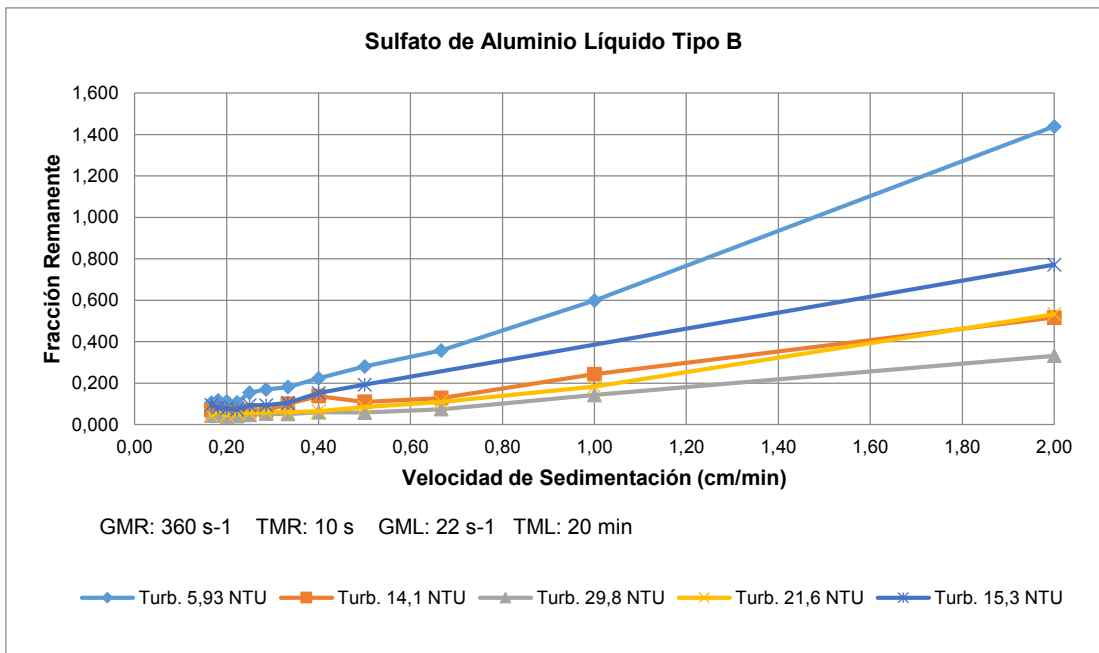
El gradiente de  $22 \text{ s}^{-1}$  se consideró como la mejor opción ya que éste en combinación con tiempos de mezcla lenta relativamente pequeños alcanza buenas eficiencias de remoción para los dos parámetros graficados, con una eficiencia máxima de turbiedad obtenida a los 30 minutos de 95.8% y una eficiencia máxima de color de 93.4% con un tiempo de mezcla de 40 minutos, sin embargo el tiempo óptimo de mezcla con el que se continua trabajando es de 15 minutos ya que garantiza una eficiencia de remoción de turbiedad y color superior al 80%.

Los tres coagulantes tuvieron las mejores eficiencias de remoción de turbiedad y color al evaluarse un gradiente de  $22 \text{ s}^{-1}$  variando entre ellos sus tiempos de mezcla lenta, tal como se aprecia en las figuras 17 a 19, además estos coagulantes mostraron requerir más tiempo de mezcla lenta para remover o alcanzar una eficiencia similar en el parámetro color con respecto a los tiempos necesarios para tener una buena remoción de turbiedad por tal razón el tiempo de mezcla lenta para el sulfato de aluminio líquido tipo B y el cloruro férrico se seleccionó considerando las eficiencias de remoción de color siendo de 20 y 35 minutos respectivamente.

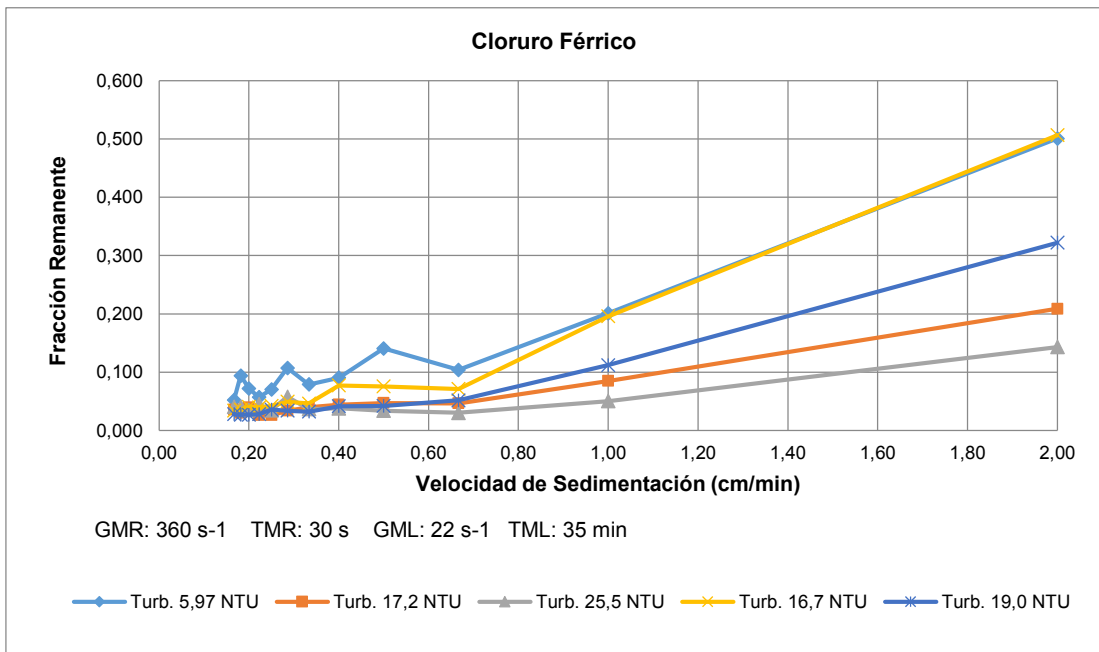
Al determinarse los tiempos y gradientes de mezcla lenta se observa que los gradientes de  $13 \text{ s}^{-1}$  y  $40 \text{ s}^{-1}$ , son los menos aptos para trabajar eficientemente las condiciones del agua cruda, con la característica de que el gradiente de  $13 \text{ s}^{-1}$  mostró necesitar un mayor tiempo de mezcla lenta para que su remoción en color y turbiedad se considerara como buena, y el gradiente de  $40 \text{ s}^{-1}$  mostró los resultados más inestables al evaluarse los coagulantes sulfato de aluminio líquido tipo B y el cloruro férrico.

#### **5.4 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN**

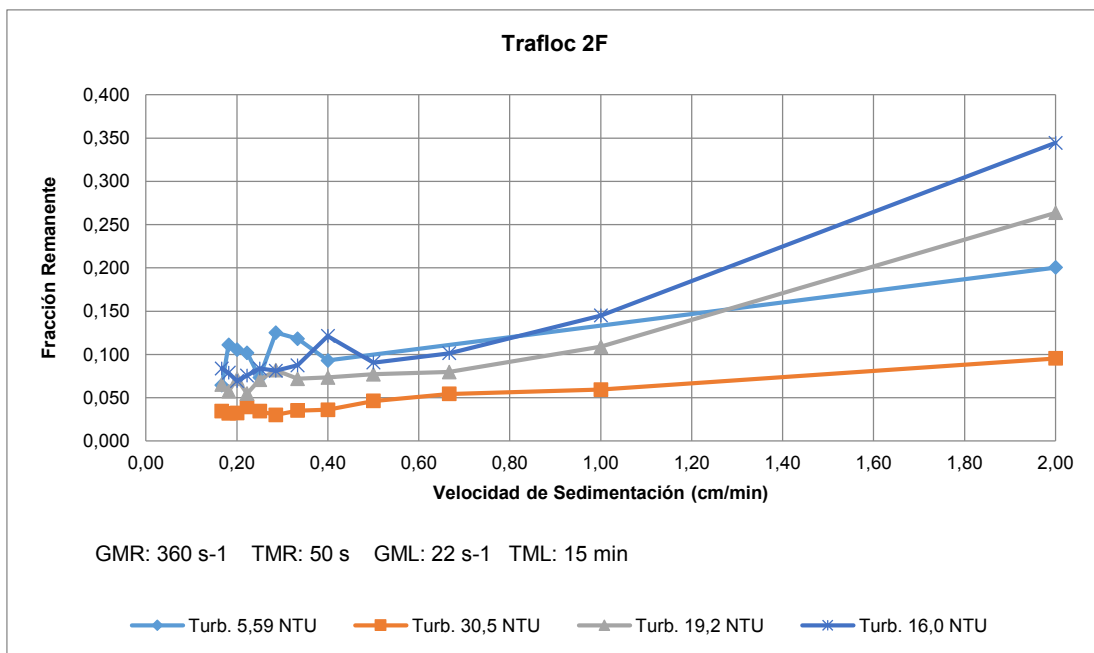
Se presentan los resultados de las curvas de sedimentación para distintas calidades del agua cruda para los tres coagulantes en estudio en las figuras 20 a 23.



**Figura 20. Curvas de sedimentación para distintos niveles de turbiedad del agua cruda para sulfato de aluminio líquido tipo B.**



**Figura 21. Curvas de sedimentación para distintos niveles de turbiedad del agua cruda para Cloruro Férrico.**



**Figura 22. Curvas de sedimentación para distintos niveles de turbiedad del agua cruda para Trafloc 2F.**

En la figura 20 se observa que las curvas de sedimentabilidad del sulfato de aluminio líquido varían según la calidad del agua cruda, donde para la menor turbiedad (5.93 NTU) se presentó un cambio brusco en la fracción remanente para las velocidades de sedimentación entre 0.67 cm/min y 2 cm/min, mientras que las demás curvas presentan una tendencia similar y la variación de la fracción remanente no es muy significativa.

Para el coagulante cloruro férrico (Figura 21) y Trafloc 2F (Figura 22) a pesar de que la calidad del agua cruda estudiada presentó diferentes valores de turbiedad entre 5.97 NTU y 25.5 NTU y de 5.59 NTU Y 30.5 NTU respectivamente, las curvas de sedimentabilidad muestran una tendencia similar donde a partir de una velocidad de sedimentación de 1.00 cm/min la fracción remanente aumenta.

Como se observa en las figuras 20, 21 y 22, ninguna de las curvas de sedimentación pasan por el origen, lo cual implica que siempre se tendrá una fracción de partículas que no serán removidas por el sedimentador aún cuando se apliquen velocidades muy bajas de sedimentación, por tal razón se hace necesario de una unidad posterior al sedimentador que sea capaz de remover estas partículas (Maldonado, 2004).

Las velocidades de sedimentación crítica para los tres coagulantes con diferentes turbiedades del agua cruda para obtener una turbiedad residual de 1 NTU se presentan en las siguientes tablas y sus cálculos se presentan en el Anexo 4.2.

Tabla 6. Velocidades de sedimentación crítica con diferentes turbiedades del agua cruda para turbiedad residual de 1 NTU para el coagulante sulfato de aluminio.

Turbiedad del agua cruda (NTU)	Velocidad de Sedimentación crítica. Vsc (cm/min)	Fración Remanente	Eficiencia teórica para turbiedad de 1 NTU (%)
5.93	0.70	0.289	83.1
14.7	0.41	0.103	93.2
25.7	0.37	0.059	96.1

Tabla 7. Velocidades de sedimentación crítica con diferentes turbiedades del agua cruda para turbiedad residual de 1 NTU para el coagulante Cloruro Férrico.

Turbiedad del agua cruda (NTU)	Velocidad de Sedimentación crítica. Vsc (cm/min)	Fración Remanente	Eficiencia teórica para turbiedad de 1 NTU (%)
5.97	1.51	0.362	83.2
19.6	1.03	0.092	94.9

Tabla 8. Velocidades de sedimentación crítica con diferentes turbiedades del agua cruda para turbiedad residual de 1 NTU para el coagulante Trafloc 2F.

Turbiedad del agua cruda (NTU)	Velocidad de Sedimentación crítica. Vsc (cm/min)	Fración Remanente	Eficiencia teórica para turbiedad de 1 NTU (%)	Eficiencia de Remoción (%)	Turbiedad del agua decantada (NTU)
5.59	2.000	0.194	82.1	85.8	0.794
17.6	0.333	0.077	94.3	93.0	1.232
30.5	0.333	0.037	96.7	96.6	1.037

Como se observa en las tablas 6, 7 y 8 las eficiencias teóricas garantizan una turbiedad de 1 NTU en el agua sedimentada, las cuales aumentan directamente proporcional con la turbiedad del agua cruda. Además se registran las menores fracciones remanentes cuando las turbiedades son mayores lo cual indica que el proceso de sedimentación se ve favorecido por este tipo de calidad de agua lo que puede explicarse debido a que a turbiedades altas, el proceso de floculación es más espontáneo, favoreciendo la aglutinación de partículas de mayor tamaño, las cuales pueden sedimentar con mayor velocidad y facilidad; lo que sucede en menor proporción si la turbiedad es baja (Arboleda, 2000).

De lo anterior se evidencia que al haberse fijado un valor de turbiedad de 1 NTU con el cual debe salir el agua del sedimentador se presentan variaciones en las velocidades de sedimentación y las eficiencias según la calidad del agua cruda.



En la tabla 9 se presenta un resumen de las velocidades de sedimentación crítica para los diferentes coagulantes tal que garanticen turbiedades menores a 1 y 2 NTU.

Tabla 9. Velocidades de sedimentación crítica para obtener turbiedades del agua sedimentada menores a 2 y 1 NTU.

coagulante	Turbiedad del agua cruda (NTU)	Velocidad de Sedimentación crítica para turbiedad de agua sedimentada < 2 NTU		Velocidad de Sedimentación crítica para turbiedad de agua sedimentada < 1 NTU	
		(cm/min)	TS (min)	(cm/min)	TS (min)
Sulfato de aluminio líquido	5.93	1.00	10	0.67	15
	14.7	1.00	10	0.40	25
	25.7	1.00	10	0.33	30
Cloruro férrico	5.97	2.00	5	1.00	10
	19.6	1.00	10	1.00	10
Trafloc 2F	5.59	2.00	5	2.00	5
	17.6	1.00	10	- (*)	-
	30.5	2.00	5	- (*)	-

(\*) No se reportaron velocidades de sedimentación que cumplieran con esta condición

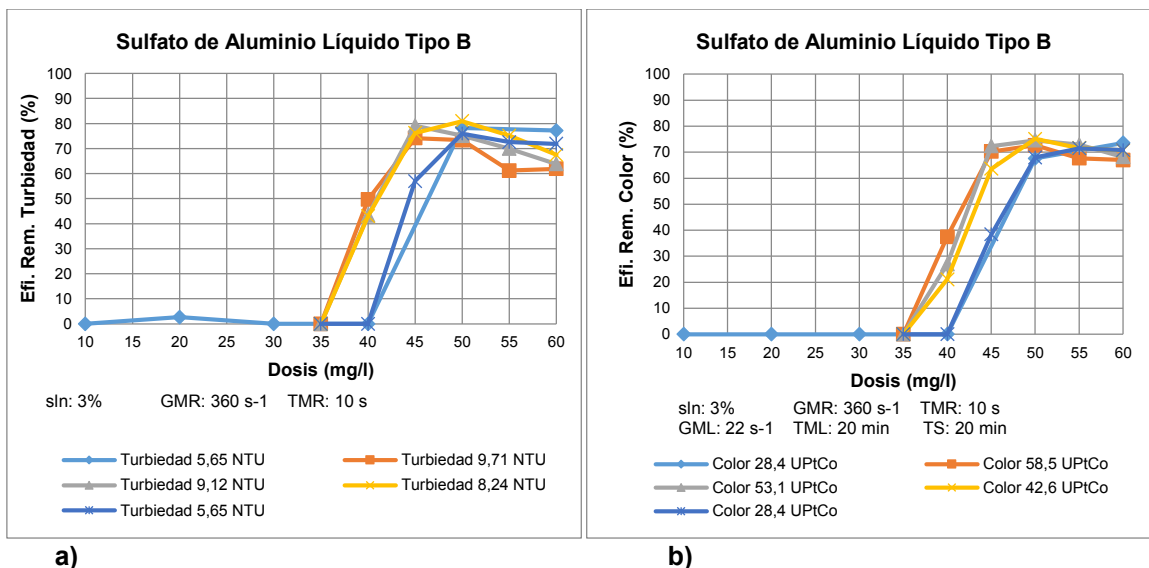
En la tabla 9 se aprecia que para el coagulante sulfato de aluminio líquido con velocidades de sedimentación de 1.00 cm/min se obtienen turbiedades del agua sedimentada menores a 2 NTU, independientemente de la turbiedad del agua cruda, mientras que para garantizar una turbiedad del agua sedimentada menor a 1 NTU las velocidades de sedimentación que se requieren son menores a 1.00 cm/min.

Por otro lado para el cloruro férrico con velocidad de sedimentación de 1 cm/min, independiente de la calidad inicial del agua, se obtiene una turbiedad del agua sedimentada menor que 1 NTU y por último se observa que el coagulante Trafloc 2F no garantiza turbiedades del agua sedimentada inferiores a 1 NTU para diferentes tipos de calidad de agua cruda pero si inferiores a 2 NTU. Para este coagulante las velocidades de sedimentación están influenciadas por la turbiedad del agua cruda con un rango entre 1 cm/min y 2 cm/min, pero por seguridad se determina como velocidad de sedimentación crítica 1 cm/min con la cual se garantiza que para diferentes calidades de agua cruda, la turbiedad del agua sedimentada sea menor o igual a 2 NTU.

Los datos de velocidad de sedimentación crítica generados de 1 cm/min y 2 cm/min se pueden comparar con lo estipulado por el RAS pues éste define que para un sedimentador de flujo horizontal la carga superficial debe estar entre 15 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.día) y 30 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.día).

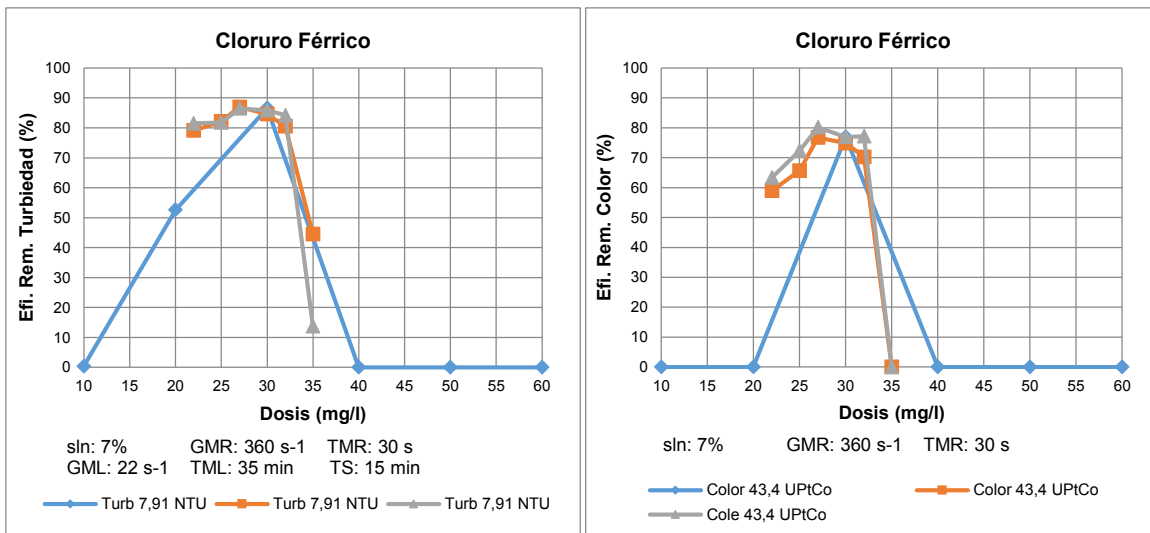
## 5.5 DETERMINACIÓN DE LA DOSIS DE COAGULANTE EMPLEANDO LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN

En las figuras 23, 24 y 25 se muestran los resultados obtenidos de las dosis de coagulante empleando los parámetros óptimos determinados para cada uno de los tres coagulantes.

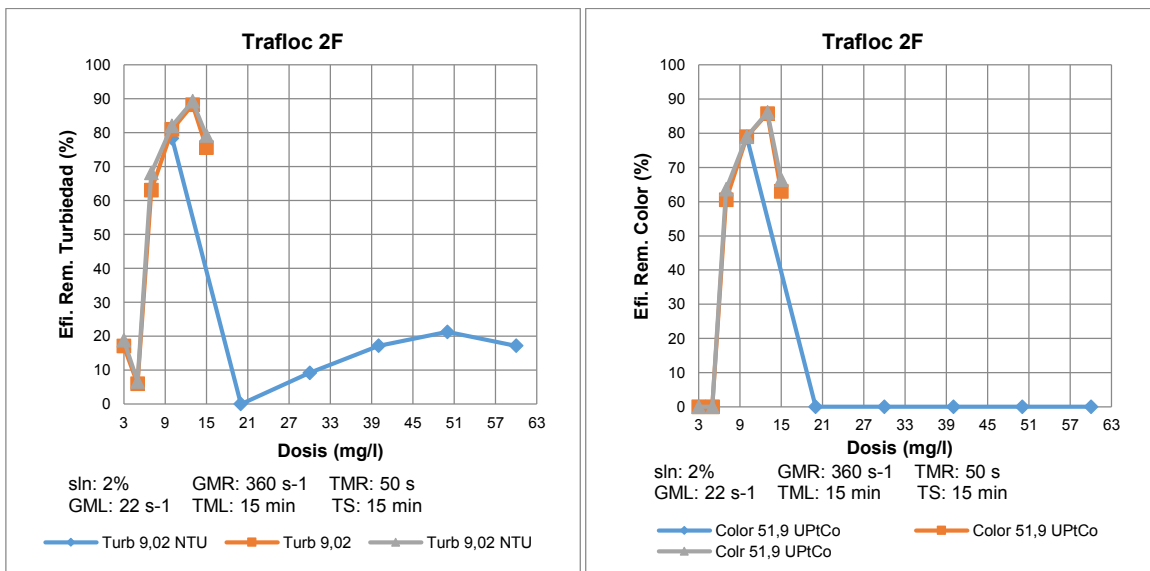


**Figura 23. Determinación de dosis óptima de coagulante empleando los parámetros óptimos para sulfato de aluminio líquido. Eficiencia de remoción de Turbiedad (a) y Color (b).**

En la figura 23 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas con los parámetros óptimos de tratabilidad definidos para el sulfato de aluminio líquido el cual alcanzó eficiencias de remoción de turbiedad y color mayores a las obtenidas inicialmente, incrementándose en un 16% para turbiedad y un 14% para color, además la dosis de coagulante disminuyó 10 mg/l estableciéndose como dosis óptima la de 50 mg/l.



