



**ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE TRATABILIDAD DEL  
AGUA CRUDA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL  
MUNICIPIO DE SANTANDER DE QUILICHAO**

**ANDRÉS MAURICIO MUNAR SAMBONÍ  
HUGO JAVIER SOLÍS CHÁVEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN, CAUCA**

**2006**

**ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE TRATABILIDAD DEL AGUA  
CRUDA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL MUNICIPIO DE  
SANTANDER DE QUILICHAO**

**ANDRÉS MAURICIO MUNAR SAMBONÍ  
HUGO JAVIER SOLÍS CHÁVEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Ambiental**

**DIRECTOR**

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

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN, CAUCA**

**2006**

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente documento fue posible gracias a la financiación del proyecto investigativo ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE TRATABILIDAD DEL AGUA CRUDA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL MUNICIPIO DE SANTANDER DE QUILICHAO realizado en el marco del convenio interinstitucional 004 firmado entre la Universidad del Cauca y la Empresa de Servicios Públicos de Santander de Quilichao EMQUILICHAO E.S.P. Los autores del presente documento expresan sus más sinceros agradecimientos al recurso humano de la Planta de Tratamiento “El Arroyo”, al Gerente General Ing. Juan José Fernández, al personal técnico y administrativo de la empresa, y a las personas que de una u otra forma hicieron posible el desarrollo del presente estudio en especial a las familias González y Mera.

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Javier Ernesto Fernández Mera**

**Director**

---

**John Calderón Ramírez**

**Jurado**

---

**Guillermo Cháux Figueroa**

**Jurado**

**Popayán, 4 de Diciembre de 2006**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	4
1. MARCO TEÓRICO	6
1.1 Teoría de la coagulación del agua	6
1.1.1 Mecanismos de desestabilización de partículas	6
1.1.2 Diagramas de Coagulación - Floculación	7
1.1.3 Gradiente de Velocidad	8
1.1.4 Mezcla Rápida	8
1.1.5 Proceso de floculación	8
1.1.6 Mezcla Lenta	9
1.2 Control del proceso de coagulación - floculación	9
1.2.1 Optimización de la mezcla rápida y mezcla lenta	10
1.2.1.1 Concentración de la solución madre óptima de coagulante	10
1.2.1.2 pH	11
1.2.1.3 Temperatura	11
1.2.1.4 Gradiente y Tiempo de mezcla rápida	11
1.2.1.5 Gradiente y Tiempo de mezcla lenta	12
1.3. Teoría de la sedimentación del agua	13
1.3.1 Sedimentación convencional y de alta tasa	14
1.3.2 Control al proceso de sedimentación	15
1.4 Filtración rápida y Filtración directa	16
2. OBJETIVOS	18
2.1 General	18
2.2 Específicos	18

3.	METODOLOGÍA	19
3.1	Marco contextual, planta de tratamiento “El Arroyo”	19
3.2	Desarrollo metodológico específico	20
3.2.1	Recolección de muestras	21
3.2.2	Fase 1. Determinación de parámetros óptimos de coagulación	22
3.2.2.1	Determinación de dosis óptima	22
3.2.2.2	Solución madre	23
3.2.2.3	pH de coagulación	23
3.2.2.4	Tiempo de mezcla rápida	24
3.2.3	Fase dos. Proceso de floculación	24
3.2.4	Fase tres. Proceso de sedimentación	25
3.2.5	Fase cuatro. Proceso de filtración directa	26
3.2.6	Fase quinta. Comparación con datos de funcionamiento de la planta “El Arroyo”	27
4.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	28
4.1	Calidades de agua cruda de las Fuentes estudiadas.	28
4.1.1	Calidad del agua cruda. Río Quilichao	28
4.1.2	Calidad del agua cruda. Río Mondomo	29
4.1.3	Calidad del agua cruda. Mezcla Río Mondomo – Río Quilichao Proporción 50% - 50%	30
4.2	Evaluación de Río Quilichao	31
4.2.1	Proceso de Coagulación	31
4.2.1.1	Dosis óptima	31
4.2.1.2	Solución madre de Coagulante	33
4.2.1.3	pH de coagulación	35
4.2.1.4	Tiempo de mezcla rápida	37
4.2.2	Proceso de Floculación	38
4.2.3	Proceso de Sedimentación	39
4.2.4	Proceso filtración directa	41
4.3	Evaluación del Río Mondomo	43

4.3.1	Proceso de coagulación	43
4.3.1.1	Dosis óptima	43
4.3.1.2	Solución madre de Coagulante	44
4.3.1.3	pH de coagulación	45
4.3.1.4	Tiempo de mezcla rápida	46
4.3.2	Proceso de Floculación	47
4.3.3	Proceso de Sedimentación	49
4.4	Evaluación de la Mezcla Río Quilichao y Río Mondomo.	
	Proporción 50 - 50 %	51
4.4.1	Proceso de coagulación	51
4.4.1.1	Dosis óptima	51
4.4.1.2	Solución madre de Coagulante	53
4.4.1.3	pH de coagulación	55
4.4.1.4	Tiempo de mezcla rápida	57
4.4.2	Proceso de Floculación	58
4.4.3	Proceso de Sedimentación	60
4.4.4	Proceso filtración directa	62
4.5	Discusión General de Resultados	63
5.	COMPARACIÓN CON DATOS DE FUNCIONAMIENTO DE PLANTA “EL ARROYO”	70
5.1	Determinación de gradientes y tiempos teóricos de mezcla lenta	70
5.2	Determinación de la velocidad crítica de sedimentación	72
5.3	Carga superficial del sedimentador.	73
5.3	Perspectivas para el funcionamiento.	73
6.	CONCLUSIONES	75
7.	RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFÍA	80
	ANEXOS	84
	ANEXO 1. PLANOS PLANTA DE TRATAMIENTO “EL ARROYO”	85
	ANEXO 1.1 Detalle Planta general “El Arroyo”	85

ANEXO 1.2 Detalle Canaleta Parshall y Punto de Muestreo. Planta “El Arroyo”	86
ANEXO 1.3 Detalle floculador. Planta “El Arroyo”	87
ANEXO 1.4 Detalle Sedimentador. Planta “El Arroyo”	88
ANEXO 2. FICHAS TÉCNICAS DE REACTIVOS Y EQUIPOS UTILIZADOS.	89
ANEXO 3. MODELO DE TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO	90
ANEXO 4. REGISTRO DE DATOS	91
ANEXO 4.1 Estudios realizados a la fuente río Quilichao	91
ANEXO 4.2 Estudios realizados a la fuente río Mondomo	115
ANEXO 4.3 Estudios realizados a la fuente mezcla río Quilichao – río Mondomo en proporción 50 – 50 %	129
ANEXO 4.4 Resultados de las pruebas de filtración directa realizadas a las fuentes río Quilichao y mezcla río Mondomo – río Quilichao	158
ANEXO 5. REGISTRO DE CÁLCULOS	161
ANEXO 5.1 Cálculo de Gradientes de Velocidad para Mezcla Lenta	161
ANEXO 5.2 Cálculos de eficiencias de remoción de turbiedad mediante el empleo de curvas de sedimentabilidad. Estudio de tratabilidad	163
ANEXO 5.3 Cálculo de eficiencias de remoción de turbiedad mediante el empleo de curvas de sedimentabilidad. Planta “El Arroyo”	167
ANEXO 5.4 Cálculo de eficiencias de remoción mínimas de turbiedad mediante el empleo de curvas de sedimentabilidad con velocidad crítica definida. Estudio de tratabilidad	174
ANEXO 5.5 Cálculo de carga superficial del sedimentador de la planta “El Arroyo”	175

ANEXO 5.6 Relación gradiente de velocidad en $s^{-1}$ Vs Velocidad de Agitación.	177
ANEXO 5.7 Preparación de soluciones madre de coagulante	177
ANEXO 5.8. Cálculo de las pérdidas de carga en los floculadores.	178
ANEXO 6. REGISTRO FOTOGRÁFICO	180

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Diferentes modelos del proceso de clarificación por sedimentación	14
Tabla 2. Secuencia del ensayo de floculación	25
Tabla 3. Características del agua cruda del río Quilichao evaluada durante los meses de Abril a Junio del año 2006	28
Tabla 4. Características del agua cruda del río Mondomo evaluada durante el mes de Julio del año 2006	30
Tabla 5. Características del agua cruda mezclada de las dos fuentes evaluada durante los meses de Julio a Agosto del año 2006	31
Tabla 6. Velocidades de sedimentación crítica con diferentes turbiedades del agua cruda para eficiencias de remoción cercanas al 95% para la fuente del río Quilichao	40
Tabla 7. Eficiencias de remoción para diferentes turbiedades de agua cruda con una velocidad de sedimentación crítica determinada para la planta. Fuente río Quilichao	41
Tabla 8. Velocidades de sedimentación crítica con diferentes turbiedades del agua cruda para eficiencias de remoción del 95% para la fuente del río Mondomo	50
Tabla 9. Eficiencias de remoción para diferentes turbiedades de agua cruda con la velocidad de sedimentación crítica teórica de la planta "El Arroyo". Fuente río Mondomo	50
Tabla 10. Velocidades de sedimentación crítica con diferentes turbiedades del agua cruda para eficiencias de remoción del 95% para la mezcla río Mondomo – río Quilichao	61
Tabla 11. Eficiencias de remoción para diferentes turbiedades de agua cruda de mezcla con la velocidad de sedimentación crítica teórica de la planta "El Arroyo"	61