**Figura 24.** Determinación de dosis óptima de coagulante empleando los parámetros óptimos para Cloruro férrico. Eficiencia de remoción de Turbiedad (a) y Color (b).



**Figura 25.** Determinación de dosis óptima de coagulante empleando los parámetros óptimos para Trafloc 2F. Eficiencia de remoción de Turbiedad (a) y Color (b).

Los coagulantes cloruro férrico (Figura 24) y Trafloc 2F (Figura 25) no presentaron un aumento significativo en las eficiencias de remoción de turbiedad y color al realizarse las pruebas con los parámetros óptimos definidos para cada uno, sin embargo si hubo una disminución de las dosis óptimas, pues para el cloruro férrico de 35 mg/l paso a establecerse un rango de dosis óptima entre 27 mg/l y 30 mg/l, mientras que para el Trafloc 2F pasó de una dosis de 15 mg/l a 13 mg/l.

## 5.6 COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE TRATABILIDAD PARA LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE LA PLANTA PALACÉ HACIENDO USO DE LOS TRES COAGULANTES Y SELECCIÓN DEL MÁS EFICAZ

Con el fin de comparar los resultados obtenidos entre los tres coagulantes se presenta un resumen en la tabla 10 de los parámetros óptimos de tratabilidad obtenidos en las anteriores etapas, considerándose los resultados de las pruebas jar test en las cuales los rangos de turbiedad estuvieron entre 0 a 10 NTU y entre 21 a 60 UPtCo para el parámetro color, estos corresponden a los rangos representativos de calidad de agua cruda, al encontrarse en dichos rangos el mayor porcentaje o cantidad de datos de acuerdo a las tablas y gráficas de frecuencias de calidad del agua cruda presentadas en el numeral 5.1.

Tabla 10. Resumen de los resultados de los parámetros óptimos y las eficiencias de remoción obtenidas para los coagulantes en estudio

Etapas		Coagulantes		
		Sulfato de aluminio	Cloruro férrico	Trafloc 2F
Coagulación	Concentración madre	<b>3%</b>	<b>7%</b>	<b>2%</b>
	Efi. turb. (%) / (turb. inicial)	<b>46.3</b> (7.25 NTU)	<b>93.4</b> (9.11 NTU)	<b>93.1</b> (10.2 NTU)
	Efi color (%) / (color inicial)	<b>38.49</b> (47.8 UPtCo)	<b>77.61</b> (46.0 UPtCo)	<b>91.04</b> (48.0 UPtCo)
	Dosis optima (mg/l)	<b>60</b>	<b>35</b>	<b>15</b>
	Efi. turb. (%) / (turb. inicial)	<b>47.8</b> (5.73 NTU)	<b>82.2</b> (5.10 NTU)	<b>91.2</b> (5.36 NTU)
	Efi color (%) / (color inicial)	<b>51.6</b> (33.9 UPtCo)	<b>71.2</b> (31.2 UPtCo)	<b>84.5</b> (32.2 UPtCo)
	pH	<b>8.5</b>	<b>8.5</b>	<b>7.3</b>
	Efi. turb. (%) / (turb. inicial)	<b>52.9</b> (5.48 NTU)	<b>82.5</b> (6.12 NTU)	<b>92.9</b> (9.94 NTU)
	Efi color (%) / (color inicial)	<b>40.4</b> (29.7 UPtCo)	<b>62.1</b> (29.8 UPtCo)	<b>86.2</b> (45.8 UPtCo)
	TMR (s)	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>50</b>
	Efi. turb. (%) / (turb. inicial)	<b>65.8</b> (5.47 NTU)	<b>83.2</b> (4.91 NTU)	<b>91.8</b> (5.98 NTU)
	Efi color (%) / (color inicial)	<b>63.6</b> (23.1 UPtCo)	<b>80.1</b> (39.1 UPtCo)	<b>89.6</b> (36.5 UPtCo)
Floculación	Gradiente y tiempo de mezcla lenta	<b>22s<sup>-1</sup></b> TML: <b>20 min</b>	<b>22s<sup>-1</sup></b> TML: <b>35 min</b>	<b>22s<sup>-1</sup></b> TML: <b>15 min</b>
	Efi. turb. (%) / (turb. inicial)	<b>87.8</b> (13.7 NTU)	<b>93.2</b> (7.34 NTU)	<b>90.5</b> (9.06 NTU)

Continuación tabla 10.

	Efi color (%)/ (color inicial)	<b>71.6</b> (33.5 UPTCo)	<b>74.3</b> (31.5 UPTCo)	<b>83.0</b> (44.0 UPTCo)
<b>Sedimentación</b>	Vsc (cm/min)	<b>0.67</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
	Turb. Inicial (N.T.U)	<b>5.93</b>	<b>5.97</b>	<b>5.59</b>
	Turb. Final (NTU)	<b>0.964</b>	<b>0.615</b>	<b>0.793</b>
	Eficiencia (%)	<b>83.7</b>	<b>89.7</b>	<b>85.8</b>
<b>Parámetros óptimos determinados</b>	Dosis (mg/l)	<b>50</b>	<b>27</b>	<b>13</b>
	Efi. turb. (%)/ (turb. inicial)	<b>78.2</b> (5.65 NTU)	<b>86.5</b> (7.91 NTU)	<b>89.3</b> (9.02 NTU)
	Efi color (%)/ (color inicial)	<b>67.6</b> (28.4 UPTCo)	<b>80.2</b> (43.4 UPTCo)	<b>86.1</b> (51.9 UPTCo)

Al analizar la tabla 10 se puede decir que:

Con relación a la determinación de la solución madre óptima de coagulante el Trafloc 2F con una concentración del 2% registra las mejores eficiencias que las reportadas para los otros dos coagulantes con la ventaja en la medición de sus volúmenes para la dosificación tal como sucede con la concentración determinada para el sulfato de aluminio del 3%, pero presentan el inconveniente de que al ser concentraciones bajas tienden a hidrolizarse muy rápidamente lo que dificulta su utilización en planta. En cuanto al cloruro férrico con una concentración del 7% presenta buenas eficiencias de remoción pero tiene la desventaja de que esta concentración no favorece la precisión en su dosificación.

Al comparar el parámetro de dosis óptima el coagulante Trafloc 2F es el que menor dosis requiere (15 mg/l) en comparación con el sulfato de aluminio (Dosis de 60 mg/l) y el cloruro férrico (Dosis de 35 mg/l) y presenta las mayores eficiencias en comparación con estos coagulantes registrándose las menores para el sulfato de aluminio. Sin embargo, es importante resaltar que las dosis óptimas determinadas en el estudio de tratabilidad fueron para la realización de cada una de las pruebas, por tanto, si existe una amplia variabilidad en las características del agua a tratar se debe determinar a escala real la dosis óptima de coagulante de manera periódica para cada calidad de agua cruda.

En cuanto a los pH's de coagulación, el coagulante Trafloc 2F no requiere de un ajuste de pH y aun así alcanza las mayores eficiencias de remoción en comparación con los otros dos coagulantes para los cuales su pH se debe corregir a un valor de 8.5.

Para la determinación del parámetro tiempo de mezcla rápida se obtuvo un tiempo de 10 segundos para el sulfato de aluminio con el cual hubo un aumento del 10% y del 20% en las eficiencias de remoción de turbiedad y color respectivamente.

Mientras que para los coagulantes cloruro férrico (TMR = 30 s) y Trafloc 2F (TMR = 50 s) no se evidenció una influencia significativa de este parámetro en el aumento de las eficiencias de remoción reportadas.

En general, en la etapa de coagulación se aprecia que el coagulante Trafloc 2F es el que presentó las mayores eficiencias de remoción de turbiedad y color con respecto a los otros dos coagulantes.

En la etapa de floculación se determinó el mismo gradiente óptimo ( $22 \text{ s}^{-1}$ ) para los tres coagulantes pero variaron sus tiempos de mezcla lenta, donde el coagulante Trafloc 2F es el que registra las mayores eficiencias con el menor tiempo de mezcla lenta (15 min). También al determinarse estos parámetros en la etapa de floculación, el sulfato de aluminio es el que presenta un aumento significativo en sus eficiencias y el coagulante cloruro férrico es el que requiere el mayor tiempo de mezcla lenta (35 minutos) en comparación a los otros dos coagulantes.

Al determinar las velocidades de sedimentación críticas de 0.67 cm/min para el sulfato de aluminio y de 1.0 cm/min para los coagulantes cloruro férrico y Trafloc 2F con turbiedades iniciales en el orden de 5 NTU se garantizan turbiedades menores a 1 NTU en el agua decantada con eficiencias mayores al 80%. Sin embargo, es importante resaltar que para el coagulante Trafloc 2F con turbiedades de agua cruda mayores no se alcanzan turbiedades del agua sedimentada de 1 NTU con ninguna de las velocidades de sedimentación estudiadas (Tabla 9).

De acuerdo a lo anteriormente analizado, el coagulante Trafloc 2F se considera la mejor opción para tratar la fuente río Palacé al registrar éste las mejores eficiencias de remoción de turbiedad y color en cada una de las etapas.

## 6. CONCLUSIONES

- Debido a la variabilidad del agua cruda en cuanto a las características físicas (turbiedad y color) es necesario realizar constantemente la determinación de la dosis óptima de coagulante razón por la cual no es posible recomendar una dosis óptima específica.
- Al determinarse la solución madre de coagulante se obtuvieron bajas concentraciones para los coagulantes sulfato de aluminio líquido (3%) y Trafloc 2F (2%) con el inconveniente que tienden a hidrolizarse rápidamente lo que puede ser un problema para la utilización en planta, en contraste el coagulante cloruro férrico fue el que requirió la mayor concentración de solución madre (7%).
- Es necesario realizar ajuste de pH a un valor de 8.5 que corresponde al pH óptimo determinado para el caso del sulfato de aluminio líquido tipo B y del cloruro férrico para alcanzar mejores eficiencias de remoción, mientras que para el Trafloc 2F no se requiere un ajuste de pH debido a que éste presentó buenas eficiencias de remoción de turbiedad y color para un amplio rango de pH's, dentro de los que se encuentra el pH del agua cruda de la fuente Palacé.
- Los tiempos de mezcla rápida óptimos determinados indican la influencia que tiene este parámetro en las eficiencias de remoción de turbiedad y color, siendo más significativa en el coagulante sulfato de aluminio líquido, pues para éste se registró un aumento considerable en sus eficiencias de remoción de turbiedad y color.
- Al ensayar los tres coagulantes, el gradiente de mezcla lenta que tuvo las mejores eficiencias de remoción de turbiedad y color fue el de  $22 \text{ s}^{-1}$ .
- Los tres coagulantes mostraron requerir más tiempo de mezcla lenta para remover o alcanzar una eficiencia similar en el parámetro color con respecto a los tiempos necesarios para tener una buena remoción de turbiedad, determinándose por tal razón tiempos de 20 minutos para sulfato de aluminio líquido tipo B, 35 minutos para cloruro férrico y 15 minutos para Trafloc 2F.
- La velocidad de sedimentación crítica determinada para los tres coagulantes estudiados es de  $1 \text{ cm/min}$  con la cual los coagulantes sulfato de aluminio líquido y cloruro férrico garantizan turbiedades del agua sedimentada de 1 NTU y el coagulante Trafloc 2F de 2 NTU.

- Se obtuvieron resultados positivos al ajustarse los parámetros de tratabilidad a los óptimos determinados en las etapas 1, 2 y 3 para cada uno de los coagulantes ya que se disminuyó la dosis necesaria para cada uno de éstos y a la vez se registraron aumentos en las eficiencias de remoción de turbiedad y color.
- Al comparar los parámetros óptimos determinados en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación para la fuente utilizando los tres coagulantes, el Trafloc 2F fue el que presentó las mejores eficiencias de remoción de color y turbiedad.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio en donde se determinen los parámetros óptimos de cada unidad de la planta de tratamiento con el fin de comparar los resultados y su coincidencia con los que se obtuvieron y generaron en el presente estudio.
- Se sugiere hacer un estudio comparativo de costos entre los coagulantes ensayados con el fin de determinar la mejor opción por economía del producto.
- Para posibles investigaciones se recomienda estudiar la posibilidad de reducir la dosis de coagulante y mejorar las eficiencias de los procesos en planta utilizando polímeros sintéticos.
- Es recomendable realizar una evaluación en planta del efecto de ajustar el pH del agua cruda antes de ser adicionado el coagulante con el fin de determinar si hay un mejoramiento en los procesos, ya que actualmente la corrección de pH se realiza después de la cloración.
- Se recomienda el uso frecuente (diario) del equipo de pruebas de jarras y que las pruebas se realicen de manera precisa para así obtener resultados más confiables que contribuyan a un mejoramiento en las condiciones de funcionamiento de la planta. Así mismo se recomienda que la determinación de los parámetros (turbiedad, color y pH) por parte de los operadores de la planta Palacé se realicen en equipos más precisos.
- Para posibles investigaciones en planta que se efectúen con los coagulantes aquí estudiados, se recomienda el ajuste a los tiempos óptimos y en general a los parámetros óptimos determinados.
- Al contar con una canaleta Parshall como mezclador hidráulico en la planta, se recomienda verificar que la dosificación y la mezcla rápida estén operando satisfactoriamente, es decir que la solución esté aplicándose uniformemente en el punto de máxima turbulencia.
- Se recomienda realizar un estudio costo beneficio de la posibilidad de cambiar el mezclador hidráulico canaleta Parshall por un mezclador mecánico para efectuar la mezcla rápida.

- Se sugiere verificar que el tiempo de contacto en las unidades de floculación sea el suficiente, para permitir que los flóculos alcancen el tamaño y peso adecuado considerándose para ello los parámetros de gradiente de velocidad y tiempos de mezcla óptimos obtenidos en las pruebas de jarras.

## BIBLIOGRAFÍA

ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A, E.S.P. Informe mensual Análisis físico químicos. Popayán: Laboratorio Planta de Tratamiento Tablazo, 2012 - 2013. Registros Mensuales Julio 2012 - Mayo 2013.

ANDÍA CÁRDENAS, Yolanda. Tratamiento del agua, Coagulación y floculación. Lima, Perú: 2000.

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. 3. Santa Fé de Bogotá, D.C., Colombia: Mc Graw Hill, 2000. v. 1. 362 p. ISBN: 958-41-0013-0. .

BARRENECHEA MARTEL, Ada. Coagulación. En: Tratamiento de agua para consumo humano - Plantas de filtración rápida, Manual I: Teoría. Tomo I. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS), 2004. p 151-220.

BERÓN, F., IDROBO, J. y LATORRE, J. Optimización del funcionamiento de Plantas de Potabilización de Agua mediante la utilización de Cloruro Férrico. En: Seminario Internacional: Visión Integral en el Mejoramiento de la Calidad del Agua. Santiago de Cali: Universidad del Valle/Instituto Cinara, 2000. p. 1.

BOLETIN DE PRENSA, No 084 [en línea]. Popayán: Oficina de prensa y comunicaciones Alcaldía de Popayán, Lunes, 18 de abril de 2011, [citado 29 de noviembre de 2012]. Disponible en internet: <http://popayan-cauca.gov.co>

CAMARGO VALERO, Miller y CRUZ TORRES, Luis Eduardo. Sustancias húmicas en aguas para abastecimiento. En: Revista Ingeniería e Investigación [en línea]. No. 44 2011. [citado 29 Mayo 2013]. Disponible en internet: <http://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevinv/article/view/21301>

CÁNEPA DE VARGAS, Lidia. Floculación. En: Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría. Tomo I. Lima: CEPIS, 2004. p 264-306.

CÁRDENAS, Yolanda Andía. Tratamiento de agua: Coagulación - Floculación. En: Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico. Lima: SEPADAL, 2000. 44 p.

CEPIS. Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 1973. 558 p.

COGOLLO FLOREZ, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del hidroxiclورو de aluminio./ water clarification using

polymerized coagulants: Aluminum hydroxychloride case. En: Dyna [en línea]. vol. 78, no. 165. 2011. [citado 5 Abril 2013]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5419/>. ISSN 0012-7353.

COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua potable y Saneamiento Básico - RAS 2000 Sistemas de Potabilización Título C. Bogotá D.C.: 2000. p.

COLOMBIA, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto 1575 (09, mayo, 2007). Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Bogotá: El Ministerio, 2007. 14 p.

COLOMBIA, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Resolución 2115 (22, Junio, 2007). Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá: Ministerios, 2007. 23 p.

DI BERNARDO, Luiz. Métodos e técnicas de tratamento de água. Rio de Janeiro: ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1993. v. I. 496 p. ISBN: 85-7022-111-8.

EDWARDS, Geral A. y AMIRTHARAJAH, A. Removing color caused by humic acid. En: Journal AWWA [en línea]. American Water Works Association. 1985. [citado 11 Junio 2013]. Disponible en internet: <http://www.awwa.org/documents/dcdfiles/11299/waternet.0017254.pdf>

GARCÉS PAZ, Rosa Virginia. Obtención de la mínima dosis de reemplazo de policloruro de Aluminio en aguas y aguas de Pereira. Requisito parcial para optar el título de Química Industrial. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Química, Facultad de Tecnología 2010. 69 p.

GRANADOS CASTAÑO, Natalia Andrea. Determinación de la dosis más efectiva de la mezcla de carbón activado en polvo con sulfato de Aluminio líquido para la potabilización de agua en la empresa aguas y aguas de Pereira. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de tecnologías. Escuela de Tecnología química, 2007. 206 p.

HERKENHOFF CARVALHO, Maria José. Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável. Tesis de Maestría en Ingeniería Urbana. Maringá: Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Engenharia Civil, 2008. 177 p.

HUISMAN, L., AZEVEDO NETTO, José., SUNDARESAN, B.B., LANOIX, J.N., HOFKES, Ebbo H. Sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas

comunidades: tecnología de pequeños sistemas de abastecimiento de agua en países en desarrollo. 1988. p.

KIRCHMER, Cliff J. Aspectos químicos y físicos de la coagulación del agua. En: Curso sobre Tecnología de Tratamiento de Agua para Países en Desarrollo (1-16 Dic: Lima). Lima: CEPIS, 1977. 37 p.

MALDONADO YACTAYO, Víctor. Sedimentación. En: Tratamiento de agua para consumo humano - Plantas de filtración rápida, Manual I: Teoría. Tomo II. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS), 2004. p 1-58.

MARÍN GALVÍN, Rafael. Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A., 2003. ISBN: 84-7978-590-X.

MARTÍN-DOMÍNGUEZ, Alejandra, RIVERA HUERTA, María de Lourdes, PIÑA SOBERANIS, Martín y PÉREZ CASTREJÓN, Sara. Incidencia del gradiente de velocidad en la eficiencia de la electrocoagulación para remover arsénico en un reactor a flujo pistón. En: Interciencia [en línea]. 2008. [citado 13 Junio 2013]. Disponible en internet: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php>. ISSN 0378-1844.

MUNAR SAMBONÍ, Andrés Mauricio y SOLÍS CHÁVEZ, Hugo Javier. Estudio de los parámetros óptimos de tratabilidad del agua cruda para la planta de tratamiento de agua del municipio de Santander de Quilichao. Trabajo de grado Ingeniero Ambiental. Popayán: Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería civil. Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, 2006. 98 p.

OJEDA BÁEZ, Lizabeth Fernanda. Determinación de la eficiencia de las Características coagulantes y floculantes del *Tropaeolum Tuberosum*, en el tratamiento del agua cruda de la Planta de Puengasí de la EPMAPS. Trabajo de Grado Ingeniero en Biotecnología de los Recursos Naturales. Quito: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, 2012. 159 p.

PÉREZ PARRA, Jorge Arturo. calidad del agua. [en línea], Medellín, 1981, [citado 23 Mayo 2013]. Disponible en internet: [http://www.bdigital.unal.edu.co/70/2/45\\_-\\_1\\_Prel\\_1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/70/2/45_-_1_Prel_1.pdf)

RATNAYAKA, Don D., BRANDT, Malcolm J. y JOHNSON, K. Michael. CHAPTER 6 - Chemistry, Microbiology and Biology of Water. En: Water Supply (Sixth Edition) [en línea]. Boston: Butterworth-Heinemann, 2009. [citado 27 Mayo 2013] p 2195-2266. Disponible en internet <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750668439000147>.

RESTREPO OSORNO, Hernán Alonso. Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable. Tesis de Pregrado. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, 2009. 109 p.

RODRIGUEZ SALCEDO, Carlos Francisco. Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Sincelejo: Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2008. p.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Purificación del agua. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2005. p. 47-190. ISBN: 958-8060-16-8.

ROSSINI, M., GARCIA, J. y GALLUZZO, M. Optimization of the coagulation–floculation treatment: influence of rapid mix parameters. En: Water Research. 1999, 33, p 1817-1826.

SANCLEMENTE P., Mauricio Ingeniero consultor. Ajuste finales al diseño de las conducciones de agua y planta de potabilización. En: Acueducto para la zona norte de Popayán. Popayán: Corporación Autónoma Regional del Cauca y Consorcio Acuanorte, 2004.

SNOEYINK, Veron L. y JENKINS, David. Química del agua. México D.F.: Editorial Limusa S.A., 2002. p. 199. ISBN: 968-18-1608-0.

VARGAS, lidia de. Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. En: Tratamiento de agua para consumo humano - Plantas de filtración rápida, Manual I: Teoría. Tomo II. Lima, Perú: Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (CEPIS), 2004. p 215-278.