Tabla 12. Parámetros de funcionamiento teórico del floculador de la planta de tratamiento “El Arroyo”	70
Tabla 13. Parámetros de funcionamiento teórico para cada una de las cámaras del floculador de la planta de tratamiento “El Arroyo”	71
Tabla 14. Proyecciones para el funcionamiento teórico del floculador y sedimentador de la planta de tratamiento “El Arroyo”	73

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Determinación de la dosis óptima de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ para bajos y altos niveles de Turbiedad y Color para la fuente del río Quilichao	32
Figura 2. Determinación de la solución madre óptima de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ para bajos y altos niveles de Turbiedad para el río Quilichao	33
Figura 3. Determinación de la solución madre óptima de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ para bajos y altos niveles de Color para el río Quilichao	34
Figura 4. Determinación del pH óptimo de coagulación para los parámetros de Turbiedad y Color para el río Quilichao	36
Figura 5. Determinación del tiempo óptimo de mezcla rápida para la fuente del río Quilichao	37
Figura 6. Determinación del gradiente y tiempo óptimo de Floculación para los parámetros de Turbiedad y Color Fuente río Quilichao	38
Figura 7. Curvas de sedimentación para distintos niveles de turbiedad del agua cruda para la fuente del río Quilichao	39
Figura 8. Prueba de filtración directa para la fuente del río Quilichao	42
Figura 9. Determinación de la dosis optima de $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ . Fuente río Mondomo	43
Figura 10. Determinación de la solución madre óptima de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ para Turbiedad y Color para la fuente del río Mondomo	44
Figura 11. Determinación del pH óptimo de coagulación para los parámetros de Turbiedad y Color. Fuente río Mondomo	45

Figura 12. Determinación del tiempo de mezcla rápida para el río Mondomo	46
Figura 13. Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para los parámetros de Turbiedad y Color. Fuente río Mondomo	47
Figura 14. Curvas de sedimentación para la fuente del río Mondomo	49
Figura 15. Determinación de la dosis óptima de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ para bajos y medios niveles de Turbiedad y Color. Mezcla río Mondomo – río Quilichao	52
Figura 16. Determinación de la solución madre óptima de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ para bajos y medios niveles de Turbiedad para la mezcla río Quilichao – río Mondomo	53
Figura 17. Determinación de la solución madre óptima de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ para bajos y medios niveles de Color. Mezcla río Quilichao – río Mondomo	54
Figura 18. Determinación del pH óptimo de coagulación para niveles bajos y medios de Turbiedad. Mezcla río Quilichao – río Mondomo	55
Figura 19. Determinación del pH óptimo de coagulación para niveles bajos y medios de Color. Mezcla río Quilichao – río Mondomo	56
Figura 20. Determinación del tiempo óptimo de mezcla rápida para niveles bajos y medios de turbiedad y Color. Mezcla río Quilichao – río Mondomo	57
Figura 21. Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para niveles bajos y medios de Turbiedad. Mezcla río Quilichao – río Mondomo	58
Figura 22. Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para niveles bajos y medios de Color. Mezcla río Quilichao – río Mondomo	59

Figura 23. Curvas de sedimentación para mezcla 50 – 50 % ríos Quilichao y Mondomo	60
Figura 24. Determinación del pH óptimo de coagulación para los parámetros de Turbiedad y Color. Mezcla río Mondomo – río Quilichao	62
Figura 25. Diagrama de coagulación para distintas dosis de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ a distintos pH's según Amirtharajah y Mills	66
Fotografía 1. Vista general Planta “El Arroyo”	180
Fotografía 2. Detalle entrada a canaleta Parshall (Punto de muestreo)	180
Fotografía 3. Detalle Canaleta Parshall	181
Fotografía 4. Detalle Mezcla Rápida	181
Fotografía 5. Detalle Flocculador	182
Fotografía 6. Detalle Sedimentador	182
Fotografía 7. Detalle Canal de Agua sedimentada	183
Fotografía 8. Detalle Filtro	183
Fotografía 9. Detalle Fondo del Filtro	184
Fotografía 10. Detalle Tanque de preparación de solución de coagulante	184
Fotografía 11. Detalle dosificador de solución de Cal	185
Fotografía 12. Detalle Prueba de jarras	185
Fotografía 13. Equipo de Jarras	186
Fotografía 14. Detalle Turbidímetro	186
Fotografía 15. Detalle Espectrofotómetro	187
Fotografía 16. Detalle Río Quilichao (Bocatoma)	187

## RESUMEN

El presente estudio se realizó con el fin de evaluar los parámetros de tratabilidad del agua cruda de la planta de tratamiento “El Arroyo” ubicada en la cabecera municipal de Santander de Quilichao, Departamento del Cauca.

En el proyecto se estableció una metodología para lograr la optimización de los procesos empleados en la planta de potabilización de acuerdo a la caracterización de agua como fuente de abastecimiento y a la medición de parámetros de control de los procesos físico – químicos.

Se estudiaron las calidades de agua de cruda de las fuentes: río Quilichao, río Mondomo y mezcla de las dos fuentes en proporción 50 – 50 %. Aquí se evaluaron diversos procesos, tales como coagulación, floculación, sedimentación y filtración directa.

Para cada una de las fuentes se empleó la misma metodología, la cual permitió la determinación de los parámetros óptimos de tratabilidad. Una vez determinados estos parámetros, se realizó una comparación con los parámetros de funcionamiento generales de la planta de tratamiento, con el fin de optimizar el funcionamiento de la misma.

De acuerdo a los resultados de los estudios de tratabilidad para cada una de las fuentes evaluadas, y a una comparación con los parámetros teóricos de funcionamiento de la planta de tratamiento “El Arroyo”, esta puede operar con las tres calidades de agua cruda previstas, debido a que los parámetros de tratabilidad para cada una de las fuentes son similares, y los ajustes para su óptimo funcionamiento en planta son mínimos.

## INTRODUCCIÓN

El agua, tal como se encuentra en la naturaleza, habitualmente no se puede utilizar en forma directa para consumo humano o para la industria. A su paso por el suelo, el subsuelo o el aire, el agua recoge materia en suspensión o solución como arcillas; organismos vivos como plantas, bacterias, virus y huevos de parásitos, sales disueltas, materia orgánica y gases; lo que obliga a efectuar un tratamiento para poder ser empleada

En una planta de tratamiento de agua para consumo humano los procesos físico-químicos son esenciales para el óptimo funcionamiento de la misma y son limitantes en cualquier posible solución que pueda adoptarse en cualquier proyecto de potabilización. Estos procesos hacen referencia a la transformación de determinada calidad de agua cruda en una calidad de agua tratada que sea apta para el consumo humano (Romero J, 1995), de aquí que la óptima operación de estos garantice el suministro de agua en la cantidad necesaria y con las condiciones que satisfagan las normas de potabilidad establecidas en el decreto 475 de 1998 y el Título C del RAS 2000, minimizando al máximo posible los costos de tratamiento.

Por tanto las plantas de potabilización de agua - y en general, todo centro de producción de agua potable - deben cumplir con el objetivo primordial de suministrar agua segura para la salud de los seres humanos. Además, surge la necesidad de realizar estudios a nivel de laboratorio o de planta piloto a la fuente abastecedora; estos de acuerdo con el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, se denominan ensayos de tratabilidad; y son efectuados para establecer el potencial de aplicación de un proceso de tratamiento. (Título C, RAS 2000)

La investigación consistió en determinar los parámetros óptimos de tratabilidad para tres calidades de agua cruda, para las cuales se diseñó una metodología de evaluación para cada uno de los procesos. Además se realizó la evaluación general del funcionamiento teórico de la planta; cuyos resultados fueron comparados con los estudios de tratabilidad de cada una de las fuentes con el fin de estimar las posibilidades de tratamiento que posee la planta para cada una de las calidades de agua evaluadas, y realizar las recomendaciones necesarias para la optimización de los procesos involucrados en el sistema.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.**

El municipio de Santander de Quilichao se encuentra localizado al norte del departamento del Cauca, a una distancia aproximada de 70 Km. de la ciudad de Popayán. Se ubica a una altura de 1075 m.s.n.m y presenta una temperatura media de 23 °C. Tiene una superficie de 524 km<sup>2</sup> y cuenta con una población de 72.590 habitantes aproximadamente. Posee una hidrografía variada, demarcada por sus ríos y quebradas que lo delimitan. Dentro de sus principales ríos están: Cauca, Mazamorrero, Páez, Quilichao, Mondomo, etc. siendo el Río Quilichao la fuente principal abastecedora del sistema de acueducto municipal. (IGAC, 1993)

Debido a la alta intervención antrópica, y a los procesos denudativos y erosivos en la microcuenca, el caudal para el periodo climático seco se reduce, volviéndose insuficiente a la demanda, razón por la cual se generan cortes en el servicio de agua potable, ocasionando trastornos en la población, ya que se ve afectado su consumo diario, su recreación y demás actividades cotidianas. El servicio de acueducto es proporcionado por la Empresa Municipal de Santander de Quilichao **EMQUILICHAO E.S.P.**

Conforme al problema como tal, existe una problemática debido a la deficiencia del agua en periodo climático seco, ya que el sistema es suficiente para abastecer a Santander de Quilichao durante siete meses del año aproximadamente, y el resto del año el caudal del río baja considerablemente hasta 75 litros por segundo, presentándose una deficiencia considerable en el sistema. De acuerdo con el proyecto “Optimización del sistema de acueducto de la cabecera municipal de Santander de Quilichao”, el cual pretende incrementar en 150 LPS el caudal de agua en la planta de tratamiento se completaría la demanda máxima diaria de agua no provista por el Sistema Quilichao en épocas de sequía evaluada en 125 litros por segundo. (EMQUILICHAO E.S.P, 2005)

La solución propuesta al problema deficitario consiste en captar agua del río Mondomo – el cual tiene suficiente caudal en todas las épocas del año (calculado entre 900 y 23.000 litros por segundo) – para luego conducirla a la Planta de Tratamiento “El Arroyo”, y potabilizarla. Así se conformarían dos fuentes de abastecimiento (Quilichao y Mondomo); y con esto se aumentaría la oferta del líquido y se solucionaría el problema como tal. (EMQUILICHAO E.S.P, 2005)

De acuerdo con el problema planteado desde el punto de vista del tratamiento, a las deficiencias de este, y considerando que cada fuente tiene sus propios parámetros de tratabilidad, surge la necesidad de realizar una determinación de los parámetros óptimos de tratabilidad para las dos fuentes, teniendo en cuenta que la planta está diseñada para tratar el agua del río Quilichao lo que podría ser una limitante al momento de adoptar la solución propuesta: la primera - que es la que se tiene inicialmente - “Rio Quilichao”; la segunda que es la que va a implementar “Rio Mondomo”, y la tercera usando una mezcla de las dos.

Una vez determinados los parámetros óptimos de tratabilidad para cada una de las fuentes, se realizará la comparación con los resultados teóricos del funcionamiento obtenidos de la planta de tratamiento “El Arroyo” y así poder determinar si la planta está en capacidad de tratar el agua de las dos fuentes.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Teoría de la coagulación del agua**

La coagulación es un proceso complejo en donde se involucran muchas reacciones y formas de transferencias de masa. Este proceso implica tres etapas: adición del coagulante, desestabilización de partículas y coagulación del material orgánico natural. Esta interacción ocurre típicamente durante e inmediatamente después de la dispersión química en la mezcla rápida. (Letterman, et al., 1999)

La coagulación química es una tecnología utilizada tanto para sistemas de tratamiento de agua potable, como para el tratamiento de aguas residuales; se basa en la adición de sustancias que a través de un mecanismo físico-químico permite la aglomeración de partículas de diámetro menor a 0.001 mm. El agregado de esas partículas produce partículas de mayor tamaño - cuyo diámetro varía entre 0.001 y 5 mm aproximadamente - denominados flóculos, que son fácilmente eliminados por medio de la sedimentación. (Maldonado, 2005)

#### **1.1.1 Mecanismos de desestabilización de partículas**

Existen cuatro mecanismos de desestabilización de partículas coloidales (AWWA, 1991 citado por P. Torres, 2005): a) compresión de la doble capa; b) adsorción – neutralización; c) barrido y d) adsorción y formación de puente.

En el proceso de coagulación de aguas de abastecimiento mediante el uso de sales de aluminio predominan dos mecanismos: Adsorción de especies solubles hidrolizadas que causan desestabilización; y barrido generando arrastre de partículas con precipitados de aluminio. (Di Bernardo, et al., 1987). Este último mecanismo fue el empleado en el desarrollo del estudio, debido a las características del agua cruda. Según Amirtharajah y Mills (1982), cuando el

mecanismo que predomina es el barrido, los resultados son indiferentes a las características de la mezcla rápida. Sin embargo, no implica que este caso no se necesite la mezcla rápida, sino que no es tan importante.

Si la adición de coagulante es superior a su solubilidad en el medio acuoso, ocurrirá la formación del hidróxido metálico correspondiente y su precipitación en la superficie de los coloides será el principal responsable de la desestabilización, dando lugar al mecanismo de barrido. (Ferreira, et al., 1996),

### **1.1.2 Diagramas de Coagulación – Floculación.**

Los diagramas de coagulación – floculación son herramientas útiles para indicar las condiciones de pH y dosis de coagulante en las que ocurre una efectiva coagulación, así como para predecir las condiciones de coagulación, remoción de turbiedad y/o color, etc. (Amirtharajah citado por Rodríguez, M. 1997).

La construcción de los diagramas se realiza a partir de ensayos de laboratorio tipo Jar – Test, delimitando las regiones en que predominan los diferentes mecanismos de coagulación; se construyen a partir de la fijación de parámetros físicos relacionados con la mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación: tiempo de agitación, gradiente medio de velocidad de mezcla rápida (coagulación) y lenta (floculación) y velocidad de sedimentación. (Di Bernardo, 1993)

Existen dos zonas en donde la remoción es óptima, una para pH's entre 4.5 y 5.5 con valores bajos de concentración (zona de neutralización de cargas), y otra para pH's entre 7.0 y 8.5 con valores altos de concentración (zona de barrido). (Arboleda, 2000)

### 1.1.3 Gradiente de Velocidad

El gradiente de velocidad es el diferencial (dV) entre las velocidades  $V_1$  y  $V_2$  separados a una distancia  $dy$  de dos partículas  $P_1$  y  $P_2$ , respectivamente.

De acuerdo con Camp y Stein (1943), el gradiente de velocidad se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$G = \sqrt{\frac{P}{\mu}}$  , donde  $P$  es la potencia disipada en la unidad de volumen y  $\mu$  la viscosidad absoluta del agua. (CEPIS, 1973)

### 1.1.4 Mezcla Rápida.

La mezcla rápida hace referencia a una mezcla de alta intensidad utilizada antes del proceso de floculación para la dispersión de coagulantes e iniciar el proceso de aglutinación de partículas. En el caso de sales metálicas hidrolizadas, el principal propósito de la mezcla rápida es dispersar rápidamente las sales, así como, realizar el simple contacto entre los productos de la hidrólisis y las partículas. (Letterman, et al., 1999)

La mezcla rápida antes de la precipitación garantiza que el coagulante se distribuya uniformemente a través de las 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)

### 1.1.5 Proceso de floculación

La Floculación corresponde al estado de formación después de la desestabilización de partículas y es el fenómeno por el cual las partículas ya

desestabilizadas chocan unas con otras para formar flóculos de mayor tamaño y con buenas condiciones de sedimentación. (WEF/ASCE, 1998. Citado por P. Torres, 2005)

El propósito del proceso de floculación es promover la interacción de partículas y formar agregados que pueden ser eficientemente removidos en un proceso subsiguiente de separación tal como la sedimentación, flotación, ó filtración. (Amirtharajah y O'melia, et al., 1999)

Los parámetros que gobiernan el proceso de floculación son el gradiente de velocidad (G) y el tiempo de retención (T). 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  $70 \text{ s}^{-1}$  y  $20 \text{ s}^{-1}$ . Las unidades más sencillas, económicas y de eficiencia aceptable, son las de pantallas de flujo horizontal o vertical. (CEPIS, 1992)

#### **1.1.6 Mezcla lenta.**

De acuerdo con la definición expuesta en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS, la mezcla lenta se refiere a la agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la formación de los flóculos. La agitación no debe ser ni muy lenta que favorezca la sedimentación, ni muy rápida que provoque el rompimiento de los flóculos ya formados. (Título C, RAS 2000)

#### **1.2 Control del proceso de coagulación – floculación.**

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)

### **1.2.1 Optimización de mezcla rápida y mezcla lenta.**

La coagulación y la floculación son etapas de gran importancia, pues tienen relación directa con el desempeño de la sedimentación y la filtración. La eficiencia de la coagulación y de la floculación esta influenciada por factores como pH, turbiedad, alcalinidad, dosis y concentración de coagulante, intensidad de agitación, punto de aplicación del coagulante, tamaño y distribución de las partículas, sólidos totales disueltos, color, etc. (Di Bernardo et al, 2002, Tomado de Campos, S et al., 2005).

#### **1.2.1.1 Concentración de la solución madre óptima de coagulante.**

Estudios de investigación han demostrado que la concentración de la solución madre, influye en la eficiencia de la mezcla rápida y cambia los resultados de la coagulación.

Los coagulantes metálicos deben aplicarse en soluciones concentradas en lo posible superiores al 10%. Sin embargo, estudios realizados por Griffith y Williams (1972) indican que rebajar la solución de sulfato de aluminio hasta en un 1.5% no disminuye su eficiencia y hasta pueden mejorar los resultados del proceso al promover una mas rápida dispersión del coagulante. Por tanto, es necesario realizar estudios específicos para cada caso, para encontrar la concentración óptima de solución de coagulante. Es importante señalar, que no es recomendable

trabajar con concentración de soluciones demasiado bajas, debido a que por su baja concentración se pueden hidrolizar rápidamente, generando una reducción en la eficiencia del proceso. (Arboleda, 2000)

#### **1.2.1.2 pH**

El pH es uno de los factores más influyentes en el proceso ya que lo involucra directamente, pues afecta la solubilidad de los compuestos formados, así como la carga sobre las partículas coloidales y el tiempo requerido para la formación del floc, ya que existe una zona de pH donde se produce una buena floculación en corto plazo y con una dosis dada de coagulante. (Hernández, A. 1992. Citado por P. Torres, 2005)

#### **1.2.1.3 Temperatura**

La temperatura del agua puede tener un efecto significativo en los procesos de coagulación y floculación. De acuerdo con Kang y Cleasby (1995), la tasa de formación de floc y la eficiencia de remoción de partículas primarias decrecen si la temperatura disminuye. La temperatura afecta la solubilidad de los precipitados de hidróxidos metálicos, así como la tasa de formación de los productos de estos. (Tomado de Water Quality and Treatment, AWWA 1999)

#### **1.2.1.4 Gradiente y Tiempo de mezcla rápida.**

Como se mencionó en el literal 1.1.1, cuando el mecanismo que predomina en la coagulación es el barrido, la velocidad de agitación y el tiempo de mezcla rápida que se implementen en el sistema no son un parámetro importante a tener en cuenta en el control del proceso de coagulación – floculación. Si bien, el RAS recomienda que todo sistema de coagulación debe contar con una mezcla rápida capaz de dispersar los coagulantes en el tiempo requerido por el proceso, este cuando se trata de coagulación por barrido, no es de gran relevancia.