XIAO, Feng, HUANG, Ju-Chang Howard, ZHANG, Bao-jie y CUI, Chong-wei. Effects of low temperature on coagulation kinetics and floc surface morphology using alum. En: Desalination [en línea]. vol 237, p 201-213. 2009. [citado 13 Junio 2013]. Disponible en internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001191640800684X>. ISSN 0011-9164

YU, Wen-zheng, GREGORY, John, CAMPOS, Luiza y LI, Guibai. The role of mixing conditions on floc growth, breakage and re-growth. En: Chemical Engineering Journal [en línea]. vol 171, no 2, p 425-430. 2011. [citado 25 mayo 2013]. Disponible en internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138589471100427X>. ISSN 1385 -8947.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. FICHAS TECNICAS DE COAGULANTES Y EQUIPOS UTILIZADOS

### Ficha técnica sulfato de aluminio líquido tipo B: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$

Apariencia	Café/pardo
$\text{Al}_2\text{O}_3$ mín %	7,3
Hierro como $\text{Fe}_2\text{O}_3$ máx. %	1,2
Insolubles en Agua, % máximo.	0,1
Densidad mg/l	1,318
Basicidad, como % de $\text{Al}_2\text{O}_3$ Libre mínimo	(*)

(\*) De acuerdo con materia prima (bauxita) que se utilice para su fabricación. (\*\*)  
Acordado con el cliente. El sulfato de aluminio líquido PQP se ajustan a las normas de AWWA B40 3, NTC 531. Otras referencias de sulfato de aluminio líquido se fabrican bajo pedido.

### Ficha técnica Cloruro férrico: $\text{FeCl}_3$

Apariencia	Café oscuro
Concentración $\text{FeCl}_3$ mín. %	36,0 (*)
Hierro soluble como $\text{Fe}^{+3}$ mín. %	12,33
Acidez libre Hcl máx. %	1,0
Densidad, mg/l	1,45
Insolubles máx. %	0,1

(\*) El producto se puede suministrar hasta una concentración máxima de 45% de  $\text{FeCl}_3$ , para evitar cristalización en tanques de almacenamiento, manejos y sistemas de dosificación.

### Ficha técnica Trafloc 2F

Descripción: Trafloc 2F es un coagulante inorgánico compuesto de sales polinucleares de aluminio y cloruro férrico con característica que permite una mayor efectividad con respecto a otros productos como el cloruro férrico, el sulfato de aluminio (alumbre).



Apariencia	Líquido rojizo
Concentración % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19 ± 0.5
Solubilidad en Agua	100%
Densidad 25 ° C (gr/cc)l	1,32 ± 0.004
pH (1% M solución)	3-4

### Ficha técnica de equipos

EQUIPO	CASA MATRIZ	MODELO
Floculador	E & Q	-
Espectrofotómetro	Spectroquant	NOVA 60
Turbidímetro	Hach	2100Q
pHmetro	Orion	720 A

## ANEXO 2. MODELO DE TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO

FECHA: \_\_\_\_\_

HORA: \_\_\_\_\_

PRUEBA # \_\_ \_\_\_\_\_

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )		
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis Coagulante (mg / L)							
Volumen Coagulante (mL)							
Turbiedad Residual (NTU)							
Color Residual (UPtCO)							
pH							
Ef. Rem. Turbiedad (%)							
Ef. Rem. Color (%)							

### ANEXO 3. REGISTRO DE DATOS

#### ANEXO 3.1 Determinación de los parámetros óptimos del proceso de coagulación

#### ESTUDIOS REALIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DE LA SOLUCIÓN MADRE ÓPTIMA DE COAGULANTE

FECHA: 30/01/2013  
 PRUEBA # 1. Cloruro Férrico 1%

HORA: 08:15 a.m.

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
4.26	75	18.1	7.52	17		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	1	0

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	5	10	20	30	40	45
Volumen Coagulante (ml)	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	9.0
Turbiedad Residual (NTU)	4.33	5.08	0.59	0.64	0.44	0.25
Color Residual (UPtCO)	34.6	59.2	8.4	6.3	5.5	6.7
pH	7.02	6.73	6.33	6.01	5.64	5.29
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0.00	0.00	86.15	84.98	89.67	94.13
Ef. Rem. Color (%)	0.00	0.00	53.59	65.19	69.61	62.98

FECHA: 30/01/2013 HORA: 8:15 a.m.  
 PRUEBA # 2. Sulfato de aluminio liquido 1%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
4.26	75	18.1	7.52	18		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	1	0

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0
Turbiedad Residual (NTU)	4.73	5.58	3.21	4.71	6.43	5.62
Color Residual (UPtCO)	19.1	20.6	11.7	13.4	13.8	15
pH	6.99	6.85	6.66	6.53	6.42	6.34
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0.00	0.00	24.65	0.00	0.00	0.00
Ef. Rem. Color (%)	0.00	0.00	35.36	25.97	23.76	17.13

FECHA: 30/01/2013 HORA: 1:34 p.m.  
 PRUEBA # 3. Trafloc 2F 1%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
4,35	83	17,4	7,63	16		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	1	0

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
Turbiedad Residual (NTU)	1,17	0,29	0,29	6,49	6,59	4,9
Color Residual (UPtCo)	3,8	0	0	16,1	28,2	29,1
pH	6.88	6,47	6,26	6,02	5,78	5,58
Ef. Rem. Turbiedad (%)	73,10	93,33	93,33	0,00	0,00	0,00
Ef. Rem. Color (%)	78,16	100,00	100,00	7,47	0,00	0,00

FECHA: 31/01/2013

HORA:8:05 a.m.

PRUEBA # 4. Sulfato de Aluminio Líquido 2%

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
4,62	81	17,5	7,46	15		
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	2	0

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Turbiedad Residual (NTU)	3,83	5,06	3,02	5,71	5,58	5,27
Color Residual (UPtCo)	17,9	20,1	12,3	19,1	21,5	19,6
pH	7,26	6,85	6,68	6,55	6,37	6,26
Ef. Rem. Turbiedad (%)	17,10	0,00	34,63	0,00	0,00	0,00
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	29,71	0,00	0,00	0,00

FECHA: 31/01/2013 HORA: 8:05 am  
 PRUEBA # 5. Cloruro Férrico 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
4,62	81	17,5	7,46	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	2	0

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Turbiedad Residual (NTU)	4,93	1,56	0,74	0,59	0,31	7,98
Color Residual (UPtCo)	53,6	16	6,6	4,5	5,4	226,8
pH	6,8	6,43	6,16	5,73	5,28	4,33
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	66,23	83,98	87,23	93,29	0,00
Ef. Rem. Color (%)	0,00	8,57	62,29	74,29	69,14	0,00

FECHA: 31/01/2013 HORA: 8:05 am  
 PRUEBA # 6. Trafloc 2F 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
4,62	81	17,5	7,46	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	2	0

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Turbiedad Residual (NTU)	1,37	0,31	0,22	0,95	6,02	5,12
Color Residual (UPtCo)	4,5	0	0	5,5	29,5	29,1
pH	6,95	6,61	6,3	6,1	6,81	5,65
Ef. Rem. Turbiedad (%)	70,35	93,29	95,24	79,44	0,00	0,00
Ef. Rem. Color (%)	74,29	100,00	100,00	68,57	0,00	0,00

FECHA: 13/03/2013 HORA: 11:24 a.m.  
 PRUEBA # 7. Sulfato de Aluminio Liquido 3%

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
7,7	50	41,1	7,17	15		
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	3	0
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	0,7	1,3	2,0	2,7	3,3	4,0
Turbiedad Residual (NTU)	6,53	6,81	6,67	7,87	8,31	6,69
Color Residual (UPtCo)	42,3	43,7	39,7	32,8	33,6	28,6
pH	6,89	6,71	6,64	6,49	6,32	6,14
Ef. Rem. Turbiedad (%)	15,19	11,56	13,38	0,00	0,00	13,12
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	3,41	20,19	18,25	30,41

FECHA: 04/02/2013 HORA: 8:13am  
 PRUEBA # 8. Cloruro Férrico 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
4,81	82	19,0	7,47	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	3	0

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	0,7	1,3	2,0	2,7	3,3	4,0
Turbiedad Residual (NTU)	5,47	1,68	0,55	0,58	0,52	6,62
Color Residual (UPtCo)	58,8	21,7	5,9	6,3	17,9	257,6
pH	6,56	6,38	5,78	5,65	5,19	4,16
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	65,07	88,57	87,94	89,19	0,00
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	68,95	66,84	5,79	0,00

FECHA: 04/02/2013 HORA: 8:13 a.m  
 PRUEBA # 9 Trafloc 2F 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
4,81	82	19,0	7,47	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	3	0



<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	0,7	1,3	2,0	2,7	3,3	4,0
Turbiedad Residual (NTU)	1,13	0,57	0,42	0,64	6,37	5,04
Color Residual (UPtCo)	3,6	0,7	1,6	4,4	31,4	30,2
pH	6,75	6,51	6,1	5,99	5,81	5,61
Ef. Rem. Turbiedad (%)	76,51	88,15	91,27	86,69	0,00	0,00
Ef. Rem. Color (%)	81,05	96,32	91,58	76,84	0,00	0,00

FECHA: 04/02/2013 HORA: 12:07 p.m.  
 PRUEBA # 10. Sulfato de Aluminio Líquido 5%

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
5,39	83	17,7	7,42	15		
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	5	0

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	30	40	50	60	70	80
Volumen Coagulante (ml)	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
Turbiedad Residual (NTU)	3,33	4,18	3,56	4,95	4,52	3,96
Color Residual (UPtCo)	13,9	16,0	12,3	17,5	16,8	15,4
pH	6,66	6,51	6,39	6,21	6,13	6,04
Ef. Rem. Turbiedad (%)	38,22	22,45	33,95	8,16	16,14	26,53
Ef. Rem. Color (%)	21,47	9,60	30,51	1,13	5,08	12,99

FECHA: 04/02/2013 HORA: 12:07:00 p.m.  
 PRUEBA # 11. Cloruro férrico 5%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
5,39	83	17,7	7,42	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	5	0

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
Turbiedad Residual (NTU)	2,33	1,15	0,91	0,52	0,62	7,63
Color Residual (UPtCo)	27,0	12,1	8,2	7,3	23,4	264,0
pH	6,43	6,18	6,01	5,68	5,11	4,07
Ef. Rem. Turbiedad (%)	56,77	78,66	83,12	90,35	88,50	0,00
Ef. Rem. Color (%)	0,00	31,64	53,67	58,76	0,00	0,00

FECHA: 04/02/2013 HORA: 12:07:00 p.m.  
 PRUEBA # 12. Trafloc 2F 5%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
5,39	83	17,7	7,42	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	5	0

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
Turbiedad Residual (NTU)	0,62	0,3	0,2	0,89	6,24	4,5
Color Residual (UPtCo)	1,6	0,1	0	6,8	29,9	30,2
pH	6,54	6,48	6,35	6,03	5,81	5,57
Ef. Rem. Turbiedad (%)	88,50	94,43	96,29	83,49	0,00	16,51
Ef. Rem. Color (%)	90,96	99,44	100,00	61,58	0,00	0,00

FECHA: 05/02/2013 HORA: 12:08pm  
 PRUEBA # 13. Sulfato de aluminio liquido 7%

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
15,6	63	36,1	7,31	16		
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	7	0

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	20	30	40	50	60	70
Volumen Coagulante (ml)	0,6	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0
Turbiedad Residual (NTU)	12,7	4,76	3,45	6,22	7,91	7,85
Color Residual (UPtCo)	37,6	17,0	11,0	16,0	21,0	20,3
pH	6,90	6,59	6,54	6,33	6,21	6,11
Ef. Rem. Turbiedad (%)	18,59	69,49	77,88	60,13	49,29	49,68
Ef. Rem. Color (%)	0,00	52,91	69,53	55,68	41,83	43,77

FECHA: 05/02/2013 HORA: 12:08pm  
 PRUEBA # 14. Cloruro férrico 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
15,6	63	36,1	7,31	16		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	7	0

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	0,3	0,6	0,9	1,1	1,4	1,7
Turbiedad Residual (NTU)	5,49	1,88	1,13	1,02	4,53	13,1
Color Residual (UPtCo)	61,9	10,7	6,7	6,0	105,4	282,4
pH	6,49	6,13	5,93	5,68	5,00	4,02
Ef. Rem. Turbiedad (%)	64,81	87,95	92,76	93,46	70,96	16,03
Ef. Rem. Color (%)	0,00	70,36	81,44	83,38	0,00	0,00

FECHA: 05/02/2013 HORA: 12:08pm  
 PRUEBA # 15. Trafloc 2F 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
15,6	63	36,1	7,31	16		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	7	0

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	0,3	0,6	0,9	1,1	1,4	1,7
Turbiedad Residual (NTU)	1,06	0,31	0,34	0,91	14,6	13,5
Color Residual (UPtCo)	4,1	1,8	2,1	7,9	47,9	48,3
pH	6,29	6,09	6,01	5,89	5,69	5,51
Ef. Rem. Turbiedad (%)	93,21	98,01	97,82	94,17	6,41	13,46
Ef. Rem. Color (%)	88,64	95,01	94,18	78,12	0,00	0,00

FECHA: 06/02/2013 HORA: 07:52 a.m.  
 PRUEBA # 16. Sulfato de Aluminio Líquido 10%

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
6,57	83	23,6	7,07	15		
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	10	0

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	20	30	40	50	60	70
Volumen Coagulante (ml)	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
Turbiedad Residual (NTU)	7,29	7,15	5,27	6,64	7,25	5,92
Color Residual (UPtCo)	25,0	25,6	16,3	22,2	23,1	20,9
pH	6,83	6,58	6,41	6,38	6,30	6,16
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	0,00	19,79	0,00	0,00	9,89
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	30,93	5,93	2,12	11,44

FECHA: 06/02/2013 HORA: 07:52:00 a.m.  
 PRUEBA # 17. Cloruro Férrico 10%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
6,57	83	23,6	7,07	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	10	0

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Turbiedad Residual (NTU)	2,48	1,66	0,48	1,06	4,67	7,69
Color Residual (UPtCo)	22,4	13,1	6,0	27,6	140,9	268,0
pH	6,37	5,99	5,75	5,24	5,01	4,09
Ef. Rem. Turbiedad (%)	62,25	74,73	92,69	83,87	28,92	0,00
Ef. Rem. Color (%)	5,08	44,49	74,58	0,00	0,00	0,00

FECHA: 06/02/2013 HORA: 07:52:00 a.m.  
 PRUEBA # 18. Trafloc 2F 10%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
6,57	83	23,6	7,07	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	10	0
RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60

Volumen Coagulante (ml)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Turbiedad Residual (NTU)	1,82	0,60	0,36	1,77	8,28	6,54
Color Residual (UPtCo)	7,1	1,6	0,5	14,9	37,1	35,0
pH	6,90	6,48	6,43	6,00	5,91	5,70
Ef. Rem. Turbiedad (%)	72,30	90,87	94,52	73,06	0,00	0,46
Ef. Rem. Color (%)	69,92	93,22	97,88	36,86	0,00	0,00

RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA SOLUCIÓN MADRE ÓPTIMA DE COAGULANTE, DOSIS CONSTANTE Y CONCENTRACIÓN SOLUCIÓN MADRE VARIABLE

FECHA: 13/02/2013

HORA: 01:08 p.m.

PRUEBA # 19. Sulfato de Aluminio Líquido; Dosis constante, concentración variable

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
10,2	48	44,3	6,94	15		
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	Variable	0

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Solución Madre coagulante (%)	1	2	3	5	7	10
Dosis Coagulante (mg/l)	40	40	40	40	40	40
Volumen Coagulante (ml)	8,0	4,0	2,7	1,6	1,1	0,8
Turbiedad Residual (NTU)	10,0	9,26	5,78	8,10	8,62	8,44
Color Residual (UPtCo)	32,2	37,8	23,6	32,3	37,5	34,6
pH	6,19	6,15	6,11	6,06	6,04	6,01
Ef. Rem. Turbiedad (%)	2,91	10,10	43,88	21,36	16,31	18,06
Ef. Rem. Color (%)	27,31	14,67	46,73	27,09	15,35	21,90

FECHA: 14/02/2013  
 PRUEBA # 20. Trafloc 2F

HORA: 09:25 a.m.

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
10,2	53	48,0	6,39	15		
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	Variable	0

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Solución Madre coagulante (%)	1	2	3	5	7	10
Dosis Coagulante (mg/l)	20	20	20	20	20	20
Volumen Coagulante (ml)	4,0	2,0	1,3	0,8	0,6	0,4
Turbiedad Residual (NTU)	1,68	0,70	0,55	0,56	0,58	0,74
Color Residual (UPtCo)	12,7	4,3	4,1	3,4	3,7	6,3
pH	6,26	6,22	6,19	6,20	6,17	6,10
Ef. Rem. Turbiedad (%)	83,53	93,14	94,61	94,51	94,31	92,75
Ef. Rem. Color (%)	73,54	91,04	91,46	92,92	92,29	86,88

FECHA: 14/02/2013  
 PRUEBA # 21. Trafloc 2F

HORA: 11:12 a.m.

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
16,2	58	47,9	7,03	15		
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	Variable	0



<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Solución Madre coagulante (%)	1	2	3	5	7	10
Dosis Coagulante (mg/l)	20	20	20	20	20	20
Volumen Coagulante (ml)	4,0	2,0	1,3	0,8	0,6	0,4
Turbiedad Residual (NTU)	13,9	1,00	0,87	0,66	0,67	0,7
Color Residual (UPtCo)	56,9	7,5	6,0	5,4	5,1	6,4
pH	6,25	6,22	6,19	6,18	6,16	6,16
Ef. Rem. Turbiedad (%)	14,20	93,83	94,63	95,93	95,86	95,68
Ef. Rem. Color (%)	0,00	84,34	87,47	88,73	89,35	86,64

FECHA: 19/02/2013 HORA: 8:55 am  
 PRUEBA # 22. Sulfato de Aluminio Líquido

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
16,6	57	80,3	7,06	14		
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	Variable	0

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Solución Madre coagulante (%)	1	2	3	5	7	10
Dosis Coagulante (mg/l)	40	40	40	40	40	40
Volumen Coagulante (ml)	8,0	4,0	2,7	1,6	1,2	0,8
Turbiedad Residual (NTU)	12,60	10,20	7,72	9,16	9,83	8,68
Color Residual (UPtCo)	49,3	45,1	35,2	41,6	43,3	42,0
pH	5,80	5,93	5,95	5,97	5,96	6,02

Ef. Rem. Turbiedad (%)	24,10	38,55	53,49	44,82	40,78	47,71
Ef. Rem. Color (%)	38,61	43,84	56,16	48,19	46,08	47,70

FECHA: 20/02/2013 HORA: 08:22 a.m.  
 PRUEBA # 23. Sulfato de Aluminio Líquido

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)
6,32		51		48,3		6,43		14
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	60	40	20	20	Variable	10	2,6	8,43
RESULTADOS DE LA PRUEBA								
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6		
Solución Madre coagulante (%)	1	2	3	5	7	10		
Dosis Coagulante (mg/l)	40	40	40	40	40	40		
Volumen Coagulante (ml)	8,0	4,0	2,7	1,6	1,2	0,8		
Turbiedad Residual (NTU)	4,52	5,79	3,93	5,52	5,88	8,13		
Color Residual (UPtCo)	26,8	33,2	28,1	38,4	39,6	53,7		
pH	6,91	6,83	6,81	6,81	6,8	6,79		
Ef. Rem. Turbiedad (%)	28,48	8,39	37,82	12,66	6,96	0,00		
Ef. Rem. Color (%)	44,51	31,26	41,82	20,50	18,01	0,00		

FECHA: 20/02/2013 HORA: 09:55 a.m.  
 PRUEBA # 24. Sulfato de Aluminio Líquido

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA				
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)
7,25	50	47,8	7,02	14

CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	60	40	20	20	Variable	10	-	8,48

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Solución Madre coagulante (%)	1	2	3	5	7	10
Dosis Coagulante (mg/l)	40	40	40	40	40	40
Volumen Coagulante (ml)	8,0	4,0	2,7	1,6	1,2	0,8
Turbiedad Residual (NTU)	4,62	5,88	3,89	5,65	9,08	5,90
Color Residual (UPtCo)	35,7	43,3	29,4	45,9	55,3	45,8
pH	6,33	6,45	6,47	6,55	6,61	6,63
Ef. Rem. Turbiedad (%)	36,28	18,90	46,34	22,07	0,00	18,62
Ef. Rem. Color (%)	25,31	9,41	38,49	3,97	0,00	4,18

FECHA: 20/02/2013

HORA: 12:17 p.m.

PRUEBA # 25. Cloruro Férrico

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
6,52	63	50,2	6,69	14				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	60	40	20	20	Variable	10	-	8,48

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Solución Madre coagulante (%)	1	2	3	5	7	10
Dosis Coagulante (mg/l)	30	30	30	30	30	30

Volumen Coagulante (ml)	6,0	3,0	2,0	1,2	0,9	0,6
Turbiedad Residual (NTU)	2,11	1,80	1,56	1,73	0,84	1,73
Color Residual (UPtCo)	23,4	19,0	15,5	20,9	11,8	18,0
pH	6,12	5,89	5,88	5,87	5,80	5,83
Ef. Rem. Turbiedad (%)	67,64	72,39	76,07	73,47	87,12	73,47
Ef. Rem. Color (%)	53,39	62,15	69,12	58,37	76,49	64,14

FECHA: 20/02/2013  
 PRUEBA # 26. Cloruro Férrico

HORA: 01:50 p.m.

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)
9,11		51		46,0		6,84		15
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	60	40	20	20	Variable	10		8,45

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Solución Madre coagulante (%)	1	2	3	5	7	10
Dosis Coagulante (mg/l)	30	30	30	30	30	30
Volumen Coagulante (ml)	6,0	3,0	2,0	1,2	0,9	0,6
Turbiedad Residual (NTU)	1,38	1,83	2,08	0,99	0,60	1,51
Color Residual (UPtCo)	14,5	19,6	24,5	13,8	10,3	20,0
pH	5,79	5,77	5,83	5,76	5,63	5,78
Ef. Rem. Turbiedad (%)	84,85	79,91	77,17	89,13	93,41	83,42
Ef. Rem. Color (%)	68,48	57,39	46,74	70,00	77,61	56,52

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

FECHA: 22/02/2013 HORA: 08:31 a.m.  
 PRUEBA # 27. Sulfato de Aluminio Líquido Determinación Dosis óptima [ 3%]

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>								
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)
7,00		53		34,7		6,83		15
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	60	40	20	20	3	10	3,5	8,41

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	35	40	45	50	55	60
Volumen Coagulante (ml)	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0
Turbiedad Residual (NTU)	7,33	6,99	4,57	3,69	2,82	2,52
Color Residual (UPtCo)	39,2	40,0	31,1	20,0	16,5	15,6
pH	6,98	6,98	6,94	6,87	6,76	6,67
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	0,14	34,71	47,29	59,71	64,00
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	10,37	42,36	52,45	55,04

FECHA: 22/02/2013 HORA: 10:22 a.m.  
 PRUEBA # 28. Sulfato de Aluminio Líquido Determinación Dosis óptima [ 3%]

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>								
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)
5,73		57		33,9		6,92		15

CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	60	40	20	20	3	10	3,5	8,44

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	55	60	65	70	75	80
Volumen Coagulante (ml)	3,7	4,0	4,3	4,7	5,0	5,3
Turbiedad Residual (NTU)	4,15	2,99	2,46	3,48	3,43	3,53
Color Residual (UPtCo)	17,9	16,4	13,0	16,7	17,3	16,0
pH	6,74	6,72	6,67	6,62	6,56	6,50
Ef. Rem. Turbiedad (%)	27,57	47,82	57,07	39,27	40,14	38,39
Ef. Rem. Color (%)	47,20	51,62	61,65	50,74	48,97	52,80

FECHA: 22/02/2013 HORA: 12:02 a.m.  
 PRUEBA # 29. Sulfato de Aluminio Líquido Determinación Dosis óptima [ 3%]

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
6,17	53	34,1	6,97	15				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	60	40	20	20	3	10	3,5	8,50

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	54	56	58	60	62	64
Volumen Coagulante (ml)	3,60	3,73	3,87	4,00	4,13	4,27

Turbiedad Residual (NTU)	6,81	2,78	2,37	2,66	2,79	2,67
Color Residual (UPtCo)	39,8	21,6	15,3	17,0	17,9	13,9
pH	6,83	6,81	6,77	6,76	6,74	6,71
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	54,94	61,59	56,89	54,78	56,73
Ef. Rem. Color (%)	0,00	36,66	55,13	50,15	47,51	59,24

FECHA: 22/02/2013 HORA: 01:51 p.m.  
 PRUEBA # 30. Cloruro Férrico concentración madre determinada al 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )		Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)			
6,06	54		34,1	7,05	16			
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	60	40	20	20	7	10	2,9	8,45

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	21	26	30	35	40	44
Volumen Coagulante (ml)	0,60	0,74	0,86	1,00	1,14	1,26
Turbiedad Residual (NTU)	9,95	2,75	1,02	0,47	0,81	1,07
Color Residual (UPtCo)	129,9	32,4	13,1	7,2	10,3	20,6
pH	6,35	6,33	6,15	5,85	5,75	5,58
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	54,62	83,17	92,24	86,63	82,34
Ef. Rem. Color (%)	0,00	4,99	61,58	78,89	69,79	39,59

FECHA: 25/02/2013 HORA: 08:00 a.m.  
 PRUEBA # 31. Cloruro Férrico concentración madre determinada al 7%

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
5,10	53	31,2	6,94	15				
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	60	40	20	20	7	10		8,46

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	30	33	35	37	40	42
Volumen Coagulante (ml)	0,86	0,94	1,00	1,06	1,14	1,20
Turbiedad Residual (NTU)	1,87	1,59	0,91	1,24	1,13	0,97
Color Residual (UPtCo)	20,4	15,7	9	12,91	11,5	10,5
pH	6,38	6,34	6,2	6,15	5,84	5,8
Ef. Rem. Turbiedad (%)	63,33	68,82	82,16	75,69	77,84	80,98
Ef. Rem. Color (%)	34,62	49,68	71,15	58,62	63,14	66,35

FECHA: 25/02/2013 HORA: 10:36 a.m.  
 PRUEBA # 32. Trafloc 2F concentración madre determinada al 2%

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
5,36	53	32,2	6,60	14				
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	60	40	20	20	2	10	2,0	8,19



<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	5	10	15	20	25	30
Volumen Coagulante (ml)	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
Turbiedad Residual (NTU)	2,74	0,77	0,47	0,59	0,33	0,48
Color Residual (UPtCo)	20,5	9,0	5,0	4,1	2,0	4,2
pH	7,26	7,2	7,15	7,09	6,55	6,37
Ef. Rem. Turbiedad (%)	48,88	85,63	91,23	88,99	93,84	91,04
Ef. Rem. Color (%)	36,34	72,05	84,47	87,27	93,79	86,96

FECHA: 25/02/2013 HORA: 12:21 p.m.  
 PRUEBA # 33. Trafloc 2F concentración madre determinada al 2%

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
5,17	52	31,7	6,90	15				
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	60	40	20	20	2	10	1,8	8,12

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	17	19	21	23	25	27
Volumen Coagulante (ml)	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70
Turbiedad Residual (NTU)	1,28	0,53	0,55	0,26	1,01	0,41
Color Residual (UPtCo)	4,8	3,1	2,6	2,1	2,9	2,3
pH	6,73	6,65	6,57	6,54	6,50	6,46
Ef. Rem. Turbiedad (%)	75,24	89,75	89,36	94,97	80,46	92,07
Ef. Rem. Color (%)	84,86	90,22	91,80	93,38	90,85	92,74

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO

FECHA: 27/02/2013 HORA: 08:17 a.m.  
 PRUEBA # 34. Determinación del pH de coagulación óptimo para el Sulfato de Aluminio al 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPTCo)	pH	Temperatura (°C)		
5,48	57	29,7	7,02	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	3	10

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Reactivo utilizado	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	Cal	Cal	Cal	Cal
Volumen (ml)	4,8	—	0,02	0,04	0,24	0,42
pH ajustado	6,51	7,02	7,55	8,07	8,50	9,02
Turbiedad Residual (NTU)	8,79	6,99	4,23	6,94	2,58	12,7
Color Residual (UPTCo)	42,7	31,7	21,2	29,9	17,7	41,4
pH coagulación	5,73	5,90	5,96	6,08	6,39	7,96
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	0,00	22,81	0,00	52,92	0,00
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	28,62	0,00	40,40	0,00

FECHA: 27/02/2013 HORA: 11:10 a.m.  
 PRUEBA # 35. Determinación del pH de coagulación óptimo para el Sulfato de Aluminio al 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA				
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPTCo)	pH	Temperatura (°C)
6,36	58	28,7	7,34	15

CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	3	10
RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Reactivo utilizado	H2SO4+cal	cal	Cal	Cal	Cal	Cal
Volumen (ml)	1,8+0,02	0,04	0,10	0,16	0,28	0,34
pH ajustado	7,50	7,75	8,00	8,28	8,50	8,69
Turbiedad Residual (NTU)	4,90	6,03	4,50	5,04	2,78	8,20
Color Residual (UPtCo)	22,5	26,6	19,8	22,4	13,7	37,8
pH coagulación	6,19	6,21	6,20	6,27	6,39	6,79
Ef. Rem. Turbiedad (%)	22,96	5,19	29,25	20,75	56,29	0,00
Ef. Rem. Color (%)	21,60	7,32	31,01	21,95	52,26	0,00

FECHA: 27/02/2013

HORA: 01:30 p.m.

PRUEBA # 36. Determinación del pH de coagulación óptimo para el Sulfato de Aluminio al 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
5,63	57	32,0	7,14	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	3	10

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Reactivo utilizado	H2SO4+cal	cal	Cal	Cal	Cal	Cal
Volumen (ml)	1,6+0,02	0,04	0,10	0,26	0,32	0,42
pH ajustado	7,55	7,71	8,05	8,30	8,47	8,67
Turbiedad Residual (NTU)	4,51	5,00	3,74	3,27	3,10	8,20
Color Residual (UPtCo)	21,6	23,1	17,0	15,8	14,2	37,3
pH coagulación	6,21	6,23	6,22	6,32	6,47	6,75
Ef. Rem. Turbiedad (%)	19,89	11,19	33,57	41,92	44,94	0,00
Ef. Rem. Color (%)	32,50	27,81	46,88	50,63	55,63	0,00

FECHA: 28/02/2013 HORA: 08:16 a.m.  
 PRUEBA # 37. Determinación del pH de coagulación óptimo para el Cloruro Férrico al 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
6,12	56	29,8	7,18	16		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	7	10

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Reactivo utilizado	H2SO4	H2SO4	Cal	Cal	Cal	Cal
Volumen (ml)	4,1	0,60	0,02	0,08	0,28	0,78
pH ajustado	6,55	7,05	7,50	7,99	8,48	8,97
Turbiedad Residual (NTU)	4,45	1,20	0,61	1,01	1,07	2,11
Color Residual (UPtCo)	110,2	20,8	11,3	9,4	11,3	33,3
pH coagulación	4,55	5,06	5,61	5,75	5,97	6,80
Ef. Rem. Turbiedad (%)	27,29	80,39	90,03	83,50	82,52	65,52
Ef. Rem. Color (%)	0,00	30,20	62,08	68,46	62,08	0,00

FECHA: 28/02/2013 HORA: 11:15 a.m.  
 PRUEBA # 38. Determinación del pH de coagulación óptimo para el Cloruro Férrico al 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
7,45	53	33,7	7,05	16		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	7	10

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Reactivo utilizado	cal	cal	Cal	Cal	Cal	Cal
Volumen (ml)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,16	0,32
pH ajustado	7,31	7,48	7,73	8,00	8,27	8,50
Turbiedad Residual (NTU)	0,68	0,89	0,86	0,69	0,94	1,32
Color Residual (UPtCo)	8,4	10,5	9,2	9,1	8,9	11,9
pH coagulación	5,71	5,54	5,51	5,54	5,74	5,95
Ef. Rem. Turbiedad (%)	90,87	88,05	88,46	90,74	87,38	82,28
Ef. Rem. Color (%)	75,07	68,84	72,70	73,00	73,59	64,69

FECHA: 28/02/2013 HORA: 01:36 p.m.  
 PRUEBA # 39. Determinación del pH de coagulación óptimo para el Cloruro Férrico al 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA				
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)
8,73	57	35,6	7,08	16

CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	7	10

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Reactivo utilizado	cal	cal	Cal	Cal	Cal	Cal
Volumen (ml)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,22	0,36
pH ajustado	7,34	7,52	7,73	7,97	8,27	8,49
Turbiedad Residual (NTU)	5,23	2,31	0,96	0,71	0,62	0,90
Color Residual (UPtCo)	64,5	48,4	17,7	12,8	7,6	9,5
pH coagulación	4,86	4,98	5,15	5,21	5,46	6,76
Ef. Rem. Turbiedad (%)	40,09	73,54	89,00	91,87	92,90	89,69
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	50,28	64,04	78,65	73,31

FECHA: 05/03/2013 HORA: 08:04 a.m.  
 PRUEBA # 40. Determinación del pH de coagulación óptimo para el Trafloc 2F al 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
9,04	46	41,5	7,22	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	2	10

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	20	20	20	20	20	20
Volumen Coagulante (ml)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Reactivo utilizado	H2SO4	H2SO4	—	Cal	Cal	Cal
Volumen (ml)	4,00	1,00	—	0,06	0,18	0,54
pH ajustado	6,51	6,79	7,22	8,09	8,50	9,00
Turbiedad Residual (NTU)	4,99	1,23	0,93	0,56	0,63	0,66
Color Residual (UPtCo)	37,0	11,8	8,1	3,8	6,0	9,8
pH coagulación	6,27	6,24	6,22	6,35	6,60	8,09
Ef. Rem. Turbiedad (%)	44,80	86,39	89,71	93,81	93,03	92,70
Ef. Rem. Color (%)	10,84	71,57	80,48	90,84	85,54	76,39

FECHA: 05/03/2013

HORA: 10:50 a.m.

PRUEBA # 41. Determinación del pH de coagulación óptimo para el Trafloc 2F al 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
9,94	50	45,8	7,33	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	2	10

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Reactivo utilizado	H2SO4	H2SO4	—	Cal	Cal	Cal
Volumen (ml)	4,00	1,00		0,04	0,12	0,56
pH ajustado	6,53	6,80	7,33	8,08	8,50	8,97
Turbiedad Residual (NTU)	1,58	1,10	0,71	1,07	0,99	1,23

Color Residual (UPtCo)	10,5	8,4	6,3	8,4	10,9	14,9
pH coagulación	6,33	6,32	6,37	6,44	7,04	8,33
Ef. Rem. Turbiedad (%)	84,10	88,93	92,86	89,24	90,04	87,63
Ef. Rem. Color (%)	77,07	81,66	86,24	81,66	76,20	67,47

FECHA: 05/03/2013 HORA: 01:31 p.m.  
 PRUEBA # 42. Determinación del pH de coagulación óptimo para el Trafloc 2F al 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
11,8	48	51,1	7,38	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	60	40	20	20	2	10

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Reactivo utilizado	H2SO4	H2SO4	H2SO4	_	Cal	Cal
Volumen (ml)	1,60	0,50	0,20		0,02	0,04
pH ajustado	6,83	6,97	7,22	7,38	7,59	8,08
Turbiedad Residual (NTU)	0,99	0,78	0,63	0,54	0,55	1,17
Color Residual (UPtCo)	6,0	5,4	4,3	4,6	4,3	6,7
pH coagulación	6,42	6,36	6,35	6,35	6,33	6,49
Ef. Rem. Turbiedad (%)	91,61	93,39	94,66	95,42	95,34	90,08
Ef. Rem. Color (%)	88,26	89,43	91,59	91,00	91,59	86,89



## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA ÓPTIMO

FECHA: 06/03/2013 HORA: 08:00 a.m.  
 PRUEBA # 43. Determinación del Tiempo de mezcla rápida para el Sulfato de Aluminio al 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )		Color (UPtCo)		pH	Temperatura (°C)		
7,57	47		50,3		7,15	14		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	Variable	40	20	20	3	10	2,1	8,50

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
Tiempo de Mezcla Rápida (s)	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0	
Turbiedad Residual (NTU)	4,62	5,44	3,27	3,51	3,94	2,88	
Color Residual (UPtCo)	26,6	29,6	21,5	21,5	23,3	18,6	
pH	6,55	6,51	6,48	6,46	6,43	6,42	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	38,97	28,14	56,80	53,63	47,95	61,96	
Ef. Rem. Color (%)	47,12	41,15	57,26	57,26	53,68	63,02	

FECHA: 06/03/2013 HORA: 10:15 a.m.  
 PRUEBA # 44. Determinación del Tiempo de mezcla rápida para el Sulfato de Aluminio al 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA					
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )		Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)
5,91	45		49,5	7,01	14

CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	Variable	40	20	20	3	10	2,5+3m H2SO4	8,49
RESULTADOS DE LA PRUEBA								
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6		
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60		
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0		
Tiempo de Mezcla Rápida (s)	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0		
Turbiedad Residual (NTU)	4,32	3,99	2,98	4,06	2,89	1,99		
Color Residual (UPTCo)	25,7	25,0	20,6	24,8	19,5	15,5		
pH	6,67	6,64	6,59	6,56	6,54	6,52		
Ef. Rem. Turbiedad (%)	26,90	32,49	49,58	31,30	51,10	66,33		
Ef. Rem. Color (%)	48,08	49,49	58,38	49,90	60,61	68,69		

FECHA: 07/03/2013 HORA: 08:13 a.m.  
 PRUEBA # 45. Determinación del Tiempo de mezcla rápida para el Cloruro Férrico al 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO3)	Color (UPTCo)	pH	Temperatura (°C)				
4,91	47	39,1	7,03	16				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	Variable	40	20	20	7	10	4,3	8,52

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tiempo de Mezcla Rápida (s)	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0

Turbiedad Residual (NTU)	1,00	1,62	0,69	0,63	0,61	0,59
Color Residual (UPtCo)	12,5	14,4	9,1	7,8	7,8	8,3
pH	5,89	5,89	5,86	5,81	5,81	5,76
Ef. Rem. Turbiedad (%)	79,63	67,01	85,95	87,17	87,58	87,98
Ef. Rem. Color (%)	68,03	63,17	76,73	80,05	80,05	78,77

FECHA: 07/03/2013 HORA: 10:20 a.m.  
 PRUEBA # 46. Determinación del Tiempo de mezcla rápida para el Cloruro Férrico al 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
4,91	47	39,1	7,03	15				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	Variable	40	20	20	7	10	4,3	8,52

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tiempo de Mezcla Rápida (s)	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0
Turbiedad Residual (NTU)	1,30	2,28	1,06	0,54	0,58	0,40
Color Residual (UPtCo)	17,4	19,4	11,6	9,6	9,5	8,2
pH	6,02	6,01	5,96	5,92	5,90	5,88
Ef. Rem. Turbiedad (%)	73,52	53,56	78,41	89,00	88,19	91,85
Ef. Rem. Color (%)	55,50	50,38	70,33	75,45	75,70	79,03

FECHA: 07/03/2013 HORA: 11:48 a.m.  
 PRUEBA # 47. Determinación del Tiempo de mezcla rápida para el Trafloc 2F al 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )		Color (UPtCo)		pH	Temperatura (°C)		
5,98	49		36,5		7,26	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	Variable	40	20	20	2	-	-	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15	
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Tiempo de Mezcla Rápida (s)	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0	
Turbiedad Residual (NTU)	0,51	0,37	0,49	0,43	0,40	0,38	
Color Residual (UPtCo)	5,7	3,8	3,4	3,4	3,6	4,1	
pH	6,60	6,59	6,58	6,57	6,57	6,55	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	91,47	93,81	91,81	92,81	93,31	93,65	
Ef. Rem. Color (%)	84,38	89,59	90,68	90,68	90,14	88,77	

FECHA: 07/03/2013 HORA: 02:21:13:00 p.m.  
 PRUEBA # 48 Determinación del Tiempo de mezcla rápida para el Trafloc 2F al 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )		Color (UPtCo)		pH	Temperatura (°C)		
5,98	49		36,5		7,26	18		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	Variable	40	20	20	2	-	-	-

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tiempo de Mezcla Rápida (s)	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0
Turbiedad Residual (NTU)	0,60	0,49	0,38	0,35	0,49	0,31
Color Residual (UPtCo)	5,5	3,8	3,9	3,5	3,9	3,3
pH	6,54	6,53	6,51	6,49	6,49	6,47
Ef. Rem. Turbiedad (%)	89,97	91,81	93,65	94,15	91,81	94,82
Ef. Rem. Color (%)	84,93	89,59	89,32	90,41	89,32	90,96

FECHA: 15/03/2013

HORA: 8:00 a.m.

PRUEBA # 49. Determinación del Tiempo de mezcla rápida para el sulfato de Aluminio Líquido 3%

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
5,47	61	23,1	7,58	16				
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	Variable	40	20	20	3	10	4,5	8,49

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Mezcla Rápida (s)	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0
Turbiedad Residual (NTU)	4,30	4,81	2,34	2,93	2,63	2,13
Color Residual (UPtCo)	15,6	17,4	10,1	13,5	12,2	10,1
pH	6,84	6,76	6,75	6,69	6,70	6,72

Ef. Rem. Turbiedad (%)	21,39	12,07	57,22	46,44	51,92	61,06
Ef. Rem. Color (%)	32,47	24,68	56,28	41,56	47,19	56,28

FECHA: 15/03/2013 HORA: 8:00 a.m.  
 PRUEBA # 50. Determinación del Tiempo de mezcla rápida para el sulfato de Aluminio Liquido 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)
5,47		61		23,1		7,58		16
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	Variable	40	20	20	3	10	4,5	8,49

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Mezcla Rápida (s)	60,0	50,0	40,0	30,0	20,0	10,0
Turbiedad Residual (NTU)	3,30	3,14	2,64	2,29	2,30	1,87
Color Residual (UPtCo)	13,8	12,2	10,7	10,5	9,7	8,4
pH	6,73	6,75	6,62	6,64	6,66	6,64
Ef. Rem. Turbiedad (%)	39,67	42,60	51,74	58,14	57,95	65,81
Ef. Rem. Color (%)	40,26	47,19	53,68	54,55	58,01	63,64

### Anexo 3.2 Determinación de los parámetros óptimos del proceso de floculación

FECHA: 14/03/2013 HORA: 08:12 a.m.  
 PRUEBA # 51. Determinación del Tiempo de mezcla lenta para Cloruro Férrico con GML 20 RPM (13 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )		Color (UPTCo)		pH		Temperatura (°C)
5,57		47		39,5		7,35		15
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TM R (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	30	20	Variable	20	7	10	3,6	8,49

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	3,94	2,50	1,71	1,17	1,37	0,80	0,47	0,45	0,53	1,01	0,29	0,47
Color Residual (UPTCo)	65,4	43,8	29,6	20,0	18,6	12,0	8,6	7,9	7,7	8,4	5,0	6,4
pH	6,04	5,91	5,77	5,68	5,67	5,63	6,09	5,85	5,76	5,73	5,73	5,67
Ef. Rem. Turbiedad (%)	29,26	55,12	69,30	78,99	75,40	85,64	91,56	91,92	90,48	81,87	94,79	91,56
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	25,06	49,37	52,91	69,62	78,23	80,00	80,51	78,73	87,34	83,80

FECHA: 14/03/2013 HORA: 10:15 a.m.  
 PRUEBA # 52. Determinación del Tiempo de mezcla lenta para Cloruro Férrico con GML 30 RPM (22 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA				
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPTCo)	pH	Temperatura (°C)
4,95	47	39,3	7,28	15

CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	30	30	variable	20	7	10	3,5	8,49

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	
Turbiedad Residual (NTU)	2,83	1,53	1,00	1,28	0,80	0,94	0,68	0,60	0,88	0,60	0,47	0,62	
Color Residual (UPtCo)	51,6	27,0	15,5	16,1	10,6	9,5	8,0	5,7	8,9	6,4	4,8	6,9	
pH	5,78	5,73	5,68	5,72	5,71	5,73	5,77	5,70	5,71	5,67	5,72	5,67	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	42,83	69,09	79,80	74,14	83,84	81,01	86,26	87,88	82,22	87,88	90,51	87,47	
Ef. Rem. Color (%)	0,00	31,30	60,56	59,03	73,03	75,83	79,64	85,50	77,35	83,72	87,79	82,44	