### 1.2.1.5 Gradiente y Tiempo de mezcla lenta.

De acuerdo con el proceso de floculación, el gradiente de velocidad, el tiempo de detención y el número de cámaras son los parámetros que rigen este proceso, tal como lo muestra la teoría de Smowluchowski, presentada por Arboleda 2002, según la cual el fenómeno se podría modelar mediante la ecuación:

$$\frac{N_o}{N_m} = \frac{(1 + K_A GT / m)^m}{1 + K_B G^2 T / m \sum_{i=0}^{m-1} (1 + K_A GT / m)^i}$$

En donde:

$N_o$  = Concentración de partículas que entran a la cámara de floculación ( $m^{-3}$ )

$N_m$  = Concentración de partículas que salen de la cámara de floculación ( $m^{-3}$ )

$K_A$  = Coeficiente de agregación

$K_B$  = Coeficiente de ruptura

$G$  = Gradiente de velocidad de Camp ( $s^{-1}$ )

$T$  = Tiempo de residencia media de floculación (s)

$m$  = Número de cámaras

Si bien el modelo incluye el número de cámaras, los estudios de tratabilidad han sido desarrollados considerando solo dos variables: gradiente y tiempo de floculación, mientras que para el número de compartimientos se recomienda que sea mayor a tres. (Arboleda, 2002)

### **1.3 Teoría de la sedimentación del agua**

De acuerdo al RAS (2000), la sedimentación es el proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes.

La sedimentación por lo general se considera como proceso complementario, esta realiza la separación de los sólidos más densos que el agua y que tienen una velocidad de caída ó de sedimentación tal que pueden llegar al fondo del sedimentador en un tiempo determinado. 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. (Di Bernardo, 1999)

La manera en que las partículas con pequeña tendencia a coagular – como es el caso de las partículas no floculadas – se asientan en una suspensión diluida es identificada como clarificación por sedimentación clase uno. Si las partículas coagulan, el régimen de sedimentación en una suspensión diluida es llamado clarificación clase dos.

En suspensiones coagulantes de concentraciones intermedias, las partículas están suficientemente juntas para permitir que la fuerza entre partículas las mantenga en una posición fija relativa una de la otra. Como resultado, la masa de partículas se asienta como conjunto, en un régimen descrito como zona de asentamiento. (Arboleda 2000)

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:

**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 lentamente con el tiempo.	Compactación de depósitos de lodos.

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

### 1.3.1 Sedimentación convencional y de alta tasa

Según la teoría de Hazen (1904) y Camp (1946), en un sedimentador horizontal existe una partícula crítica. La velocidad con la cual cae verticalmente dicha partícula es la velocidad crítica  $V_{sc}$ , que suele expresarse como carga superficial. Según este concepto, toda partícula con velocidad mayor que la crítica resulta removida en el proceso, y la que tiene velocidad menor que ella podría escapar con el flujo, dependiendo de su ubicación en la estructura de entrada.

De acuerdo con Arboleda (2000), existen tres diferencias básicas entre la sedimentación convencional y la de flujo laminar o de alta tasa:

- a) El fondo del sedimentador no es horizontal sino inclinado.
- b) La profundidad del decantador es muy baja (unos pocos centímetros).
- c) El régimen de flujo de sedimentador es laminar ( $N_R < 500$ )

La sedimentación acelerada – ó de alta tasa - es un sistema con características muy propias que no solo resulta más económico de construir sino que da mejores

resultados en la práctica; por ello el rendimiento de estos está definitivamente por encima de todos los otros, pues produce siempre mejores turbiedades efluentes para las mismas turbiedades de agua cruda. (Arboleda, 2000)

De acuerdo con Yao (1972), la aplicación de la teoría de sedimentación laminar o de alta tasa permite obtener decantadores económicos, altamente eficientes y fáciles de operar y mantener.

La eficiencia de remoción de los sedimentadores de alta tasa fluctúa entre 95% y 99% obteniéndose ventajas mayores a medida que la turbiedad y el tiempo de operación se incrementan. Normalmente, en condiciones similares de cargas superficiales, son más eficientes que el equipo de prueba de jarras. Con cargas del orden de  $500 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  la eficiencia decrece de 50% a 60%. Yao demostró que los sedimentadores de alta tasa son más eficientes que los convencionales, con tasas de hasta  $100 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , el rendimiento es prácticamente constante. (Tomado de CEPIS, 1992)

### **1.3.2 Control al proceso de sedimentación.**

De acuerdo con el RAS (2000) el proceso de sedimentación debe realizarse siempre que se tiene que producir coagulación de barrido o por adsorción, para poder remover la turbiedad.

La sedimentación es presentada como una operación susceptible de una rigurosa modelización analógica con respecto a otras operaciones de transporte, lo que representa los fundamentos para un adecuado control de operación. La sedimentación sigue siendo un procedimiento muy eficaz de separación, que requiere tecnología adsequible y exige escaso mantenimiento, así sea dependiente de suficiente disponibilidad de espacio en planta cuando se trata de

procesar los elevados caudales que suelen circular en las regiones del proceso donde esta operación encuentra su más frecuente utilidad. (CEPIS. 1973)

Debido a la baja velocidad de transporte de la masa líquida, el flujo de los sedimentadores es inestable; en los de flujo horizontal, en mayor proporción que en los de flujo vertical o en los de pantalla. De aquí que el análisis del comportamiento de un sedimentador tiene que hacerse a través del tiempo, pues los resultados obtenidos en una prueba no son necesariamente iguales a los que se obtengan en otra prueba realizada en otro día. (Arboleda, 2000)

La eficiencia del pretratamiento es un factor que influye definitivamente en el comportamiento del sedimentador de alta tasa. Se consiguen rangos superiores a 90% con un pretratamiento adecuado, decreciendo a 40% en caso contrario, aun con tasas muy convencionales ( $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ ). (CEPIS, 1992)

#### **1.4 Filtración rápida y filtración directa**

El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. En consecuencia el trabajo que los filtros desempeñan, depende directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos preparatorios.

La filtración puede efectuarse en muchas formas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel filtro) o en medios granulares (arena, antracita, granate o combinados), con flujo ascendente o descendente. Por último, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante. (Arboleda, 2000)

La filtración directa es un proceso de tratamiento de aguas superficiales que incluye la adición de coagulante, mezcla rápida, floculación, y filtración. En

algunos casos, el floculador es omitido y el proceso es referido a una filtración en línea, ya que el proceso de floculación es generado en el mismo filtro. (Logsdon, G, et al., 1999)

Esta alternativa de tratamiento es adecuada para aguas permanentemente claras, permitiendo un ahorro apreciable en los costos iniciales, de operación y mantenimiento al omitir las unidades de decantación, reducir o eliminar la unidad de floculación y disminuir la dosis de coagulantes para obtener un microflóculo más pequeño y duro que proporcione carreras de filtración más largas. Sin embargo, esta solución económica requiere un cuidadoso diseño y operación, especialmente la filtración directa de flujo descendente por el escaso tiempo de retención que proporciona y el estrecho rango de calidad de agua cruda con la que puede operar. (CEPIS, 1992)

Vale la pena mencionar que para implementar este proceso, es necesario que el agua cruda cumpla con una serie de características. De acuerdo con el RAS 2000 este proceso debe trabajarse con una coagulación por neutralización de cargas y no por barrido. El mecanismo coagulación por barrido es inadecuado para el empleo de filtración directa (Di Bernardo, 1993). Además el agua cruda debe tener una turbiedad y un color inferior a 5 UNT y 30 UPtCo respectivamente el 90% del tiempo. El 10% restante, la fuente no puede tener una turbiedad superior a 15 UNT y 50 UPtCo de color. En caso de que por tiempos cortos (no mayores de 5 horas) se excedan estos límites, debe proveerse una solución para que haya continuidad del servicio. (Título C.7, RAS 2000).

Esta desventaja, según Cleasby (1990) hace que se dificulte tratar aguas con niveles elevados de turbiedad y color, y tiempos de retención cortos; lo que dificulta al operador tomar medidas correctivas cuando se observan alteraciones significativas en la calidad del agua cruda. Si se tienen tiempos de retención cortos en las unidades de floculación, se recomienda de un alto gradiente de velocidad (de hasta  $100s^{-1}$ ) para tiempos de floculación de 10 minutos. (Cleasby, 1990).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los parámetros óptimos de tratabilidad para las fuentes de abastecimiento de la Planta “El Arroyo”, en el municipio de Santander de Quilichao (Cauca).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efectuar estudios de tratabilidad para las dos fuentes (río Mondomo y río Quilichao) realizando los procedimientos de muestreo y análisis de laboratorio requeridos para el sistema de tratamiento.
- Realizar una comparación entre los resultados de los estudios de tratabilidad obtenidos para las dos fuentes y los parámetros de funcionamiento teórico de la planta, para encontrar los parámetros óptimos de funcionamiento del sistema de tratamiento.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Marco contextual, planta de tratamiento “El Arroyo”

La planta de tratamiento “El Arroyo” se encuentra ubicada en el sector suroriental del perímetro urbano del municipio de Santander de Quilichao en el departamento del Cauca. Cuenta con un recurso humano conformado por cinco operadores, un analista químico, un auxiliar, y un Ingeniero de planta.