FECHA: 15/03/2013 HORA: 10:28 a.m.  
 PRUEBA # 53. Determinación del Tiempo de mezcla lenta para Cloruro Férrico con GML 50 RPM (40s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
4,91	46	34,5	7,35	16				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	30	50	variable	20	7	10	4,0	8,50



RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	1,79	1,04	1,15	1,02	0,98	1,11	1,76	1,54	0,87	1,45	1,62	1,85
Color Residual (UPtCo)	26,9	13,5	8,9	10,9	10,4	12,1	18,9	14,9	7,1	14,4	17,9	16,3
pH	5,73	5,74	5,76	5,73	5,70	5,73	5,85	5,78	5,72	5,72	5,71	5,73
Ef. Rem. Turbiedad (%)	63,54	78,82	76,58	79,23	80,04	77,39	64,15	68,64	82,28	70,47	67,01	62,32
Ef. Rem. Color (%)	22,03	60,87	74,20	68,41	69,86	64,93	45,22	56,81	79,42	58,26	48,12	52,75

FECHA: 22/03/2013 HORA: 08:05 a.m.  
 PRUEBA # 54. Determinación del Tiempo de mezcla lenta para Trafloc 2F con GML 20 RPM ( $13 \text{ s}^{-1}$ )

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
15,0	42	56,7	7,10	14				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	50	20	variable	20	2	-	-	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	15,10	16,40	6,74	2,87	1,82	1,12	0,98	1,44	1,25	1,95	1,98	2,06

Color Residual (UPtCo)	69,7	68,8	38,6	19,6	11,4	8,2	5,5	8,2	6,0	7,7	9,4	9,3
pH	6,36	6,11	6,10	6,13	6,10	6,15	6,36	6,38	6,32	6,23	6,20	6,10
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	0,00	55,07	80,87	87,87	92,53	93,47	90,40	91,67	87,00	86,80	86,27
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	31,92	65,43	79,89	85,54	90,30	85,54	89,42	86,42	83,42	83,60

FECHA: 22/03/2013 HORA: 11:30 a.m.  
 PRUEBA # 55. Determinación del Tiempo de mezcla lenta para Trafloc 2F con GML 30 RPM ( 22 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA												
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)				pH		Temperatura (°C)			
10,4	42		54,6				6,98		14			
CONDICIONES INICIALES PRUEBA												
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)		Solución madre cal (%)		volumen cal aplicado (ml)		pH ajustado	
300	50	30	variable	20	2		10		0,5		7,35	
RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	2,24	1,10	1,17	0,81	0,91	1,35	1,54	1,54	1,44	1,34	1,72	2,32
Color Residual (UPtCo)	15,6	7,3	6,7	5,2	5,1	7,8	6,9	7,2	7,3	6,2	8,2	10,2
pH	6,72	6,68	6,55	6,51	6,45	6,45	6,59	6,50	6,46	6,38	6,44	6,41
Ef. Rem. Turbiedad (%)	78,46	89,42	88,75	92,21	91,25	87,02	85,19	85,19	86,15	87,12	83,46	77,69
Ef. Rem. Color (%)	71,43	86,63	87,73	90,48	90,66	85,71	87,36	86,81	86,63	88,64	84,98	81,32

FECHA: 17/04/2013 HORA: 8:07 a.m.  
 PRUEBA # 56. Determinación del Tiempo de mezcla lenta para Trafloc 2F con GML 40 RPM ( 30 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA									
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)	
4,73		56		22,5		7,43		16	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA									
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado	
300	50	40	variable	20	2	-	-	-	

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	0,76	0,50	0,45	0,88	0,42	0,49	0,89	0,51	0,89	1,00	0,63	0,54
Color Residual (UPtCo)	4,6	2,9	2,4	2,8	2,8	2,5	3,2	3,0	3,6	4,0	3,3	3,5
pH	6,56	6,59	6,54	6,55	6,57	6,54	6,70	6,67	6,56	6,57	6,56	6,54
Ef. Rem. Turbiedad (%)	83,93	89,43	90,49	81,40	91,12	89,64	81,18	89,22	81,18	78,86	86,68	88,58
Ef. Rem. Color (%)	79,56	87,11	89,33	87,56	87,56	88,89	85,78	86,67	84,00	82,22	85,33	84,44

FECHA: 17/04/2013 HORA: 11:11 a.m.  
 PRUEBA # 57. Determinación del Tiempo de mezcla lenta para Trafloc 2F con GML 50 RPM ( 40 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA									
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)	
4,90		58		22,7		7,34		16	

CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	50	50	variable	20	2	-	-	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	1,39	0,61	0,53	0,74	0,66	0,66	1,02	0,69	0,92	0,92	2,00	0,83
Color Residual (UPtCo)	4,6	3,2	2,8	3,6	3,5	3,5	4,2	3,8	3,9	4,3	5,3	4,3
pH	6,61	6,58	6,58	6,53	6,45	6,44	6,70	6,57	6,58	6,55	6,52	6,50
Ef. Rem. Turbiedad (%)	71,63	87,55	89,18	84,90	86,53	86,53	79,18	85,92	81,22	81,22	59,18	83,06
Ef. Rem. Color (%)	79,74	85,90	87,67	84,14	84,58	84,58	81,50	83,26	82,82	81,06	76,65	81,06

FECHA: 17/04/2013 HORA: 3:20 p.m.  
 PRUEBA # 58. Determinación del TML para Sulfato de aluminio líquido con GML 20 RPM ( $13 \text{ s}^{-1}$ )

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA				
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
4,85	60	22,0	7,50	18

CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	20	variable	20	3	10	5	8,50

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	8,49	4,26	2,30	1,37	1,17	1,32	0,83	0,96	0,74	0,58	0,65	0,70
Color Residual (UPtCo)	29,9	15,2	11,5	8,9	7,8	7,3	5,2	4,3	4,5	4,1	4,1	3,8
pH	6,91	6,88	6,81	6,72	6,71	6,75	6,63	6,58	6,63	6,62	6,65	6,67
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	12,16	52,58	71,75	75,88	72,78	82,89	80,21	84,74	88,04	86,60	85,57
Ef. Rem. Color (%)	0,00	30,91	47,73	59,55	64,55	66,82	76,36	80,45	79,55	81,36	81,36	82,73

FECHA: 18/04/2013 HORA: 10:56 a.m.  
 PRUEBA # 59. Determinación del TML para Sulfato de aluminio liquido con GML 30 RPM ( 22 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA													
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)			Color (UPtCo)	pH			Temperatura (°C)					
13,7	58			33,5	7,18			16					
CONDICIONES INICIALES PRUEBA													
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado					
300	10	30	variable	20	3	10	7	8,55					
RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	
Turbiedad Residual (NTU)	5,27	2,98	1,73	1,67	1,41	1,37	0,98	0,92	1,26	0,90	1,05	0,84	
Color Residual (UPtCo)	19,2	14,0	9,8	9,5	7,9	8,8	6,7	6,2	6,9	6,2	6,1	6,2	
pH	6,92	6,93	6,82	6,72	6,78	6,71	6,97	6,89	6,84	6,82	6,83	6,83	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	61,53	78,25	87,37	87,81	89,71	90,00	92,85	93,28	90,80	93,43	92,34	93,87	
Ef. Rem. Color (%)	42,69	58,21	70,75	71,64	76,42	73,73	80,00	81,49	79,40	81,49	81,79	81,49	

FECHA: 18/04/2013 HORA: 2:55 p.m.  
 PRUEBA # 60. Determinación del TML para Sulfato de aluminio líquido con GML 40 RPM (30 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)
8,65		56		29,3		7,23		17
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	40	variable	20	3	10	6	8,49

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	3,31	1,77	1,28	1,11	1,23	1,13	1,06	1,85	1,17	1,37	1,03	1,08
Color Residual (UPtCo)	14,6	9,7	8,2	7,6	7,5	7,4	7,5	7,6	7,3	7,2	7,1	7,0
pH	6,90	6,88	6,85	6,82	6,84	6,80	6,86	6,84	6,80	6,78	6,77	6,74
Ef. Rem. Turbiedad (%)	61,73	79,54	85,20	87,17	85,78	86,94	87,75	78,61	86,47	84,16	88,09	87,51
Ef. Rem. Color (%)	50,17	66,89	72,01	74,06	74,40	74,74	74,40	74,06	75,09	75,43	75,77	76,11

FECHA: 23/04/2013 HORA: 8:00 a.m.  
 PRUEBA # 61. Determinación del TML para Sulfato de aluminio líquido con GML 50 RPM (40 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)
24,1		31		88,1		7,23		14
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	50	variable	20	3	10	6	8,80

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	5,15	4,65	4,17	4,54	4,62	4,25	4,30	3,46	3,52	4,70	5,08	4,82
Color Residual (UPtCo)	29,6	23,9	21,3	20,7	22,1	21,0	20,8	19,0	20,7	22,1	24,5	22,5
pH	6,92	6,79	6,69	6,72	6,67	6,67	6,99	6,91	6,77	6,70	6,65	6,62
Ef. Rem. Turbiedad (%)	78,63	80,71	82,70	81,16	80,83	82,37	82,16	85,64	85,39	80,50	78,92	80,00
Ef. Rem. Color (%)	66,44	72,90	75,85	76,53	74,94	76,19	76,42	78,46	76,53	74,94	72,22	74,49

FECHA: 24/04/2013

HORA: 8:10 a.m.

PRUEBA # 62. Determinación del TML para Sulfato de aluminio líquido con GML 20 RPM ( 13 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
19,4	33	71,8	7,25	15				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	20	variable	20	3	10	5	8,58

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	8,16	3,98	3,02	2,99	2,43	2,47	1,57	1,86	1,33	1,27	1,23	1,11

Color Residual (UPtCo)	37,4	21,5	15,2	12,9	11,1	10,4	9,5	9,6	8,0	7,8	7,9	7,4
pH	6,34	6,29	6,25	6,24	6,19	6,17	6,48	6,38	6,33	6,23	6,21	6,23
Ef. Rem. Turbiedad (%)	57,94	79,48	84,43	84,59	87,47	87,27	91,91	90,41	93,14	93,45	93,66	94,28
Ef. Rem. Color (%)	47,91	70,06	78,83	82,03	84,54	85,52	86,77	86,63	88,86	89,14	89,00	89,69

FECHA: 24/04/2013 HORA: 10:00 a.m.  
 PRUEBA # 63. Determinación del TML para Sulfato de aluminio liquido con GML 30 RPM ( 22 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA									
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)	
22,3		32		79,8		7,12		15	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA									
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado	
300	10	30	variable	20	3	10	5	8,57	

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	7,40	3,81	3,05	3,26	3,18	3,46	3,16	2,58	2,49	2,16	2,28	2,56
Color Residual (UPtCo)	32,2	18,4	14,6	14,0	12,6	14,5	13,8	12,7	12,9	11,2	12,0	11,9
pH	6,30	6,14	6,18	6,13	6,08	6,12	6,27	6,31	6,25	6,18	6,10	6,09
Ef. Rem. Turbiedad (%)	66,82	82,91	86,32	85,38	85,74	84,48	85,83	88,43	88,83	90,31	89,78	88,52
Ef. Rem. Color (%)	59,65	76,94	81,70	82,46	84,21	81,83	82,71	84,09	83,83	85,96	84,96	85,09



FECHA: 24/04/2013 HORA: 2:00 p.m.  
 PRUEBA # 64. Determinación del TML para Sulfato de aluminio líquido con GML 40 RPM (30 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )		Color (UPTCo)	pH	Temperatura (°C)			
17,4	34		68,4	7,18	16			
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	40	variable	20	3	10	4,5	8,53

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	6,21	4,37	3,63	3,20	3,75	3,39	3,98	4,55	4,97	3,71	4,32	4,58
Color Residual (UPTCo)	28,3	19,9	15,9	14,5	16,4	15,1	14,4	17,2	17,8	15,0	16,4	18,3
pH	6,26	6,22	6,11	6,13	6,10	6,13	6,32	6,30	6,26	6,23	6,20	6,22
Ef. Rem. Turbiedad (%)	64,31	74,89	79,14	81,61	78,45	80,52	77,13	73,85	71,44	78,68	75,17	73,68
Ef. Rem. Color (%)	58,63	70,91	76,75	78,80	76,02	77,92	78,95	74,85	73,98	78,07	76,02	73,25

FECHA: 24/04/2013 HORA: 2:00 p.m.  
 PRUEBA # 65. Determinación del TML para Sulfato de aluminio líquido con GML 50 RPM (40 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )		Color (UPTCo)	pH	Temperatura (°C)			
17,4	34		68,4	7,18	16			
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	50	variable	20	3	10	6	8,46

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	4,97	5,40	4,67	4,49	4,42	4,44	4,14	5,01	4,86	5,17	5,20	5,20
Color Residual (UPtCo)	22,9	22,2	19,2	17,9	17,8	18,2	16,9	19,5	19,9	20,0	19,5	20,8
pH	6,31	6,24	6,16	6,13	6,23	6,21	6,35	6,31	6,25	6,20	6,19	6,23
Ef. Rem. Turbiedad (%)	71,44	68,97	73,16	74,20	74,60	74,48	76,21	71,21	72,07	70,29	70,11	70,11
Ef. Rem. Color (%)	66,52	67,54	71,93	73,83	73,98	73,39	75,29	71,49	70,91	70,76	71,49	69,59

FECHA: 25/04/2013 HORA: 1:15 p.m.  
 PRUEBA # 66. Determinación del TML para Trafloc 2F con GML 20 RPM ( 13 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
10,6	38	45,4	7,24	14				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	50	20	variable	20	2	-	-	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	11,90	3,92	1,70	1,43	0,86	0,68	0,56	0,55	0,43	0,69	0,47	0,42
Color Residual (UPtCo)	57,4	26,1	14,3	10,3	6,2	5,5	4,4	3,6	3,3	4,4	3,1	3,1

pH	6,29	6,25	6,22	6,26	6,20	6,19	6,37	6,33	6,30	6,28	6,23	6,26
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	63,02	83,96	86,51	91,89	93,58	94,72	94,81	95,94	93,49	95,57	96,04
Ef. Rem. Color (%)	0,00	42,51	68,50	77,31	86,34	87,89	90,31	92,07	92,73	90,31	93,17	93,17

FECHA: 25/04/2013 HORA: 2:27 p.m.  
 PRUEBA # 67. Determinación del TML para Trafloc 2F con GML 30 RPM ( 22 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA									
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)	
9,06		38		44		7,16		15	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA									
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado	
300	50	30	variable	20	2	-	-	-	

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg / L)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Volumen Coagulante (mL)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	5,01	1,65	0,86	0,70	0,63	0,38	0,47	0,45	0,44	0,51	0,49	0,46
Color Residual (UPtCO)	33,6	13,6	7,5	4,5	4,3	3,0	3,2	2,9	2,9	3,4	2,9	2,9
pH	6,48	6,45	6,39	6,44	6,39	6,28	6,50	6,38	6,32	6,28	6,26	6,31
Ef. Rem. Turbiedad (%)	44,7	81,8	90,5	92,3	93,1	95,8	94,8	95,0	95,1	94,4	94,6	94,9
Ef. Rem. Color (%)	23,64	69,09	82,95	89,77	90,23	93,18	92,73	93,41	93,41	92,27	93,41	93,41

FECHA: 26/04/2013 HORA: 9:10 a.m.  
 PRUEBA # 68. Determinación del TML para Trafloc 2F con GML 40 RPM ( 30 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
8,49	40	37,5	7,15	14				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	50	40	variable	20	2	-	-	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	
Turbiedad Residual (NTU)	9,76	2,39	1,06	0,90	0,62	0,63	0,78	0,64	0,89	0,93	0,58	0,67	
Color Residual (UPtCo)	48,5	16,0	7,8	6,1	3,8	3,6	3,5	3,5	3,4	4,3	3,1	3,3	
pH	6,51	6,44	6,38	6,36	6,36	6,32	6,68	6,44	6,38	6,30	6,29	6,27	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	71,85	87,51	89,40	92,70	92,58	90,81	92,46	89,52	89,05	93,17	92,11	
Ef. Rem. Color (%)	0,00	57,33	79,20	83,73	89,87	90,40	90,67	90,67	90,93	88,53	91,73	91,20	

FECHA: 26/04/2013 HORA: 11:35 a.m.  
 PRUEBA # 69. Determinación del TML para Trafloc 2F con GML 50 RPM ( 40 s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
7,56	41	36,2	7,31	14				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	50	50	variable	20	2	-	-	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	7,40	1,80	1,00	1,09	0,80	0,77	0,92	0,79	0,98	1,48	0,81	0,79
Color Residual (UPtCo)	39,1	12,4	6,7	6,1	4,9	4,0	4,3	4,1	4,2	5,6	4,3	4,1
pH	6,47	6,39	6,28	6,33	6,32	6,37	6,40	6,44	6,41	6,38	6,31	6,31
Ef. Rem. Turbiedad (%)	2,12	76,19	86,77	85,58	89,42	89,81	87,83	89,55	87,04	80,42	89,29	89,55
Ef. Rem. Color (%)	0,00	65,75	81,49	83,15	86,46	88,95	88,12	88,67	88,40	84,53	88,12	88,67

FECHA: 27/04/2013 HORA: 8:41 a.m.  
 PRUEBA # 70. Determinación del TML para Cloruro Férrico con GML 20 RPM ( 13s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
7,54	44	31,7	7,36	16				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	30	20	variable	20	7	10	4	8,51

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	4,09	2,75	2,58	1,19	1,11	1,01	0,83	0,76	0,68	0,62	0,51	0,39
Color Residual (UPtCo)	75,0	52,1	43,1	19,9	16,0	15,7	11,7	8,0	9,2	8,1	6,9	6,1
pH	5,89	5,69	5,64	5,66	5,62	5,58	5,82	5,71	5,67	5,55	5,58	5,58

Ef. Rem. Turbiedad (%)	45,76	63,53	65,78	84,22	85,28	86,60	88,99	89,92	90,98	91,78	93,24	94,83
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	0,00	37,22	49,53	50,47	63,09	74,76	70,98	74,45	78,23	80,76

FECHA: 27/04/2013 HORA: 10:08 a.m.  
 PRUEBA # 71. Determinación del TML para Cloruro Férrico con GML 30 RPM ( 22s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA									
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)	
7,34		43		31,5		7,18		16	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA									
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado	
300	30	30	variable	20	7	10	4	8,50	

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	3,84	2,45	1,45	1,06	0,72	0,67	0,50	0,49	0,47	0,70	0,50	0,50
Color Residual (UPtCo)	70,5	44,4	27,7	17,1	11,7	10,6	8,1	8,1	6,2	6,4	6,1	5,5
pH	5,80	5,67	5,55	5,50	5,52	5,51	5,64	5,64	5,59	5,57	5,88	5,89
Ef. Rem. Turbiedad (%)	47,68	66,62	80,25	85,56	90,19	90,87	93,19	93,32	93,60	90,46	93,19	93,19
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	12,06	45,71	62,86	66,35	74,29	74,29	80,32	79,68	80,63	82,54

FECHA: 27/04/2013 HORA: 1:52 p.m.  
 PRUEBA # 72. Determinación del TML para Cloruro Férrico con GML 40 RPM (30s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA				
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)
6,06	46	31,7	7,27	17

CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	30	40	variable	20	7	10	4	8,45

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	2,21	1,01	0,89	0,70	0,66	0,61	0,62	0,74	0,51	0,69	0,86	0,81
Color Residual (UPtCo)	46,0	21,2	12,8	9,6	9,3	8,2	7,2	8,6	5,9	7,0	8,2	6,9
pH	5,84	5,78	5,71	5,69	5,64	5,58	5,74	5,73	5,68	5,63	5,64	5,65
Ef. Rem. Turbiedad (%)	63,53	83,33	85,31	88,45	89,11	89,93	89,77	87,79	91,58	88,61	85,81	86,63
Ef. Rem. Color (%)	0,00	33,12	59,62	69,72	70,66	74,13	77,29	72,87	81,39	77,92	74,13	78,23

FECHA: 27/04/2013 HORA: 3:39 p.m.  
 PRUEBA # 73. Determinación del TML para Cloruro Férrico con GML 40 RPM ( 30s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA												
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)								
5,43	44	30,9	7,33	18								
CONDICIONES INICIALES PRUEBA												
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado				
300	30	40	variable	20	7	10	5,5	8,47				
RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	3,14	2,06	1,29	1,11	1,01	0,67	0,79	0,89	0,71	0,68	0,81	0,58
Color Residual (UPtCo)	53,3	38,1	21,7	16,7	13,4	9,4	8,8	8,9	8,3	7,4	9,0	7,5
pH	5,72	5,60	5,55	5,54	5,51	5,50	5,87	5,68	5,61	5,54	5,46	5,53
Ef. Rem. Turbiedad (%)	42,17	62,06	76,24	79,56	81,40	87,66	85,45	83,61	86,92	87,48	85,08	89,32
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	29,77	45,95	56,63	69,58	71,52	71,20	73,14	76,05	70,87	75,73

FECHA: 27/04/2013 HORA: 3:39 p.m.  
 PRUEBA # 74. Determinación del TML para Cloruro Férrico con GML 50 RPM (40s<sup>-1</sup>)

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA												
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)					
5,43	44		30,9		7,33		18					
CONDICIONES INICIALES PRUEBA												
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado				
300	30	50	variable	20	7	10	6,3	8,48				
RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	1,74	0,81	0,78	1,04	0,99	0,82	1,42	1,01	0,80	1,22	0,92	0,99
Color Residual (UPtCo)	31,6	14,8	10,6	12,1	10,5	10,1	13,1	9,3	8,8	9,4	9,3	9,6
pH	5,74	5,59	5,58	5,59	5,65	5,63	5,80	5,74	5,70	5,69	5,64	5,65
Ef. Rem. Turbiedad (%)	67,96	85,08	85,64	80,85	81,77	84,90	73,85	81,40	85,27	77,53	83,06	81,77
Ef. Rem. Color (%)	0,00	52,10	65,70	60,84	66,02	67,31	57,61	69,90	71,52	69,58	69,90	68,93



### ANEXO 3.3 Determinación de los parámetros óptimos del proceso de sedimentación

FECHA: 01/05/2013

HORA: 8:39 a.m.

PRUEBA # 75. Curva de sedimentabilidad para Trafloc 2F con turbiedad inicial de 5.59 NTU

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )		Color (UPtCo)		pH		Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
5,59		45		32,1		7,36		15
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	50	30	15	variable	2	-	-	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	
Turbiedad Residual (NTU)	1,12	0,66	0,56	0,40	0,52	0,66	0,70	0,41	0,57	0,59	0,62	0,36	
Color Residual (UPtCo)	7,5	5,3	4,9	4,5	4,4	3,1	4,7	4,6	4,8	4,4	5,0	4,4	
pH	6,58	6,55	6,45	6,45	6,42	6,37	6,68	6,53	6,46	6,41	6,37	6,33	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	79,96	88,19	89,98	92,84	90,70	88,19	87,48	92,67	89,80	89,45	88,91	93,56	
Ef. Rem. Color (%)	76,64	83,49	84,74	85,98	86,29	90,34	85,36	85,67	85,05	86,29	84,42	86,29	

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	1,12	2,000	0,200
2	10	10	0,66	1,000	0,118
3	15	10	0,56	0,667	0,100
4	20	10	0,40	0,500	0,072
5	25	10	0,52	0,400	0,093
6	30	10	0,66	0,333	0,118
1	35	10	0,70	0,286	0,125
2	40	10	0,41	0,250	0,073

3	45	10	0,57	0,222	0,102
4	50	10	0,59	0,200	0,106
5	55	10	0,62	0,182	0,111
6	60	10	0,36	0,167	0,064

FECHA: 01/05/2013 HORA: 10:00 a.m.  
 PRUEBA # 76. Curva de sedimentabilidad para Cloruro Férrico con turbiedad inicial de 5.97 NTU

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)			Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)		
5,97	46			31,7	7,27	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	30	30	35	variable	7	10	4,0	8,50

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	2,99	1,20	0,62	0,84	0,54	0,47	0,64	0,42	0,34	0,43	0,56	0,31
Color Residual (UPtCo)	36,0	13,0	6,8	9,9	5,8	6,0	7,6	3,9	3,6	4,3	4,6	4,2
pH	5,82	5,76	5,76	5,76	5,77	5,74	5,88	5,80	5,82	5,73	5,75	5,65
Ef. Rem. Turbiedad (%)	49,92	79,90	89,61	85,93	90,95	92,13	89,28	92,96	94,30	92,80	90,62	94,81
Ef. Rem. Color (%)	0,00	58,99	78,55	68,77	81,70	81,07	76,03	87,70	88,64	86,44	85,49	86,75

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	2,99	2,000	0,501
2	10	10	1,20	1,000	0,201
3	15	10	0,62	0,667	0,104
4	20	10	0,84	0,500	0,141
5	25	10	0,54	0,400	0,090
6	30	10	0,47	0,333	0,079
1	35	10	0,64	0,286	0,107

2	40	10	0,42	0,250	0,070
3	45	10	0,34	0,222	0,057
4	50	10	0,43	0,200	0,072
5	55	10	0,56	0,182	0,094
6	60	10	0,31	0,167	0,052

FECHA: 01/05/2013

HORA: 01:44 p.m.

PRUEBA # 77. Curva de sedimentabilidad para Sulfato de Aluminio con turbiedad inicial de 5.93 NTU

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)			pH	Temperatura (°C)		
5,93	47	30,2			7,35	15		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	30	20	variable	3	10	4,0	8,50

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	8,53	3,55	2,12	1,66	1,32	1,07	1,00	0,91	0,63	0,66	0,69	0,62
Color Residual (UPtCo)	32,8	16,4	10,3	8,9	7,8	7,4	6,6	5,8	5,5	5,8	5,7	5,5
pH	6,72	6,64	6,54	6,52	6,49	6,49	6,63	6,57	6,55	6,53	6,49	6,47
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	40,13	64,25	72,01	77,74	81,96	83,14	84,65	89,38	88,87	88,36	89,54
Ef. Rem. Color (%)	0,00	45,70	65,89	70,53	74,17	75,50	78,15	80,79	81,79	80,79	81,13	81,79

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	8,53	2,000	1,438
2	10	10	3,55	1,000	0,599
3	15	10	2,12	0,667	0,358
4	20	10	1,66	0,500	0,280
5	25	10	1,32	0,400	0,223

6	30	10	1,07	0,333	0,180
1	35	10	1,00	0,286	0,169
2	40	10	0,91	0,250	0,153
3	45	10	0,63	0,222	0,106
4	50	10	0,66	0,200	0,111
5	55	10	0,69	0,182	0,116
6	60	10	0,62	0,167	0,105

FECHA: 02/05/2013 HORA: 8:12 a.m.  
 PRUEBA # 78. Curva de sedimentabilidad para Trafloc 2F con turbiedad inicial de 30.5 NTU

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )		Color (UPtCo)		pH	Temperatura (°C)		
30,5	39		64,1		7,4	16		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	50	30	15	variable	2	-	-	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	
Turbiedad Residual (NTU)	2,91	1,81	1,66	1,41	1,10	1,07	0,92	1,05	1,20	0,99	0,97	1,05	
Color Residual (UPtCo)	8,7	6,5	5,9	6,0	5,8	5,7	4,9	5,5	6,2	5,7	5,2	5,8	
pH	6,45	6,38	6,37	6,36	6,36	6,32	6,73	6,57	6,51	6,46	6,41	6,38	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	90,46	94,07	94,56	95,38	96,39	96,49	96,98	96,56	96,07	96,75	96,82	96,56	
Ef. Rem. Color (%)	86,43	89,86	90,80	90,64	90,95	91,11	92,36	91,42	90,33	91,11	91,89	90,95	

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	2,91	2,000	0,095
2	10	10	1,81	1,000	0,059
3	15	10	1,66	0,667	0,054

4	20	10	1,41	0,500	0,046
5	25	10	1,10	0,400	0,036
6	30	10	1,07	0,333	0,035
1	35	10	0,92	0,286	0,030
2	40	10	1,05	0,250	0,034
3	45	10	1,20	0,222	0,039
4	50	10	0,99	0,200	0,032
5	55	10	0,97	0,182	0,032
6	60	10	1,05	0,167	0,034

FECHA: 02/05/2013 HORA: 10:06 a.m.  
 PRUEBA # 79 Curva de sedimentabilidad para Cloruro Férrico con turbiedad inicial de 17.2 NTU

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPTCo)	pH	Temperatura (°C)				
17,2	43	46,3	7,23	16				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	30	30	35	variable	7	10	4,5	8,49

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	3,59	1,46	0,80	0,81	0,76	0,68	0,58	0,45	0,45	0,68	0,52	0,61
Color Residual (UPTCo)	22,1	11,7	7,9	8,1	7,1	7,7	5,7	5,9	5,1	6,1	6,0	6,5
pH	5,74	5,67	5,62	5,57	5,56	5,54	5,75	5,72	5,71	5,66	5,62	5,61
Ef. Rem. Turbiedad (%)	79,13	91,51	95,35	95,29	95,58	96,05	96,63	97,38	97,38	96,05	96,98	96,45
Ef. Rem. Color (%)	52,27	74,73	82,94	82,51	84,67	83,37	87,69	87,26	88,98	86,83	87,04	85,96

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	3,59	2,000	0,209

2	10	10	1,46	1,000	0,085
3	15	10	0,80	0,667	0,047
4	20	10	0,81	0,500	0,047
5	25	10	0,76	0,400	0,044
6	30	10	0,68	0,333	0,040
1	35	10	0,58	0,286	0,034
2	40	10	0,45	0,250	0,026
3	45	10	0,45	0,222	0,026
4	50	10	0,68	0,200	0,040
5	55	10	0,52	0,182	0,030
6	60	10	0,61	0,167	0,035

FECHA: 02/05/2013 HORA: 1:23 p.m.  
 PRUEBA # 80. Curva de sedimentabilidad para Sulfato de aluminio con turbiedad inicial de 14.1 NTU

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )		Color (UPtCo)		pH	Temperatura (°C)		
14,1	43		39,3		7,29	16		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	30	20	variable	3	10	4,0	8,48

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	7,28	3,43	1,80	1,54	1,93	1,41	0,95	0,97	0,78	0,80	0,82	0,96
Color Residual (UPtCo)	22,2	12,7	8,9	8,0	9,0	7,6	6,4	6,0	5,7	6,0	5,9	6,3
pH	6,73	6,68	6,66	6,62	6,58	6,54	6,75	6,65	6,56	6,54	6,52	6,49
Ef. Rem. Turbiedad (%)	48,37	75,67	87,23	89,08	86,31	90,00	93,26	93,12	94,47	94,33	94,18	93,19
Ef. Rem. Color (%)	43,51	67,68	77,35	79,64	77,10	80,66	83,72	84,73	85,50	84,73	84,99	83,97

<b>RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD</b>					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	7,28	2,000	0,516
2	10	10	3,43	1,000	0,243
3	15	10	1,80	0,667	0,128
4	20	10	1,54	0,500	0,109
5	25	10	1,93	0,400	0,137
6	30	10	1,41	0,333	0,100
1	35	10	0,95	0,286	0,067
2	40	10	0,97	0,250	0,069
3	45	10	0,78	0,222	0,055
4	50	10	0,80	0,200	0,057
5	55	10	0,82	0,182	0,058
6	60	10	0,96	0,167	0,068

FECHA: 03/05/2013 HORA: 08:21 a.m.  
 PRUEBA # 81. Curva de sedimentabilidad para Sulfato de aluminio con turbiedad inicial de 29.8 NTU

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
29,8	44	62,4	7,36	15				
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	30	20	variable	3	10	4,0	8,52

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>												
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	9,89	4,25	2,21	1,71	1,77	1,52	1,55	1,39	1,21	1,14	1,31	1,30
Color Residual (UPtCo)	21,0	12,3	8,3	7,2	7,3	7,2	7,3	6,7	6,3	6,2	6,5	6,7
pH	6,80	6,56	6,53	6,53	6,50	6,48	6,74	6,73	6,58	6,55	6,48	6,48
Ef. Rem. Turbiedad (%)	66,81	85,74	92,58	94,26	94,06	94,90	94,80	95,34	95,94	96,17	95,60	95,64

Ef. Rem. Color (%)	66,35	80,29	86,70	88,46	88,30	88,46	88,30	89,26	89,90	90,06	89,58	89,26
--------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

<b>RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD</b>					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	9,89	2,000	0,332
2	10	10	4,25	1,000	0,143
3	15	10	2,21	0,667	0,074
4	20	10	1,71	0,500	0,057
5	25	10	1,77	0,400	0,059
6	30	10	1,52	0,333	0,051
1	35	10	1,55	0,286	0,052
2	40	10	1,39	0,250	0,047
3	45	10	1,21	0,222	0,041
4	50	10	1,14	0,200	0,038
5	55	10	1,31	0,182	0,044
6	60	10	1,30	0,167	0,044

FECHA: 03/05/2013 HORA: 11:03 a.m.  
 PRUEBA # 82. Curva de sedimentabilidad para Cloruro Férrico con turbiedad inicial de 25.5 NTU

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPTCo)	pH	Temperatura (°C)				
25,5	42	58,2	7,31	15				
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	30	30	35	variable	7	10	4,5	8,47

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Volumen Coagulante (ml)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	3,65	1,28	0,77	0,86	0,97	0,93	1,47	0,88	1,14	0,90	1,03	1,04



Color Residual (UPtCo)	21,4	12,2	9,5	11,3	12,0	11,5	17,5	11,8	14,7	11,4	14,2	12,5
pH	5,56	5,55	5,49	5,44	5,42	5,36	5,59	5,55	5,50	5,48	5,45	5,45
Ef. Rem. Turbiedad (%)	85,69	94,98	96,98	96,63	96,20	96,35	94,24	96,55	95,53	96,47	95,96	95,92
Ef. Rem. Color (%)	63,23	79,04	83,68	80,58	79,38	80,24	69,93	79,73	74,74	80,41	75,60	78,52

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	3,65	2,000	0,143
2	10	10	1,28	1,000	0,050
3	15	10	0,77	0,667	0,030
4	20	10	0,86	0,500	0,034
5	25	10	0,97	0,400	0,038
6	30	10	0,93	0,333	0,036
1	35	10	1,47	0,286	0,058
2	40	10	0,88	0,250	0,035
3	45	10	1,14	0,222	0,045
4	50	10	0,90	0,200	0,035
5	55	10	1,03	0,182	0,040
6	60	10	1,04	0,167	0,041

FECHA: 06/05/2013 HORA: 7:56 a.m.  
 PRUEBA # 83. Curva de sedimentabilidad para Trafloc 2F con turbiedad inicial de 19.2 NTU

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
19,2	40	51,4	7,26	15				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	50	30	15	variable	2	-	-	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0

Turbiedad Residual (NTU)	5,06	2,09	1,53	1,48	1,41	1,38	1,57	1,36	1,05	1,38	1,10	1,25
Color Residual (UPtCo)	21,2	13,3	10,3	10,6	11,0	11,1	12,3	10,7	9,8	12,3	9,9	11,7
pH	6,42	6,33	6,31	6,27	6,25	6,24	6,73	6,50	6,51	6,46	6,43	6,36
Ef. Rem. Turbiedad (%)	73,65	89,11	92,03	92,29	92,66	92,81	91,82	92,92	94,53	92,81	94,27	93,49
Ef. Rem. Color (%)	58,75	74,12	79,96	79,38	78,60	78,40	76,07	79,18	80,93	76,07	80,74	77,24

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	5,06	2,000	0,264
2	10	10	2,09	1,000	0,109
3	15	10	1,53	0,667	0,080
4	20	10	1,48	0,500	0,077
5	25	10	1,41	0,400	0,073
6	30	10	1,38	0,333	0,072
1	35	10	1,57	0,286	0,082
2	40	10	1,36	0,250	0,071
3	45	10	1,05	0,222	0,055
4	50	10	1,38	0,200	0,072
5	55	10	1,10	0,182	0,057
6	60	10	1,25	0,167	0,065

FECHA: 06/05/2013

HORA: 11:53 a.m.

PRUEBA # 84. Curva de sedimentabilidad para Sulfato de aluminio con turbiedad inicial de 21.6 NTU

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
21,6	38	59,8	7,00	15				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	30	20	variable	3	10	4,0	8,54

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	11,50	3,94	2,37	1,81	1,38	1,30	1,30	1,17	1,11	0,97	1,32	0,92
Color Residual (UPtCo)	31,6	14,5	10,1	8,8	8,3	7,7	7,7	7,5	6,6	6,5	7,5	6,5
pH	6,84	6,56	6,48	6,46	6,43	6,38	6,72	6,57	6,50	6,42	6,42	6,33
Ef. Rem. Turbiedad (%)	46,76	81,76	89,03	91,62	93,61	93,98	93,98	94,58	94,86	95,51	93,89	95,74
Ef. Rem. Color (%)	47,16	75,75	83,11	85,28	86,12	87,12	87,12	87,46	88,96	89,13	87,46	89,13

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	11,50	2,000	0,532
2	10	10	3,94	1,000	0,182
3	15	10	2,37	0,667	0,110
4	20	10	1,81	0,500	0,084
5	25	10	1,38	0,400	0,064
6	30	10	1,30	0,333	0,060
1	35	10	1,30	0,286	0,060
2	40	10	1,17	0,250	0,054
3	45	10	1,11	0,222	0,051
4	50	10	0,97	0,200	0,045
5	55	10	1,32	0,182	0,061
6	60	10	0,92	0,167	0,043

FECHA: 06/05/2013

HORA: 01:58 p.m.

PRUEBA # 85. Curva de sedimentabilidad para Sulfato de aluminio con turbiedad inicial de 15.3 NTU

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
15,3	36	61,3	7,15	16				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	30	20	variable	3	10	4,0	8,54

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

Volumen Coagulante (ml)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	11,80	6,97	4,23	2,94	2,32	1,59	1,42	1,41	1,11	1,18	1,25	1,44
Color Residual (UPtCo)	38,6	20,8	11,4	11,1	9,1	8,2	8,4	8,2	7,0	6,8	7,7	7,7
pH	6,47	6,39	6,35	6,30	6,24	6,21	6,57	6,46	6,43	6,33	6,29	6,27
Ef. Rem. Turbiedad (%)	22,88	54,44	72,35	80,78	84,84	89,61	90,72	90,78	92,75	92,29	91,83	90,59
Ef. Rem. Color (%)	37,03	66,07	81,40	81,89	85,15	86,62	86,30	86,62	88,58	88,91	87,44	87,44

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	11,80	2,000	0,771
2	10	10	6,97	1,000	0,456
3	15	10	4,23	0,667	0,276
4	20	10	2,94	0,500	0,192
5	25	10	2,32	0,400	0,152
6	30	10	1,59	0,333	0,104
1	35	10	1,42	0,286	0,093
2	40	10	1,41	0,250	0,092
3	45	10	1,11	0,222	0,073
4	50	10	1,18	0,200	0,077
5	55	10	1,25	0,182	0,082
6	60	10	1,44	0,167	0,094

FECHA: 07/05/2013 HORA: 1:19 p.m.  
 PRUEBA # 86. Curva de sedimentabilidad para Trafloc 2F con turbiedad inicial de 16.0 NTU

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
16,0	41	52,6	6,98	15				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	50	30	15	variable	2	-	-	

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Volumen Coagulante (ml)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	5,51	2,32	1,62	1,45	1,94	1,40	1,30	1,34	1,21	1,11	1,26	1,34
Color Residual (UPtCo)	24,8	15,5	11,9	11,1	15,6	10,9	10,5	11,3	10,8	10,7	12,5	12,3
pH	6,37	6,34	6,29	6,24	6,21	6,21	6,31	6,25	6,25	6,22	6,21	6,21
Ef. Rem. Turbiedad (%)	65,56	85,50	89,88	90,94	87,88	91,25	91,88	91,63	92,44	93,06	92,13	91,63
Ef. Rem. Color (%)	52,85	70,53	77,38	78,90	70,34	79,28	80,04	78,52	79,47	79,66	76,24	76,62

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	5,51	2,000	0,344
2	10	10	2,32	1,000	0,145
3	15	10	1,62	0,667	0,101
4	20	10	1,45	0,500	0,091
5	25	10	1,94	0,400	0,121
6	30	10	1,40	0,333	0,088
1	35	10	1,30	0,286	0,081
2	40	10	1,34	0,250	0,084
3	45	10	1,21	0,222	0,076
4	50	10	1,11	0,200	0,069
5	55	10	1,26	0,182	0,079
6	60	10	1,34	0,167	0,084

FECHA: 08/05/2013

HORA: 7:57 a.m.

PRUEBA # 87. Curva de sedimentabilidad para Cloruro Férrico con turbiedad inicial de 16.7 NTU

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA				
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)
16,7	35	64,8	7,15	14

CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	30	30	35	variable	7	10	5,5	8,49

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis Coagulante (mg/l)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Volumen Coagulante (ml)	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	
Turbiedad Residual (NTU)	8,46	3,27	1,19	1,26	1,29	0,77	0,82	0,70	0,66	0,68	0,59	0,57	
Color Residual (UPtCo)	49,1	19,8	9,4	9,5	8,6	7,4	7,2	6,6	6,0	6,3	6,2	5,8	
pH	5,70	5,61	5,63	5,66	5,61	5,63	5,95	5,85	5,81	5,72	5,68	5,65	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	49,34	80,42	92,87	92,46	92,28	95,39	95,09	95,81	96,05	95,93	96,47	96,59	
Ef. Rem. Color (%)	24,23	69,44	85,49	85,34	86,73	88,58	88,89	89,81	90,74	90,28	90,43	91,05	

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	8,46	2,000	0,507
2	10	10	3,27	1,000	0,196
3	15	10	1,19	0,667	0,071
4	20	10	1,26	0,500	0,075
5	25	10	1,29	0,400	0,077
6	30	10	0,77	0,333	0,046
1	35	10	0,82	0,286	0,049
2	40	10	0,70	0,250	0,042
3	45	10	0,66	0,222	0,040
4	50	10	0,68	0,200	0,041
5	55	10	0,59	0,182	0,035
6	60	10	0,57	0,167	0,034

FECHA: 08/05/2013 HORA: 11:39 a.m.  
 PRUEBA # 88. Curva de sedimentabilidad para Cloruro Férrico con turbiedad inicial de 19.0 NTU

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>												
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)								
19,0	33	75,4	6,85	14								
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>												
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado				
300	30	30	35	variable	7	10	6,0	8,48				
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>												
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Volumen Coagulante (ml)	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Tiempo de Sedimentación (min)	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Turbiedad Residual (NTU)	6,12	2,13	0,98	0,80	0,79	0,61	0,64	0,68	0,53	0,51	0,51	0,53
Color Residual (UPtCo)	34,1	13,2	8,0	8,0	7,6	6,5	5,8	6,6	5,5	5,4	5,4	5,8
pH	5,54	5,47	5,42	5,38	5,34	5,36	5,66	5,54	5,45	5,39	5,39	5,37
Ef. Rem. Turbiedad (%)	67,79	88,79	94,84	95,79	95,84	96,79	96,63	96,42	97,21	97,32	97,32	97,21
Ef. Rem. Color (%)	54,77	82,49	89,39	89,39	89,92	91,38	92,31	91,25	92,71	92,84	92,84	92,31

<b>RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD</b>					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	6,12	2,000	0,322
2	10	10	2,13	1,000	0,112
3	15	10	0,98	0,667	0,052
4	20	10	0,80	0,500	0,042
5	25	10	0,79	0,400	0,042
6	30	10	0,61	0,333	0,032
1	35	10	0,64	0,286	0,034
2	40	10	0,68	0,250	0,036
3	45	10	0,53	0,222	0,028
4	50	10	0,51	0,200	0,027
5	55	10	0,51	0,182	0,027
6	60	10	0,53	0,167	0,028

### ANEXO 3.4 Determinación de dosis de coagulante con los parámetros óptimos establecidos

FECHA: 09/05/2013

HORA: 8:04 a.m.

PRUEBA # 89. Determinación de dosis para sulfato de aluminio líquido 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)
9,71		34		58,5		7,09		14
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	30	20	20	3	10	4,5	8,53

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	40	45	50	55	60
Volumen Coagulante (ml)	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0
Turbiedad Residual (NTU)	11,80	4,89	2,51	2,59	3,77	3,70
Color Residual (UPtCo)	68,5	36,6	17,4	16,0	18,9	19,3
pH	6,48	6,44	6,42	6,37	6,20	6,14
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	49,64	74,15	73,33	61,17	61,89
Ef. Rem. Color (%)	0,00	37,44	70,26	72,65	67,69	67,01

FECHA: 09/05/2013

HORA: 10:45 a.m.