La planta es de tipo convencional, de funcionamiento hidráulico escasamente mecanizada; y consta de los siguientes procesos: coagulación y medida del flujo en canaleta Parshall, floculación hidráulica con dos floculadores tipo Alabama funcionando en paralelo, dos sedimentadores de alta tasa con placas angostas, canal de distribución y tolvas; cuatro unidades de filtración rápida descendente con lecho en arena y antracita de velocidad variable declinante; y desinfección con cloro en tanque de contacto. Un esquema general de la planta de tratamiento se presenta en el Anexo 1.

Utilizan como solución coagulante sulfato de aluminio líquido ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ) que es almacenado en un tanque de concreto de  $12 \text{ m}^3$ ; y como alcalinizante cal viva ( $\text{CaO}$ ) que es aplicada en solución concentrada por medio de un saturador. El sistema de dosificación de coagulante se realiza por bombeo (bomba centrífuga).

En la actualidad la planta de tratamiento “El Arroyo” se abastece del Río Quilichao por intermedio de dos sistemas: el Sistema El Arroyo con una capacidad máxima de 176 litros por segundo y el sistema de Quitapereza con un máximo de 47 litros por segundo. La Planta de Tratamiento de tiene una capacidad nominal de 180 litros por segundo y trata las aguas de los dos sistemas, El Arroyo y Quitapereza. (EMQUILICHAO E.S.P, 2005)

### **3.2 Desarrollo metodológico específico.**

El estudio fue realizado en el laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable “El Arroyo” del municipio de Santander de Quilichao. Para la medición de parámetros físico químicos, se utilizaron métodos estándar comprendidos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

Para efectuar los estudios de tratabilidad se evaluaron las dos fuentes de abastecimiento (río Mondomo y río Quilichao) de manera independiente y combinada utilizando una mezcla de las dos en proporción 50 – 50% de acuerdo a lo solicitado por la empresa. Para la realización de la evaluación de los procesos involucrados en el sistema fue necesario conocer de antemano además de la fuente, la calidad del agua de la misma, las características organolépticas y físico - químicas esenciales (Título C, RAS 2000).

El desarrollo del estudio para cada una de las fuentes fue dividido en fases, la primera comprendió los estudios de la determinación de los parámetros óptimos tratabilidad relacionados con el proceso de coagulación (dosis, solución madre, pH, y tiempo de mezcla rápida); la segunda fase que abarcó lo concerniente al proceso de floculación (gradientes de velocidad y tiempos de floculación); la tercera que comprendió el proceso de sedimentación (velocidades de sedimentación, fracciones remanentes de turbiedad); la cuarta relacionada con el proceso de filtración directa; y por último la fase quinta en la que se compararon los resultados del estudio de tratabilidad con los parámetros de funcionamiento teóricos de la planta.

Las pruebas de jarras se desarrollaron en un equipo Phipps & Bird digital. Para la medición de turbiedad se empleó un turbidímetro HACH 2100 AN y para color un espectrofotómetro HACH DR / 2010. Las fichas técnicas de cada uno de los equipos y reactivos utilizados se presenta en el Anexo 2.

Para la determinación tanto de la alcalinidad total como de la dureza total se utilizó el método titulométrico con solución titulante de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 0.0225 N para la primera y EDTA 0.0183 N para la segunda; soluciones estandarizadas previamente en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca.

Para la realización de las pruebas cuya calidad de agua cruda presentara altos niveles de turbiedad y/o color, se empleó cal viva (CaO) como alcalinizante, en una concentración del 1%, debido a la facilidad en la dosificación y preparación. La dosificación de CaO se realizó en una relación de 0.35 mg/L por cada mg/L de coagulante debido a que los niveles de alcalinidad del agua cruda de cada una de las fuentes fueron los necesarios para un óptimo proceso de coagulación ya que son suficientes para reaccionar con el coagulante. Con esta relación se garantiza que el pH residual no varíe tal como se presenta en cada una de las pruebas realizadas (Anexo 3)

### **3.2.1 Recolección de muestras**

Se recolectaron muestras de agua cruda de la fuente del río Quilichao para ser evaluadas directamente en planta, determinando en tiempo real sus características fisicoquímicas y garantizando una representatividad de las muestras. El punto de muestro se localizó en la cámara de llegada al sistema, en donde se homogeniza y se transporta el agua proveniente de los dos sistemas de captación a la canaleta Parshall. La cámara está ubicada en la sala de dosificación de reactivos (Anexo 6, Fotografía 2).

Para la fuente del río Mondomo, la recolección de las muestras se realizó en la vereda Monterilla, área rural del corregimiento Mondomo, municipio de Santander de Quilichao, aproximadamente a 800 metros aguas debajo de donde se ubicará

el sistema de captación para esta fuente, una vez realizada la verificación previa de la ausencia de condiciones potenciales que pudieran alterar la calidad del agua en este tramo con respecto al sistema de captación. Por tanto el muestreo se realizó en este sitio con el fin de garantizar que la calidad de agua estudiada corresponda a la misma calidad que a futuro llegará a la planta de tratamiento.

Las muestras se almacenaron en recipientes plásticos (volumen entre 20 y 30 litros), limpios, herméticos y rotulados; una vez asegurados se transportaron al laboratorio, cuyos análisis fueron llevados inmediatamente después de su ingreso.

### **3.2.2 Fase 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 para diferentes calidades de agua cruda, pH's óptimos de coagulación, concentraciones óptimas de la solución de coagulante, y tiempos de mezcla rápida.

#### **3.2.2.1 Determinación de dosis óptima.**

Se establecieron rangos de dosis de coagulante y se procedió a realizar la prueba de jarras adicionando el coagulante al mismo tiempo en cada jarra; los parámetros de tratabilidad a tener en cuenta son: gradiente de mezcla rápida  $383 \text{ s}^{-1}$  aproximadamente, tiempo de mezcla rápida 1 minuto, gradiente de velocidad para mezcla lenta  $34 \text{ s}^{-1}$ , tiempo de mezcla lenta 20 minutos, tiempo de sedimentación 15 minutos. Una vez culminadas las pruebas de jarras se evaluaron las condiciones de las muestras de cada una de las celdas con relación al pH residual, turbiedad y color remanente. Luego se seleccionó el rango óptimo de dosis. El criterio de selección de este se basó en el reporte de las mayores eficiencias de remoción de turbiedad y color al final del proceso de sedimentación.

### **3.2.2.2 Solución madre**

La solución madre óptima de coagulante se determinó mediante la evaluación de soluciones con concentraciones de 1, 2, 3, 5, 7 y 10% volumen/volumen (V/V); para su preparación se empleó sulfato de aluminio líquido ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ) al 50% V/V de concentración. Los cálculos de su preparación se presentan en el Anexo 5.7.

Se realizó el mismo procedimiento de la determinación del rango de dosis óptima variando únicamente la concentración de la solución madre en cada prueba de jarras; finalizada las pruebas para cada una de las concentraciones de solución, se seleccionó la concentración que presentara los mejores resultados en cuanto a eficiencias de remoción de color y turbiedad.

### **3.2.2.3 pH de coagulación**

Una vez determinado el rango óptimo de dosis y la concentración de la solución madre, se procedió a la determinación del pH óptimo de coagulación. Se estudió un rango de pH comprendido entre 6.5 y 9.0. Para ello fue necesario ajustar los pH de las muestras de agua cruda a este rango con solución de ácido sulfúrico o hidróxido de sodio de acuerdo a los requerimientos del caso. Una vez ajustado el pH, se realiza la prueba de jarras de manera convencional, con los parámetros citados en el literal 3.2.2.2. Al final de las pruebas, se determinó un rango óptimo de pH de coagulación, del cual fue seleccionado de acuerdo a los resultados de eficiencias de remoción de turbiedad y color.

#### **3.2.2.4 Tiempo de mezcla rápida**

Una vez ajustados los parámetros anteriores, se determina el tiempo de mezcla rápida, prueba que se realiza con los mismos ítems referenciados en el literal 3.2.2.1, con una solución madre y pH determinados (óptimos), usando la misma dosis en cada jarra, dosificando con un intervalo de 10 segundos con el fin de obtener diferentes tiempos de mezcla rápida (60, 50, 40, 30, 20 y 10 segundos respectivamente).

Al final de la prueba se determinó el mejor tiempo de mezcla rápida, que fue basado en las mayores eficiencias de remoción de color y turbiedad.

#### **3.2.3 Fase dos. Proceso de floculación**

Para esta fase se utilizaron los parámetros óptimos del proceso de coagulación (dosis, solución madre, pH y tiempo de mezcla rápida) encontrados en la primera fase.

Los gradientes de mezcla lenta a evaluar fueron 15, 25, 34, y 43  $s^{-1}$  que fueron calculados a partir relación gradiente de velocidad en  $s^{-1}$ . Vs Velocidad de Agitación, los cuales son presentados en el Anexo 5.6. Para estos gradientes se emplearon tiempos de floculación comprendidos en una rango de 5 a 60 minutos, usando intervalos de 5 minutos en cada jarra. Para cada uno de los gradientes de mezcla lenta se realizaron dos pruebas, con el fin de abarcar el rango de tiempos superiores a 30 minutos.

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.

Tiempo (minutos)		Acción por ejecutar
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 y se toma muestra de la jarra N°1
25	55	Se levanta el agitador de la jarra N°5 y se toma muestra de la jarra N°2
30	60	Se levanta el agitador de la celda N°6 y se toma muestra de la jarra N°3
35	65	Se toma muestra de la jarra N°4
40	70	Se toma muestra de la jarra N°5
45	75	Se toma muestra de la jarra N°6

Al finalizar las pruebas y evaluar cada una de las características de las muestras, se determina el gradiente y el tiempo óptimo de floculación con base en las eficiencias de remoción de turbiedad y color.