PRUEBA # 90. Determinación de dosis para Sulfato de Aluminio Líquido 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)		Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )		Color (UPtCo)		pH		Temperatura (°C)
9,12		35		53,1		6,75		14
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	30	20	20	3	10	3	8,49



<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	35	40	45	50	55	60
Volumen Coagulante (ml)	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0
Turbiedad Residual (NTU)	10,00	5,17	1,90	2,27	2,74	3,30
Color Residual (UPtCo)	59,9	38,8	14,7	13,5	14,4	16,9
pH	6,90	6,69	6,52	6,48	6,27	6,24
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	43,31	79,17	75,11	69,96	63,82
Ef. Rem. Color (%)	0,00	26,93	72,32	74,58	72,88	68,17

FECHA: 09/05/2013

HORA: 11:28 a.m.

PRUEBA # 91. Determinación de dosis para Trafloc 2F 2%

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
9,02	36	51,9	7,29	14				
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	50	30	15	15	2	-	-	-

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Turbiedad Residual (NTU)	1,95	9,11	8,19	7,47	7,10	7,47
Color Residual (UPtCo)	11,0	61,0	61,4	63,1	65,4	67,5
pH	6,50	6,24	5,72	5,11	4,79	4,65
Ef. Rem. Turbiedad (%)	78,38	0,00	9,20	17,18	21,29	17,18
Ef. Rem. Color (%)	78,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

FECHA: 09/05/2013 HORA: 11:28 a.m.  
 PRUEBA # 92. Determinación de dosis para Trafloc 2F 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)		pH	Temperatura (°C)		
9,02	36		51,9		7,29	14		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	50	30	15	15	2	-	-	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	3	5	7	10	13	15
Volumen Coagulante (ml)	0,3	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5
Turbiedad Residual (NTU)	7,48	8,48	3,33	1,72	1,06	2,20
Color Residual (UPtCo)	53,4	55,8	20,5	10,9	7,4	19,2
pH	6,91	6,83	6,78	6,72	6,51	6,50
Ef. Rem. Turbiedad (%)	17,07	5,99	63,08	80,93	88,25	75,61
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	60,50	79,00	85,74	63,01

FECHA: 09/05/2013 HORA: 11:28 a.m.  
 PRUEBA # 93. Determinación de dosis para Trafloc 2F 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)		pH	Temperatura (°C)		
9,02	36		51,9		7,29	14		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	50	30	15	15	2	-	-	-

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	3	5	7	10	13	15
Volumen Coagulante (ml)	0,3	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5
Turbiedad Residual (NTU)	7,32	8,42	2,87	1,62	0,97	1,88
Color Residual (UPtCo)	53,6	56,1	18,9	10,9	7,2	17,4
pH	6,94	6,81	6,81	6,72	6,58	6,49
Ef. Rem. Turbiedad (%)	18,85	6,65	68,18	82,04	89,25	79,16
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	63,58	79,00	86,13	66,47

FECHA: 10/05/2013

HORA: 7:56 a.m.

PRUEBA # 94. Determinación de dosis para Cloruro Férrico 7%

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
7,91	35	43,4	7,19	14				
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	30	30	35	15	7	10	6,5	8,50

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	0,29	0,57	0,86	1,14	1,43	1,71
Turbiedad Residual (NTU)	7,88	3,75	1,06	10,80	9,96	8,01
Color Residual (UPtCo)	94,4	56,3	10,0	236,1	408,8	476,4
pH	7,07	6,66	5,95	4,52	3,92	3,59
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,38	52,59	86,60	0,00	0,00	0,00
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	76,96	0,00	0,00	0,00

FECHA: 10/05/2013

HORA: 7:56 a.m.

PRUEBA # 95. Determinación de dosis para Cloruro Férrico 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )		Color (UPtCo)		pH	Temperatura (°C)		
7,91	35		43,4		7,19	14		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	30	30	35	15	7	10	6,5	8,50

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	22	25	27	30	32	35
Volumen Coagulante (ml)	0,63	0,71	0,77	0,86	0,91	1,00
Turbiedad Residual (NTU)	1,65	1,41	1,03	1,22	1,54	4,39
Color Residual (UPtCo)	17,8	14,9	10,1	10,9	12,9	75,2
pH	6,14	6,09	5,98	5,77	5,59	6,35
Ef. Rem. Turbiedad (%)	79,14	82,17	86,98	84,58	80,53	44,50
Ef. Rem. Color (%)	58,99	65,67	76,73	74,88	70,28	0,00

FECHA: 10/05/2013

HORA: 7:56 a.m.

PRUEBA # 96. Determinación de dosis para Cloruro Férrico 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )		Color (UPtCo)		pH	Temperatura (°C)		
7,91	35		43,4		7,19	14		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	30	30	35	15	7	10	6,5	8,50

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	22	25	27	30	32	35
Volumen Coagulante (ml)	0,63	0,71	0,77	0,86	0,91	1,00
Turbiedad Residual (NTU)	1,46	1,44	1,07	1,12	1,25	6,82
Color Residual (UPtCo)	15,9	12,0	8,6	10,0	9,9	118,1
pH	6,48	6,25	6,15	5,97	5,77	5,46
Ef. Rem. Turbiedad (%)	81,54	81,80	86,47	85,84	84,20	13,78
Ef. Rem. Color (%)	63,36	72,35	80,18	76,96	77,19	0,00

FECHA: 10/05/2013

HORA: 11:24 a.m.

PRUEBA # 97. Determinación de dosis para Sulfato de Aluminio Líquido 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)	Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)				
8,24	37	42,6	7,05	14				
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	30	20	20	3	10	6,5	8,52

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/ JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	35	40	45	50	55	60
Volumen Coagulante (ml)	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0
Turbiedad Residual (NTU)	8,54	4,70	1,96	1,57	2,05	2,68
Color Residual (UPtCo)	49,0	33,6	15,5	10,6	12,1	12,5
pH	6,95	6,78	6,74	6,63	6,46	6,38
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	42,96	76,21	80,95	75,12	67,48
Ef. Rem. Color (%)	0,00	21,13	63,62	75,12	71,60	70,66

FECHA: 14/05/2013 HORA: 11:10 a.m.  
 PRUEBA # 98. Determinación de dosis para Sulfato de Aluminio Líquido 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)			
5,65	48		28,4	7,19	16			
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	30	20	20	3	10	7,0	8,47

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO/JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis Coagulante (mg/l)	10	20	30	40	50	60
Volumen Coagulante (ml)	0,7	1,3	2,0	2,7	3,3	4,0
Turbiedad Residual (NTU)	6,06	5,50	5,69	7,15	1,23	1,29
Color Residual (UPtCo)	31,0	31,5	32,3	35,5	9,2	7,5
pH	7,79	7,82	7,51	7,13	7,06	6,76
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	2,65	0,00	0,00	78,23	77,17
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	67,61	73,59

FECHA: 14/05/2013 HORA: 11:10 a.m.  
 PRUEBA # 99. Determinación de dosis para Sulfato de Aluminio Líquido 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA								
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco3)		Color (UPtCo)	pH	Temperatura (°C)			
5,65	48		28,4	7,19	16			
CONDICIONES INICIALES PRUEBA								
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	volumen cal aplicado (ml)	pH ajustado
300	10	30	20	20	3	10	7,0	8,47

<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PARÁMETRO/ JARRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Dosis Coagulante (mg/l)	35	40	45	50	55	60
Volumen Coagulante (ml)	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7	4,0
Turbiedad Residual (NTU)	7,03	7,46	2,43	1,36	1,55	1,59
Color Residual (UPtCo)	33,9	35,7	17,5	9,1	8,1	8,3
pH	7,54	7,25	7,09	6,99	6,89	6,75
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0,00	0,00	56,99	75,93	72,57	71,86
Ef. Rem. Color (%)	0,00	0,00	38,38	67,96	71,48	70,77

## ANEXO 4. REGISTRO DE CÁLCULOS

### ANEXO 4.1 Preparación de soluciones madre de coagulante

Para la preparación de soluciones madre se empleó sulfato de aluminio líquido tipo B con una concentración de 50% v/v; Cloruro férrico con concentración 42% v/v y Trafloc 2F con concentración 20% v/v, a partir de estas soluciones se prepararon las soluciones madre con concentraciones de 1, 2, 3, 5, 7, y 10% usando la siguiente expresión:

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

Donde:

V1 = volumen solución 1

C1 = concentración solución 1

V2 = volumen solución 2

C2 = concentración solución 2

Usando la expresión anterior, para la preparación de una solución del 1% de sulfato de aluminio líquido en un balón volumétrico de 100 ml tenemos:

$$100 \text{ ml} \times 1\% = V_2 \times 50\%$$

$$V_2 = \frac{100 \text{ ml} \times 1\%}{50\%}$$

$$V_2 = 2 \text{ ml}$$

2 ml sería el volumen de solución de 50% de sulfato de aluminio que se necesita para preparar una solución del 1 %; de manera similar se prepararon las demás soluciones presentando los resultados a continuación:

Concentración solución	Cantidad a preparar (ml)	Volumen solución sulfato de aluminio 50%	Volumen solución cloruro férrico 42%	Volumen solución Trafloc 2F 20%
1%	50	1	1.19	2.5
2%		2	2.38	5.0
3%		3	3.57	7.5
5%		5	5.95	12.5
7%		7	8.33	17.5
10%		10	11.90	25.0



## **ANEXO 4.2 Cálculos de eficiencias de remoción de turbiedad mediante el empleo de curvas de sedimentabilidad.**

Para el cálculo de remoción de turbiedad tal que al final del proceso de sedimentación esta fuera de 1 NTU se procedió de la siguiente manera:

Para los tres coagulantes se define la eficiencia que se debe obtener para garantizar una turbiedad del agua decantada de 1 NTU (Ecuación 1), además se graficaron los datos obtenidos; de fracción remanente de turbiedad y velocidad de sedimentación obteniéndose la ecuación de la línea de tendencia con las variables Y y X que corresponden a la fracción remanente y la velocidad de sedimentación respectivamente, para valores de turbiedad representativos. De ahí se determina un coeficiente C o fracción remanente para cada velocidad de sedimentación comprendida en el estudio, luego se determina las eficiencias empleando la ecuación 2 de remoción total.

$$E = \frac{Turb.Inicial - Turb.Final}{Turb.Inicial} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Para el presente análisis se asume como turbiedad final un valor de 1 NTU.

$$RT = 1 - C + \frac{area}{V_{sc}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

El cálculo de las áreas corresponde al área bajo la curva de la gráfica fracción remanente Versus velocidad de sedimentación y se calculan por el método geométrico empleando figuras trapezoidales.

### **COAGULANTE: Sulfato de aluminio líquido tipo B**

Para este análisis se consideran turbiedades en el orden de 5 NTU (Figura 1), de 15 NTU (Figura 2) y 25 NTU (Figura 3).

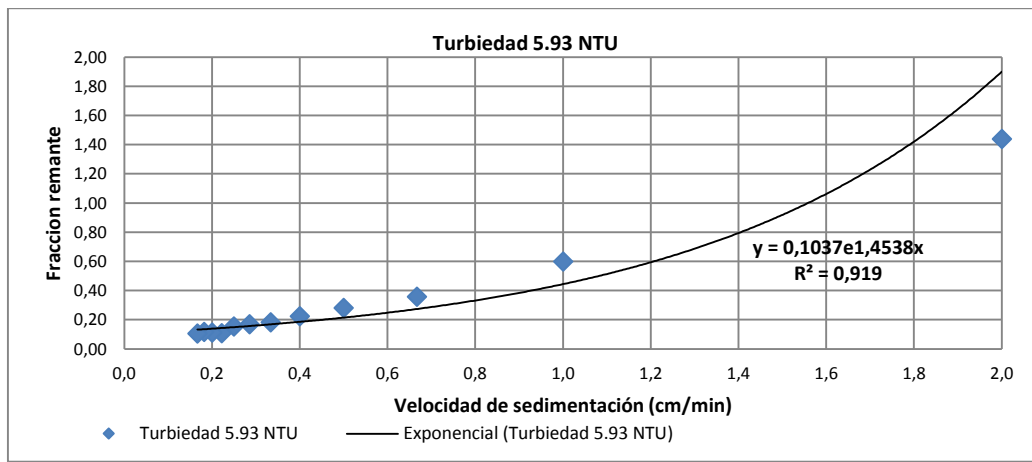
Se muestra el cálculo tipo para la turbiedad de 5.93 NTU.

#### **Turbiedad en el orden de 5 NTU**

Para esta turbiedad se determinó la eficiencia que se requiere para obtener una turbiedad del agua sedimentada de 1 NTU empleando la ecuación 1, así:

$$E = \frac{5.93 - 1.0}{5.93} \times 100 = 83.1\%$$

Se grafican los datos de velocidad de sedimentación Vs Fracción remanente y se encuentra la ecuación de la línea de tendencia, obteniéndose la siguiente figura:



**Figura 1. Fracción remanente Vs velocidad de sedimentación para sulfato de aluminio. Turbiedad de 5.93 NTU**

Con la ecuación  $y = 0.1037e^{1.4538x}$  se obtienen los valores de fracción remanente de la curva de tendencia

Donde  $y = c =$  Fracción remanente y  
 $x =$  Velocidad de sedimentación

Para una velocidad de sedimentación de 2 cm/min, la fracción remanente es:

$$y = 0.1037e^{1.4538 \cdot 2}$$

$$y = 1.899$$

De esta misma forma se calcula los valores de fracción remanente para las diferentes velocidades de sedimentación. Además, se calculan las áreas bajo la curva por el método gráfico empleando figuras trapezoidales, obteniéndose los siguientes resultados:

Vs	2,00	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17
c	1,899	0,444	0,273	0,215	0,185	0,168	0,157	0,149	0,143	0,139	0,135	0,132
áreas individuales	2,183	0,142	0,034	0,013	0,006	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,011
Áreas totales	2,399	0,216	0,074	0,040	0,026	0,020	0,017	0,015	0,013	0,012	0,012	0,011

Con la ecuación 2 se obtienen la eficiencias totales, como ejemplo se muestra el cálculo para una velocidad de sedimentación de 0.67 cm/min.

$$RT = 1 - 0.273 + \frac{0.074}{0.67}$$

$$RT = 0.837 = 83.7\%$$

Además se encuentra la turbiedad del agua sedimentada empleando la siguiente ecuación:

$$Turb. final = Turb. inicial \times (1 - RT)$$

Reemplazando queda:

$$Turb. final = 5.93 \times (1 - 0.837)$$

$$Turb. final = 0.964$$

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Vs	2,00	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17
c	1,899	0,444	0,273	0,215	0,185	0,168	0,157	0,149	0,143	0,139	0,135	0,132
Eficiencia (RT)	0,300	0,772	0,837	0,865	0,881	0,892	0,901	0,909	0,916	0,922	0,928	0,934
Turbiedad del agua decantada	4,149	1,351	0,964	0,803	0,708	0,639	0,585	0,539	0,498	0,460	0,425	0,392

Como se observa en la anterior tabla se evidencia que para turbiedades iniciales del agua cruda en un rango de 5 NTU se requieren velocidades de sedimentación menores a 1 cm/min.

### Turbiedad en el orden de 15 NTU

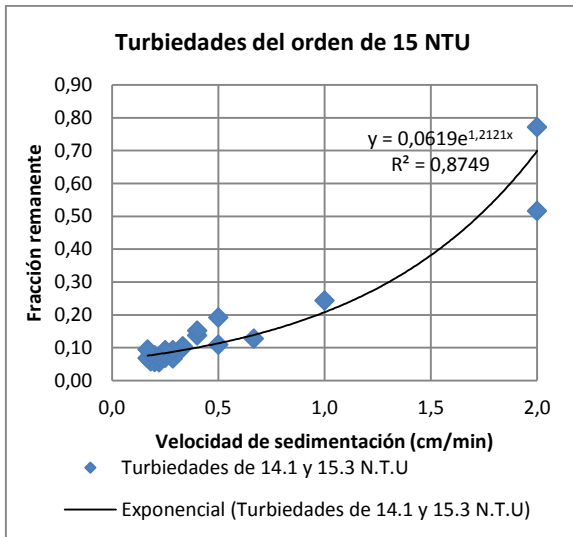
En este caso como se realizaron pruebas con turbiedades del agua cruda muy parecidas, se sacó un promedio entre éstas dos y con ella se determinó la eficiencia que se requiere para obtener una turbiedad final del orden de 1 NTU.

$$Prom turb inicial = \frac{(14.1 + 15.3)NTU}{2} = 14.7 NTU$$

Por tanto la eficiencia requerida es de:

$$E = \frac{14.7 - 1}{14.7} \times 100 = 93.2\%$$

A continuación se presenta la figura 2 correspondiente a la Velocidad de sedimentación Versus Fracción remanente y la tabla con los resultados obtenidos de C, áreas, RT y Turbiedad del agua sedimentada.



Vs (cm/min)	c	Áreas individuales	Áreas totales	Eficiencia (RT)	Turbiedad decantada
2,000	0,699	0,737	0,828	0,715	4,188
1,000	0,208	0,058	0,092	0,884	1,710
0,667	0,139	0,015	0,034	0,912	1,289
0,500	0,113	0,006	0,019	0,925	1,101
0,400	0,101	0,003	0,013	0,933	0,983
0,333	0,093	0,002	0,011	0,939	0,896
0,286	0,088	0,001	0,009	0,944	0,824
0,250	0,084	0,001	0,008	0,948	0,762
0,222	0,081	0,000	0,007	0,952	0,706
0,200	0,079	0,000	0,007	0,956	0,653
0,182	0,077	0,000	0,007	0,959	0,604
0,167	0,076	0,006	0,006	0,962	0,557

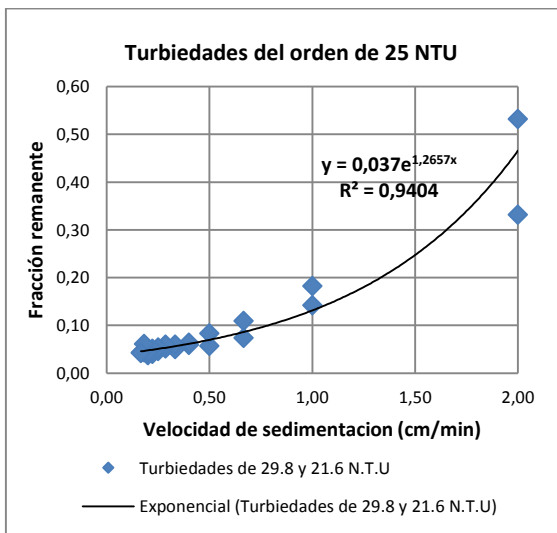
Figura 2 y Tabla resumen. Fracción remanente Vs velocidad de sedimentación para sulfato de aluminio. Turbiedad prom 14.7 NTU.

### Turbiedad en el orden de 25 NTU

También se determinó una turbiedad inicial promedio siendo de

$$Prom\ turb\ inicial = \frac{(29.8 + 21.6)N.T.U}{2} = 25.7\ NTU$$

Para la cual se requiere una eficiencia de 96.1% para garantizar una turbiedad del agua sedimentada igual a 1 NTU. Los resultados obtenidos se presentan a continuación



Vs (cm/min)	c	Áreas individuales	Áreas totales	Eficiencia (RT)	Turbiedad decantada
2,00	0,465	0,5009	0,5602	0,815	4,756
1,00	0,131	0,0376	0,0592	0,928	1,849
0,67	0,086	0,0095	0,0216	0,946	1,378
0,50	0,070	0,0037	0,0121	0,954	1,170
0,40	0,061	0,0018	0,0083	0,959	1,042
0,33	0,056	0,0010	0,0065	0,963	0,947
0,29	0,053	0,0006	0,0055	0,966	0,871
0,25	0,051	0,0004	0,0049	0,969	0,804
0,22	0,049	0,0003	0,0045	0,971	0,744
0,20	0,048	0,0002	0,0042	0,973	0,689
0,18	0,047	0,0002	0,0040	0,975	0,637
0,17	0,046	0,0038	0,0038	0,977	0,587

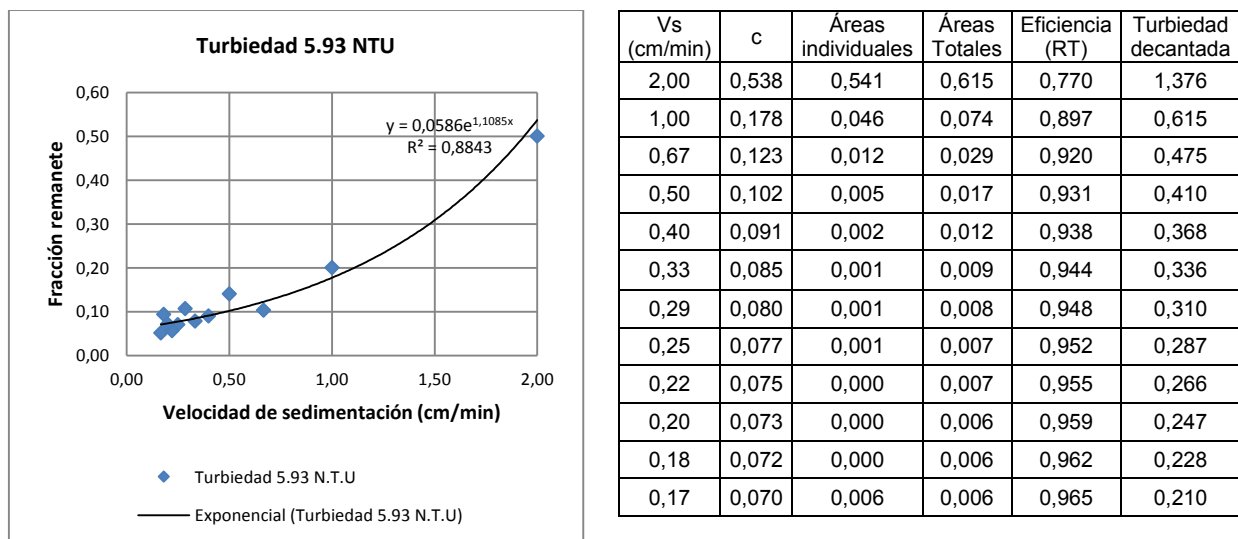
Figura 3 y Tabla resumen. Fracción remanente Vs velocidad de sedimentación para sulfato de aluminio. Turbiedad prom 25.7 NTU.