### **3.2.4 Fase tres. Proceso de sedimentación.**

Los parámetros óptimos de coagulación y floculación establecidos con anterioridad, son utilizados en esta fase para la determinación de los parámetros de sedimentación.

Se utiliza un rango de tiempos de sedimentación comprendido entre 5 y 60 minutos, usando un intervalo de 5 minutos en cada jarra. Por tanto, son necesarias dos pruebas de jarras para determinar cada curva de sedimentabilidad. Esta curva es graficada con los resultados obtenidos de la caracterización de las muestras de sobrenadante, tomando como referencia únicamente el parámetro de turbiedad (fracción remanente) y la velocidad de sedimentación.

### **3.2.5 Fase cuatro. Proceso de filtración directa.**

Para la realización de esta fase, fue necesario verificar que las condiciones del agua cruda para cada una de las fuentes fueran las óptimas para la implementación de este proceso. (Título C.7, RAS 2000).

Para la determinación de la dosis óptima de coagulante y pH's óptimos de coagulación se efectuaron pruebas de jarras modificadas, en las cuales se implementaron los procesos de coagulación y floculación de manera convencional exceptuándose el proceso de sedimentación, pasando directamente al proceso de filtración. Este último se efectuó mediante el uso de papel filtro Whatman 40, el cual es el indicado para la realización de pruebas de filtración directa descendente. (Di Bernardo, 1989. Tomado de Seminario Nacional sobre coagulación y filtración directa. 1989).

Se utilizaron los parámetros óptimos de tratabilidad determinados para cada una de las fuentes. Únicamente se sustituyeron los tiempos de floculación determinados en el estudio de cada fuente, por el teórico determinado para el floculador. Además para efectos de la baja dosificación – volúmenes muy pequeños - se empleó una solución madre de coagulante de 1%. En el Anexo 4.4 se presentan los resultados de las pruebas de filtración directa realizadas a las fuentes río Quilichao y mezcla río Mondomo – río Quilichao

Cabe señalar que sólo se realizaron pruebas de jarras para la fuente río Quilichao, y la mezcla río Mondomo – río Quilichao, debido a limitaciones de recursos (papel filtro Whatman 40), en las cuales se determinaron únicamente parámetros de coagulación: para la fuente río Quilichao (dosis óptima); y para la mezcla de las fuentes (pH's óptimos de coagulación).

Para la determinación de la dosis óptima y el pH óptimo de coagulación se realizaron los mismos procedimientos expuestos en los literales 3.2.2.1 y 3.2.2.3

respectivamente, variando únicamente el rango de dosis (1 a 5 mg/ L de coagulante) y los pH's de coagulación (4.5, 5.0 y 6.0).

### **3.2.6 Fase quinta. Comparación con datos de funcionamiento de la planta “El Arroyo”.**

Una vez determinados los parámetros óptimos de tratabilidad para cada una de las fuentes, fue necesario estimar los parámetros teóricos de funcionamiento de la planta, en especial los del floculador (gradiente y tiempo de floculación), y el sedimentador (velocidad de sedimentación crítica y carga superficial); con el fin de efectuar la comparación respectiva y realizar una evaluación general del funcionamiento actual de la planta de tratamiento “El Arroyo”.

Para la estimación de los parámetros teóricos de funcionamiento de la planta se midieron las dimensiones tanto del floculador como del sedimentador. Las dimensiones y la realización de los cálculos se presentan en los Anexos 5.

## 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Calidad del agua cruda de las fuentes estudiadas.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el río Quilichao, río Mondomo y la mezcla de las dos fuentes Quilichao – Mondomo en proporción 50 – 50% para los periodos climáticos seco y lluvioso.

Los valores máximos presentados en cada parámetro corresponden a los picos registrados en el periodo de estudio.

#### 4.1.1 Calidad del agua cruda. Río Quilichao

El seguimiento de la calidad del agua cruda evaluada en esta fuente mostró como se esperaba, gran variabilidad durante el período de estudio. Los valores máximos, mínimos, medios, su variación como desviación típica, presentados en el lapso comprendido entre el mes de Abril y Junio del año de 2006, pueden observarse en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Características del agua cruda del río Quilichao evaluada durante los meses de Abril a Junio del año 2006

PARÀMETRO	VALOR MÀXIMO	VALOR MÍNIMO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	NÚMERO DE DATOS
Turbiedad (NTU)	143	2,0	39,08	47,32	34
Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	45	20.3	34,48	5,40	34
Color (UPtCo)	1001	8	216	284,5	34
pH	9.0	6.5	7,54	0,493	34
Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	34,8	17,4	27,29	4,26	34
Temperatura (°C)	25	22	24	0.696	34

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 3 se puede evidenciar una variación significativa en los parámetros de turbiedad y color, que puede representarse mediante la desviación estándar, lo que refleja un comportamiento no uniforme de la calidad del agua cruda a lo largo del estudio, ocasionando que el promedio de los datos no sea representativo del estado de la misma. Esto puede ser debido a la intensidad de las lluvias en la microcuenca, lo cual contribuye a que los procesos denudativos de la zona aumenten generando arrastre de sólidos hacia la fuente hídrica. Además el estado de la fuente, como se aprecia en el registro fotográfico (Anexos 5), presenta intervención antrópica considerable, la cual influye notablemente en la calidad de la misma. De acuerdo con el RAS (2000) esta fuente de abastecimiento según los parámetros de turbiedad y color puede considerarse como fuente deficiente, y requerirá de procesos de tratamiento como: coagulación (este incluye mezcla rápida y lenta), sedimentación, filtración y desinfección.

Los parámetros de alcalinidad, dureza, pH y temperatura presentaron un comportamiento uniforme a lo largo del estudio, lo que indica que el promedio representa estabilidad de estos parámetros para esta fuente en los dos periodos estudiados.

#### **4.1.2 Calidad del agua cruda. Río Mondomo**

Los valores presentados en la Tabla 4 manifiestan que el agua cruda del río Mondomo presenta un comportamiento poco variable de los parámetros evaluados. Sin embargo, durante el periodo de estudio no se presentaron periodos prolongados de lluvia donde se pudiera evaluar mejor el comportamiento de la calidad del río en bajo estas circunstancias. Es posible que aunque los valores presentados tenga poca variabilidad, esta pueda cambiar considerando datos de calidad en periodos de lluvia fuerte.

**Tabla 4.** Características del agua cruda del río Mondomo evaluada durante el mes de Julio del año 2006

PARÀMETRO	VALOR MÀXIMO	VALOR MÍNIMO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÀNDAR	NÚMERO DE DATOS
Turbiedad (NTU)	6,4	3,0	5,13	0,66	20
Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	46,1	27,1	37,11	4.49	20
Color (UPtCo)	26,0	15,0	19.9	3.22	20
pH	9,0	6,5	7.91	0.49	20
Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	35,7	23,8	28.4	2.95	20
Temperatura (°C)	26	23	24.5	0.76	20

La información presentada en la Tabla 4 según los parámetros evaluados refleja el estado actual de la cuenca, en donde hay presencia de bajos procesos denudativos, erosivos y de poca deforestación.

De acuerdo con las características del agua cruda de la fuente, se clasifica según RAS 2000 como una fuente deficiente, debido a sus niveles de color. (Tabla B.2.1. RAS 2000)

#### **4.1.3 Calidad del agua cruda. Mezcla Río Mondomo – Río Quilichao Proporción 50% - 50%**

En la Tabla 5 se presentan las características de la calidad del agua cruda para la mezcla del río Quilichao y Mondomo en proporción 50% – 50%

Al comparar la calidad del agua cruda de cada una de las fuentes se observa poca variabilidad en las condiciones de la misma en ciertos parámetros como la alcalinidad y el color, sin embargo, las dos fuentes presentan en general un comportamiento similar a lo largo del estudio, siendo este un resultado relevante para el uso y aprovechamiento de la misma

De acuerdo con las características del agua cruda de la fuente, se clasifica según RAS 2000 como una fuente deficiente, debido a sus considerables niveles de color. (Tabla B.2.1. RAS 2000)

**Tabla 5.** Características del agua cruda mezclada de las dos fuentes, evaluada durante los meses de Julio a Agosto del año 2006

PARÀMETRO	VALOR MÀXIMO	VALOR MÍNIMO	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	NÚMERO DE DATOS
Turbiedad (NTU)	9,3	3,2	5.87	2.11	41
Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	46,1	22,5	34.4	6.37	41
Color (UPtCo)	41,0	11,0	26.1	11.38	41
pH	9,0	6,5	7.41	0.62	41
Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	32,9	24,8	29,47	1.92	41
Temperatura (°C)	25,0	22,0	24.0	0.76	41

## 4.2 Evaluación del Río Quilichao

Para la fuente del río Quilichao se trabajaron dos calidades de agua cruda. La primera con un rango de turbiedad comprendido entre 0 UNT y 30 UNT, y la segunda con un rango de turbiedad mayor a 30 UNT.