## COAGULANTE: Cloruro férrico

Para este análisis se consideran turbiedades en el orden de 5 NTU (Figura 4) y de 20 NTU (Figura 5).

### Turbiedad en el orden de 5 NTU

A continuación se presenta la figura 4 y la tabla con los resultados obtenidos de C, áreas, RT y Turbiedad del agua sedimentada para una turbiedad inicial de 5.93 NTU.



**Figura 4 y Tabla resumen. Fracción remanente Vs velocidad de sedimentación para Cloruro Férrico. Turbiedad 5.93 NTU.**

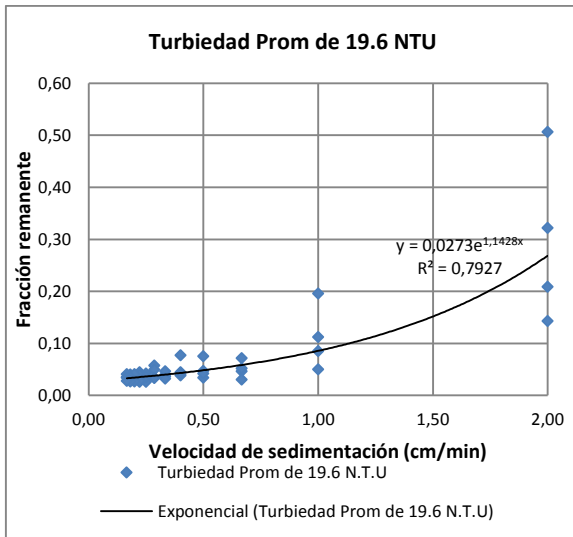
### Turbiedad en el orden de 20 NTU

Se determinó una turbiedad inicial promedio con cuatro datos de turbiedad inicial, siendo de

$$Prom\ turb\ inicial = \frac{(17.2 + 25.5 + 16.7 + 19.0)NTU}{4} = 19.6\ NTU$$

Para la cual se requiere una eficiencia de 94.9% para garantizar una turbiedad del agua sedimentada igual a 1 NTU.

Se presenta la figura 5 y la tabla con los resultados obtenidos de C, áreas, RT y turbiedad del agua sedimentada.



Vs (cm/min)	c	Áreas individuales	Áreas totales	Eficiencia (RT)	turbiedad decantada
2,00	0,268	0,274	0,311	0,887	2,216
1,00	0,086	0,023	0,037	0,951	0,962
0,67	0,058	0,006	0,014	0,962	0,737
0,50	0,048	0,002	0,008	0,968	0,633
0,40	0,043	0,001	0,006	0,971	0,568
0,33	0,040	0,001	0,005	0,974	0,518
0,29	0,038	0,000	0,004	0,976	0,478
0,25	0,036	0,000	0,003	0,977	0,442
0,22	0,035	0,000	0,003	0,979	0,410
0,20	0,034	0,000	0,003	0,981	0,380
0,18	0,034	0,000	0,003	0,982	0,351
0,17	0,033	0,003	0,003	0,983	0,324

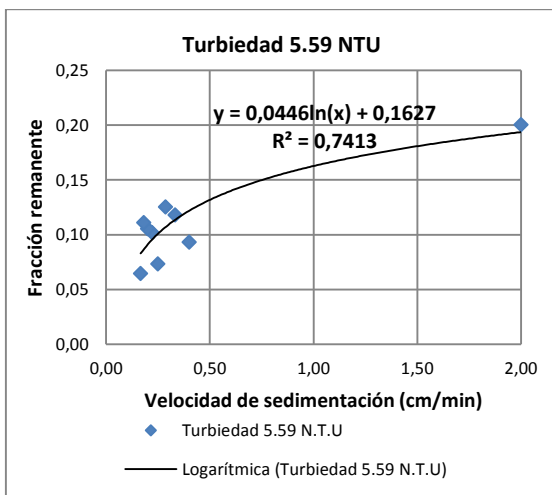
Figura 5 y Tabla resumen. Fracción remanente Vs velocidad de sedimentación para Cloruro Férrico. Turbiedad prom 19.6 NTU.

### COAGULANTE: Trafloc 2F

Para este análisis se consideran turbiedades en el orden de 5 NTU (Figura 6), 17 NTU (Figura 7) y de 30 NTU (Figura 8).

#### Turbiedad en el orden de 5 NTU

A continuación se presenta la figura 6 y la tabla con los resultados obtenidos de C, áreas, RT y Turbiedad del agua sedimentada para una turbiedad inicial de 5.59 NTU.



Vs (cm/min)	c	Áreas individuales	Áreas totales	Eficiencia (RT)	turbiedad decantada
2,00	0,194	0,086	0,103	0,858	0,793
0,40	0,122	0,003	0,017	0,921	0,439
0,33	0,114	0,002	0,014	0,929	0,395
0,29	0,107	0,002	0,012	0,936	0,358
0,25	0,101	0,001	0,011	0,942	0,326
0,22	0,096	0,001	0,009	0,947	0,299
0,20	0,091	0,001	0,008	0,951	0,274
0,18	0,087	0,001	0,008	0,955	0,252
0,17	0,083	0,007	0,007	0,959	0,231

Figura 6 y Tabla resumen. Fracción remanente Vs velocidad de sedimentación para Trafloc 2F. Turbiedad 5.59 NTU.

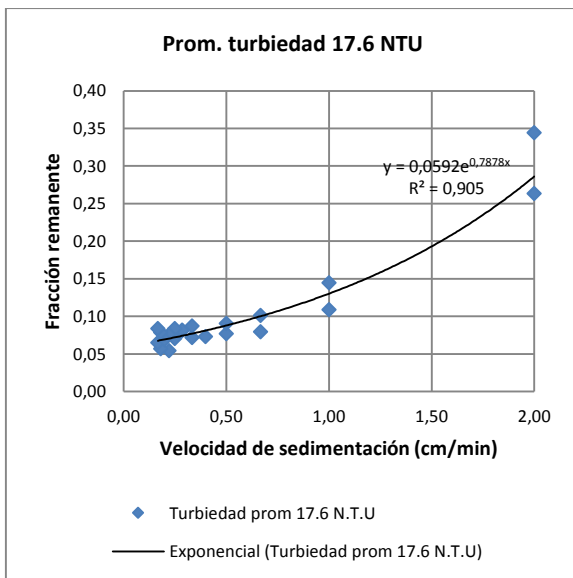
## Turbiedad en el orden de 17 NTU

Se determinó una turbiedad inicial promedio con dos datos de turbiedad inicial, siendo de

$$\text{Prom turb inicial} = \frac{(19.2 + 16.0) \text{NTU}}{2} = 17.6 \text{ NTU}$$

Para la cual se requiere una eficiencia de 94.3% para garantizar una turbiedad del agua sedimentada igual a 1 NTU.

Se presenta la figura 7 y la tabla con los resultados obtenidos de C, áreas, RT y Turbiedad del agua sedimentada.

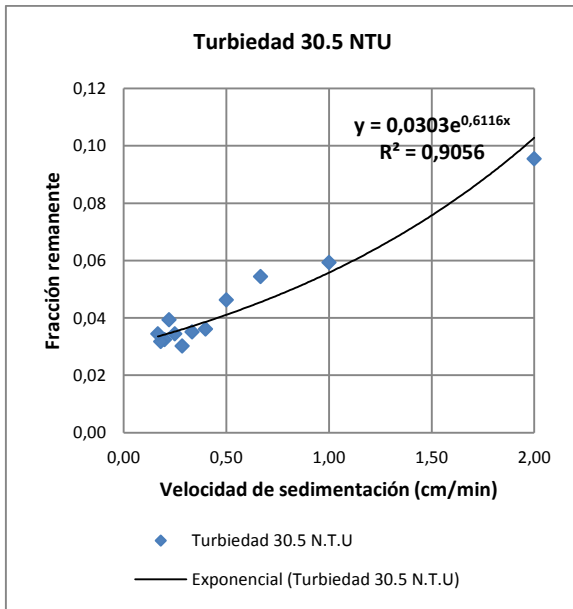


Vs (cm/min)	c	Áreas individuales	Áreas totales	Eficiencia (RT)	turbiedad decanta
2,00	0,286	0,234	0,273	0,850	2,633
1,00	0,130	0,025	0,039	0,909	1,603
0,67	0,100	0,010	0,014	0,921	1,392
0,40	0,081	0,002	0,004	0,929	1,256
0,33	0,077	0,001	0,002	0,930	1,229
0,29	0,074	0,001	0,002	0,931	1,212
0,25	0,072	0,000	0,001	0,932	1,201
0,22	0,071	0,000	0,001	0,932	1,195
0,20	0,069	0,000	0,000	0,932	1,191
0,18	0,068	0,000	0,000	0,932	1,189
0,17	0,068	0,000	0,000	0,932	1,188

**Figura 7 y Tabla resumen. Fracción remanente Vs velocidad de sedimentación para Trafloc 2F. Turbiedad prom 17.6 NTU.**

## Turbiedad en el orden de 30 NTU

A continuación se presenta la figura 8 y la tabla con los resultados obtenidos de C, áreas, RT y Turbiedad del agua sedimentada para una turbiedad inicial de 30.5 NTU.



Vs (cm/min)	c	Áreas individuales	Áreas totales	Eficiencia (RT)	Turbiedad decantada
2,00	0,103	0,071	0,085	0,940	1,837
1,00	0,056	0,009	0,015	0,959	1,252
0,67	0,046	0,004	0,006	0,964	1,105
0,50	0,041	0,001	0,003	0,964	1,098
0,40	0,039	0,001	0,001	0,965	1,068
0,33	0,037	0,000	0,001	0,966	1,050
0,29	0,036	0,000	0,001	0,966	1,039
0,25	0,035	0,000	0,000	0,966	1,032
0,22	0,035	0,000	0,000	0,966	1,028
0,20	0,034	0,000	0,000	0,966	1,025
0,18	0,034	0,000	0,000	0,966	1,024
0,17	0,034	0,000	0,000	0,966	1,023

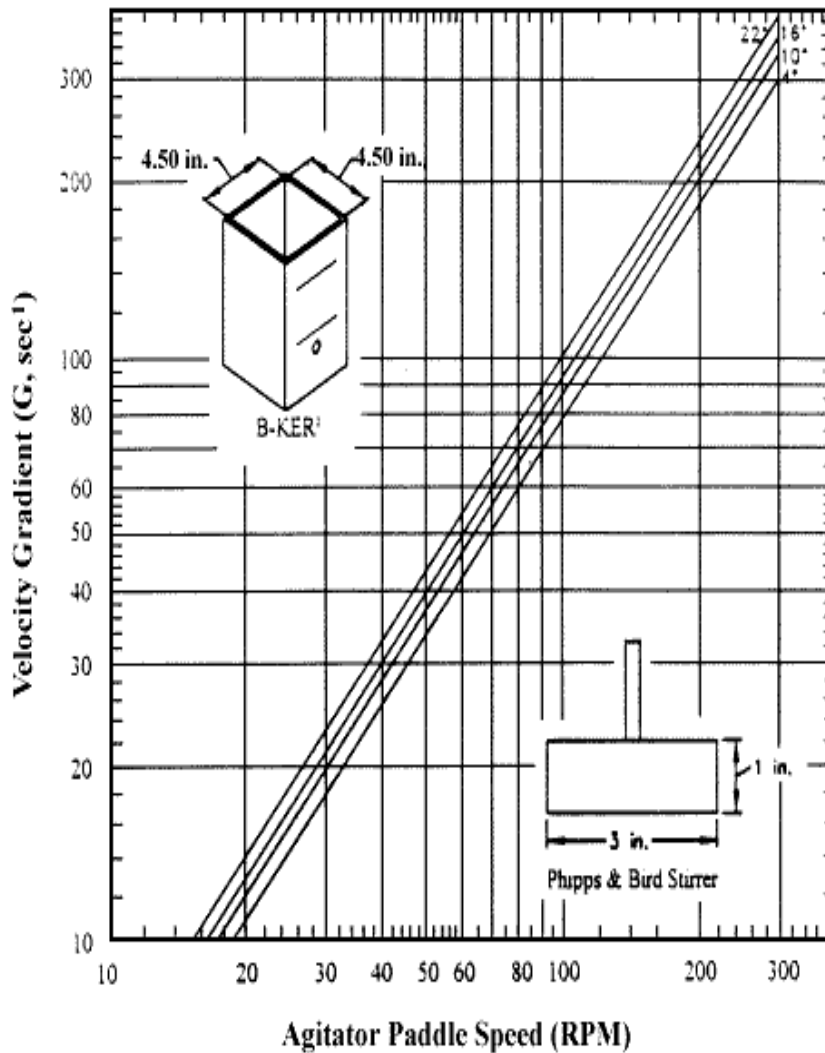
**Figura 8 y Tabla resumen. Fracción remanente Vs velocidad de sedimentación para Trafloc 2F. Turbiedad 30.5 NTU**



## ANEXO 5. GRÁFICAS

### ANEXO 5.1. Relación gradiente de velocidad en $s^{-1}$ Vs velocidad de agitación

Se realizó la conversión de la velocidad de agitación (R.P.M) en los gradientes de velocidad ( $s^{-1}$ ) utilizados en el desarrollo del estudio haciendo uso de la gráfica que se presenta a continuación desarrollada para jarras cuadradas de 2 litros de capacidad.

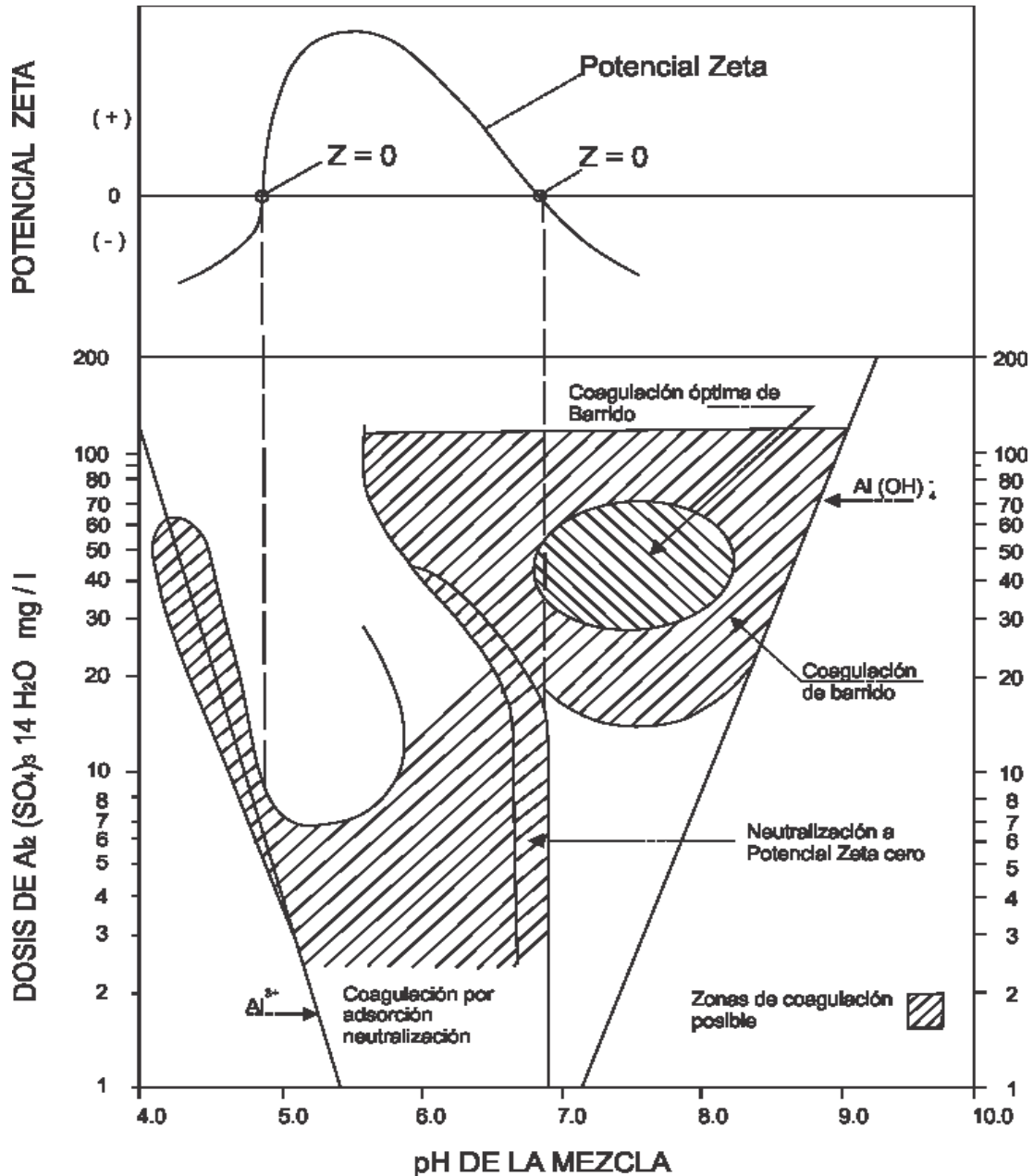


Ábaco que relaciona el gradiente de velocidad con las revoluciones por minuto de un equipo de prueba de jarras con recipientes de 2 litros

Fuente: <http://www.phippsbird.com/gcurve.html>

## ANEXO 5.2 Diagrama de coagulación –Turbiedad para Sulfato de Aluminio

Regiones de coagulación para turbiedad empleando sulfato de aluminio líquido tipo B.



Zonas de coagulación de Turbiedad según los estudios de Amirtharajh y Mills para distintas dosis de sulfato de aluminio a distinto pH. Fuente: Arboleda, 2000

### ANEXO 5.3 Diagrama de coagulación de hierro a 25°C

Se presenta a continuación la gráfica empleada para determinar las regiones de coagulación con hierro.

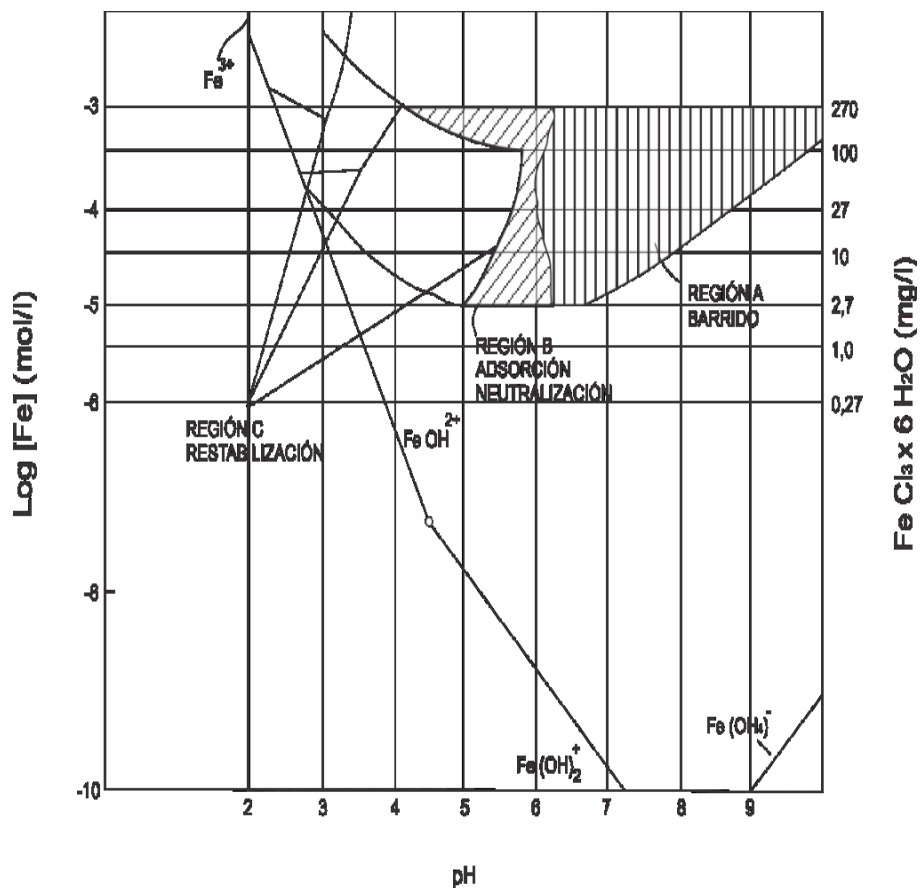


Diagrama de coagulación de hierro a temperatura de 25 °C. Fuente: Di Bernardo, 1993

## ANEXO 6. REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Vista general de la planta de tratamiento zona norte "Planta Palacé"



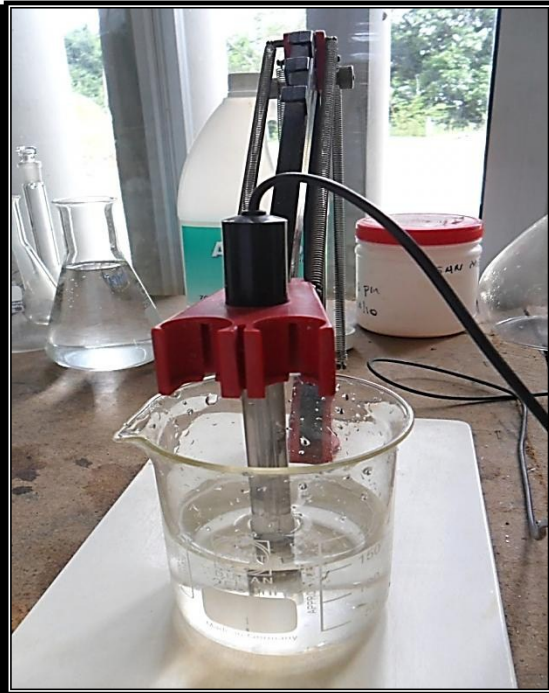
Fotografía 2. Detalle Cámara de llegada (Punto de muestreo)



Fotografía 3. Detalle Equipo y Prueba de Jarras



a)



b)

Fotografía 4. Detalle pHmetro (a) y Detalle electrodo (b)



Fotografía 5. Detalle Espectrofotómetro



Fotografía 6. Detalle Turbidímetro