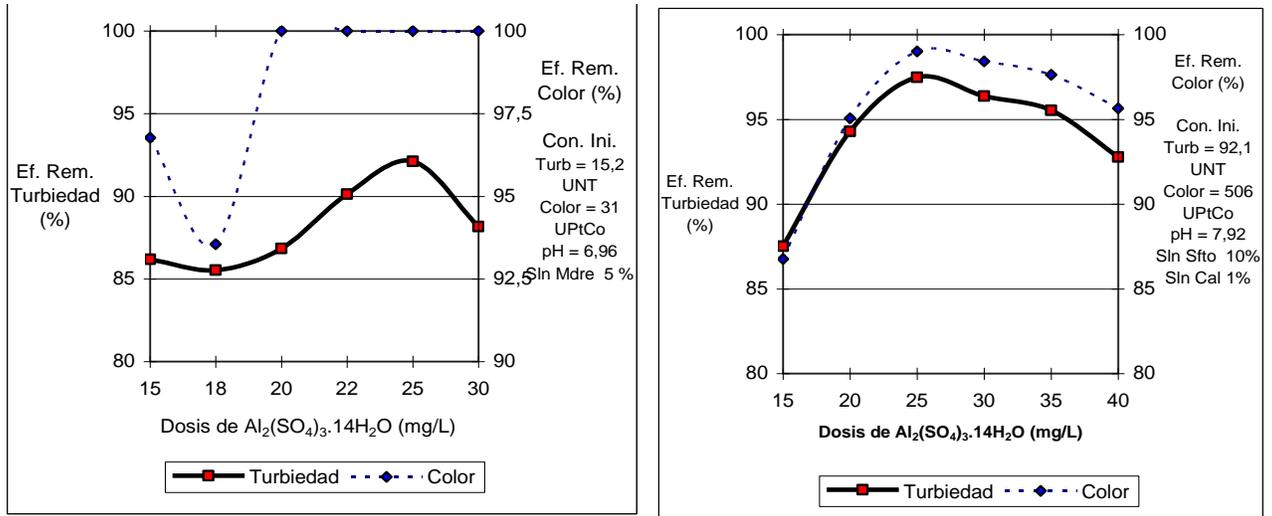
### 4.2.1 Proceso de coagulación

De acuerdo a la calidad del agua cruda de la fuente, el proceso de coagulación para este rango de turbiedad presentó cierta particularidad en cuanto a los resultados esperados. A continuación se enfatiza en la comparación de los resultados obtenidos con los esperados para cada una de las variables estudiadas. Aquí se incluyen los resultados de la determinación de la dosis óptima, solución madre de coagulante, pH de coagulación y tiempo de mezcla rápida.

#### 4.2.1.1 Dosis óptima

En las Figura 1a y 1b se puede justificar la escogencia de la dosis óptima para dos calidades de agua. En ambos casos se ha especificado las condiciones del agua

cruda en turbiedad, color y pH, además de la concentración de la solución madre de coagulante y si se usó o no cal.



a) b)  
**Figura 1.** Determinación de la dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  para bajos (a) y altos (b) niveles de Turbiedad y Color para la fuente del río Quilichao.

Con relación a la figura 1a se observa que para niveles bajos de turbiedad y color se presentan eficiencias de remoción superiores al 85% para turbiedad y 93% para color en un todo el rango de dosis de coagulante estudiado. Se aprecia que se generan mayores eficiencias de remoción de turbiedad en un rango de dosis comprendido entre 20 y 30 mg/L superando el 90 % para una dosis de 25 mg/L de coagulante. Para el parámetro color se presentan eficiencias de remoción del 100% en un rango comprendido entre 20 y 30 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ .

Para niveles altos de turbiedad y color (Figura 1b) se presentan las mayores eficiencias de remoción tanto de turbiedad como de color en un rango de dosis comprendido entre 20 y 35 mg/L de coagulante, siendo superior al 96% con una dosis de 25 mg/L. Cabe señalar que para el rango de dosis estudiado se presentan eficiencias de remoción de turbiedad y color superiores al 85%.

Al comparar las dos figuras se observa que para las dos calidades de agua se presenta una tendencia similar en cuanto a las eficiencias de remoción. Se aprecia que se generan mayores eficiencias de remoción para color que para turbiedad.

Además se observa claramente una inflexión en las curvas para una dosis de 25 mg/L de coagulante, por tanto para efectos de estudio se determinó esta como dosis óptima.

Según los diagramas de coagulación obtenidos experimentalmente por Campos y Di Bernardo (1991), con dosis superiores a 15 mg/L de sulfato de aluminio y pH comprendido entre 5.5 y 9.0 se consigue coagulación por barrido, con un óptimo entre 6.7 y 8.3 para dosis entre 30 y 60 mg/L, con lo cual, la dosis encontrada para este tipo de calidad de agua cumple con uno de las metas propuestas: trabajar predominantemente en el esquema de coagulación por barrido y en menor proporción en la neutralización de cargas, ya que esto facilita la operación en planta por no requerir un control estricto del pH, además de lograr una muy buena aproximación a los rangos óptimos.

#### 4.2.1.2 Solución madre de Coagulante

A continuación se presentan los resultados obtenidos del parámetro de turbiedad de las dos calidades de agua para las distintas soluciones madre de coagulante estudiadas. En la Figura 2a se muestran los resultados para el rango de turbiedad comprendido entre 0 y 30 UNT, y en la Figura 2b para turbiedad mayor a 30 UNT.

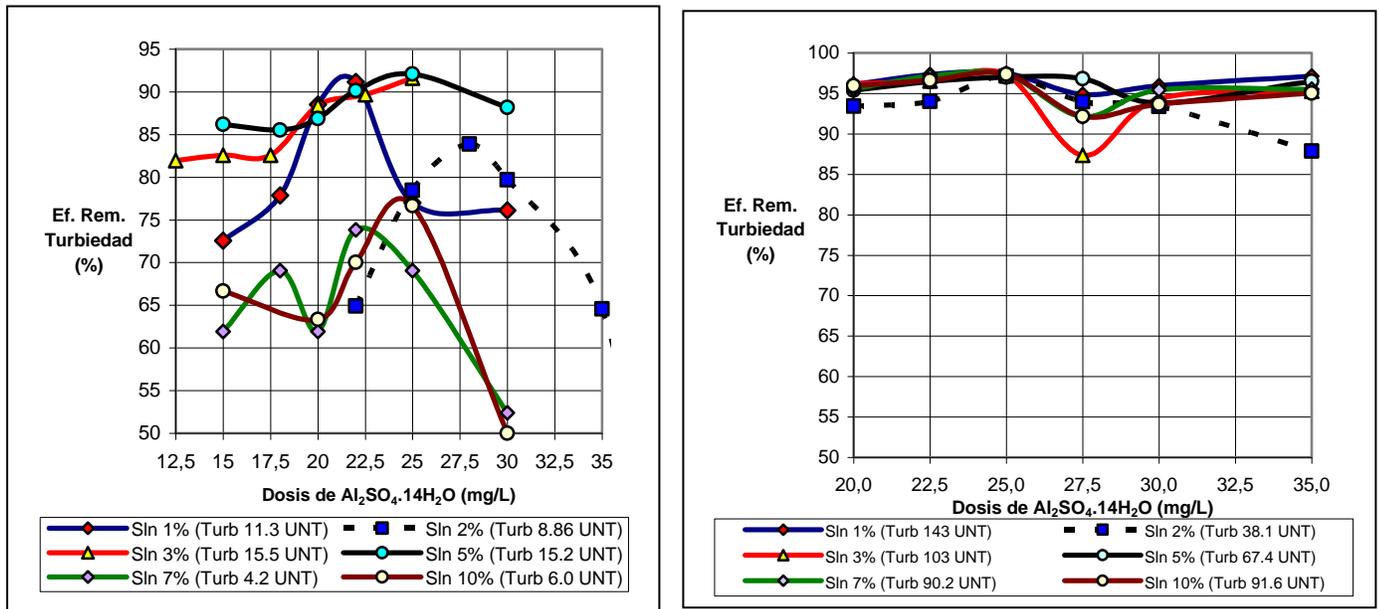


Figura 2. Determinación de la solución madre óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  para bajos (a) y altos (b) niveles de Turbiedad.

De acuerdo con la Figura 2a se puede apreciar que para turbiedades relativamente bajas (< 20 UNT) la eficiencia de remoción supera el 50% en cada una de las soluciones madre de coagulante evaluadas. Se observa que para un rango de turbiedad comprendido entre 10 UNT y 16 UNT, la eficiencia de remoción esta por encima del 80 % para soluciones madre de coagulante de 3% y 5%.

En la Figura 2b se evidencia un comportamiento uniforme de todas las soluciones madre estudiadas para turbiedades altas (>30 UNT) con respecto a la eficiencia de remoción de este parámetro. Esta eficiencia supera el 86%, siendo superior al 92 % en un rango de dosis comprendido entre 20 y 25 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ , para las diferentes concentraciones de solución trabajadas. Aquí se muestra claramente que la dosis óptima determinada de 25 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  tiene un comportamiento similar para cada una de las soluciones trabajadas, generando las más altas eficiencias de remoción de turbiedad (> 95 %). Se puede apreciar que las soluciones de 1% y 5% no presentan significativas variaciones de eficiencias de remoción para las diferentes dosis de coagulante empleadas, siendo la solución madre de 5% representativa para las dos calidades de agua cruda estudiadas, con respecto al parámetro turbiedad.

En las figuras siguientes 3a y 3b se presentan los resultados obtenidos para el parámetro de color de las dos calidades de agua evaluadas para colores altos y bajos respectivamente.

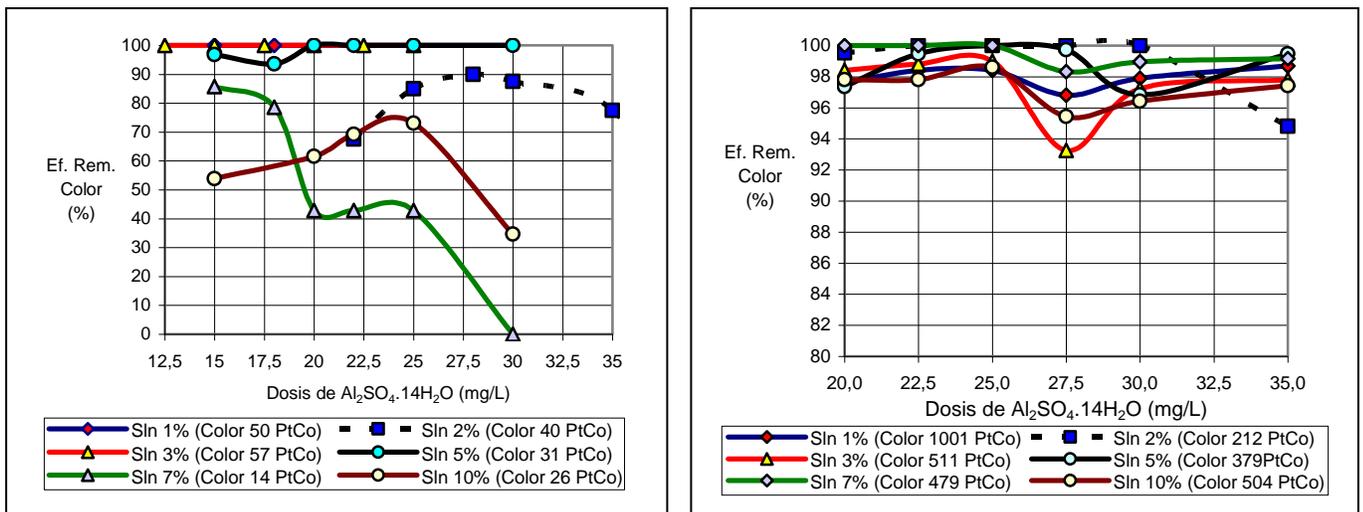


Figura 3. Determinación de la solución madre óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  para bajos (a) y altos (b) niveles de Color.

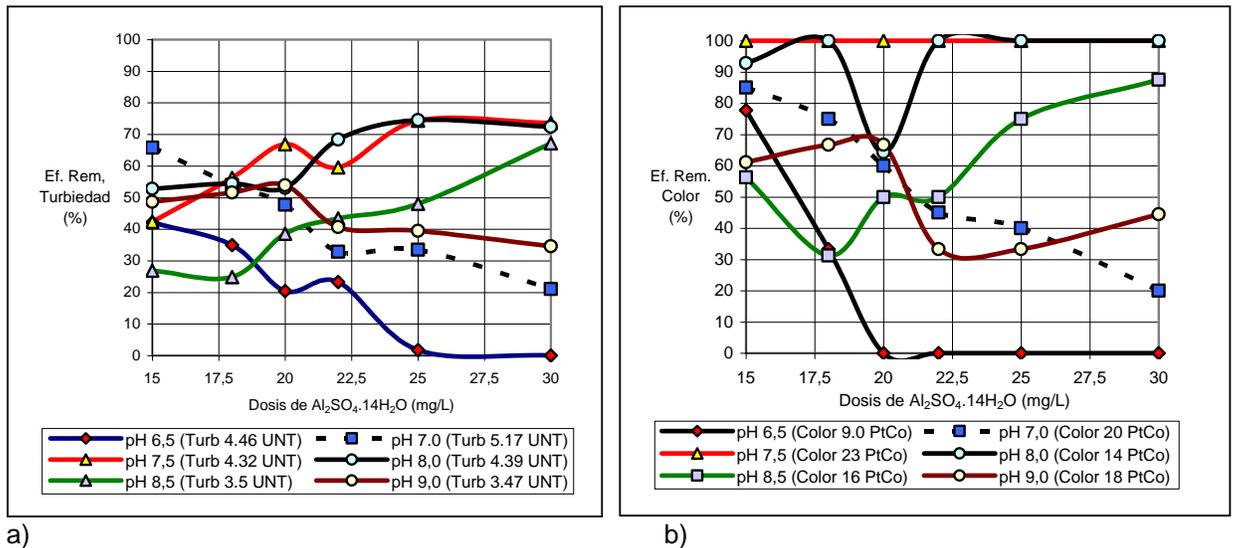
La Figura 3a muestra claramente que para colores relativamente bajos (< 60 UPtCo) la eficiencia de remoción de color para soluciones madre de 1%, 3% y 5% están por encima del 90 % para el rango de dosis de coagulante determinado. Es importante resaltar que las soluciones madre del 1% y 3% presentan remoción total del color para todas las dosis de coagulante trabajadas.

En la Figura 3b se observa que para colores por encima de 200 UPtCo las eficiencias superan el 93 % de remoción para cada una de las soluciones madre empleadas. Las soluciones de 2%, 5% y 7% presentan un mejor comportamiento con respecto a la eficiencia de remoción de color, siendo superior al 98 % en un rango de dosis comprendido entre 20 y 30 mg/L de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ . Cabe señalar que para una dosis de 25 mg/L de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$  se presentan las mayores eficiencias de remoción de color en todas las soluciones madre utilizadas.

Al comparar las eficiencias de remoción tanto de turbiedad como de color, se determina que las soluciones madre de 5 y 3% presentaron el mejor comportamiento para estos dos parámetros en las dos calidades de agua, siendo ligeramente mejor la del 5%. Sin embargo, en el desarrollo de la evaluación se trabajó con una solución madre del 3%, debido a la facilidad en dosificación de coagulante - mayor precisión en la medición de volúmenes –.

#### **4.2.1.3 pH de coagulación**

En la Figuras 4a y 4b se presentan los resultados de la determinación del pH óptimo de coagulación con respecto a los parámetros de turbiedad y color respectivamente.



**Figura 4.** Determinación del pH óptimo de coagulación para los parámetros de Turbiedad (a) y Color (b) para el río Quilichao.

Con relación a la Figura 4a se puede observar que la remoción de turbiedad superior al 50 % se presenta a pH's comprendidos entre 7.5 y 8.0 para un rango de dosis de coagulante comprendido entre 20 y 30 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ ; lo que evidencia que para la dosis óptima determinada (25 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ ) se ubica dentro de la zona de barrido de acuerdo al diagrama de coagulación de Amirtharajah. (Arboleda, 2000)

Para el caso de la remoción de color, como se aprecia en la Figura 4b, los pH's 7.5 y 8.0 son los que presentan la mayor eficiencia de remoción (>60 %) tal como se esperaba (zona de barrido) para este rango de dosis seleccionado.

Comparando los resultados de los parámetros turbiedad y color, se determina que el rango de pH óptimo de coagulación esta entre 7.5 y 8.0, ya que presenta las mayores eficiencias de remoción para los dos parámetros evaluados.

#### 4.2.1.4 Tiempo de mezcla rápida.

Los resultados de la determinación del tiempo de mezcla se presentan en la Figura 5 en donde también se muestran las condiciones del agua cruda estudiada.

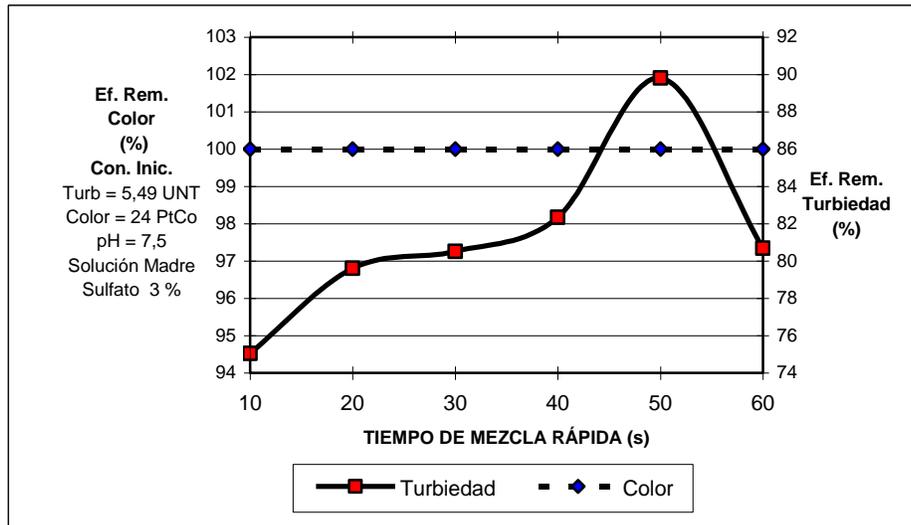
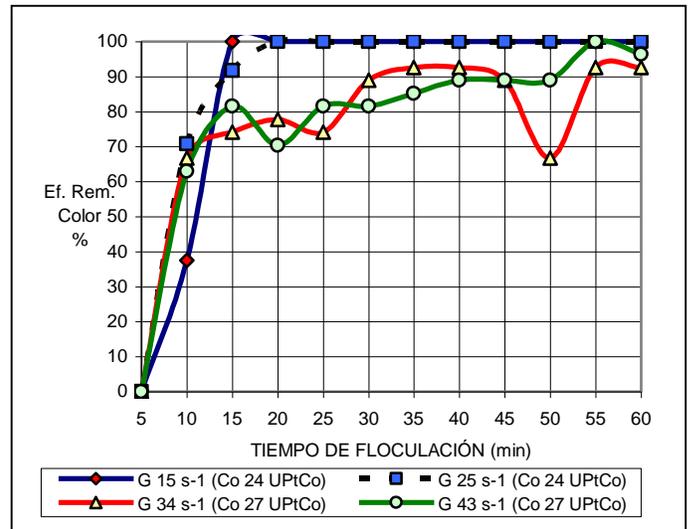
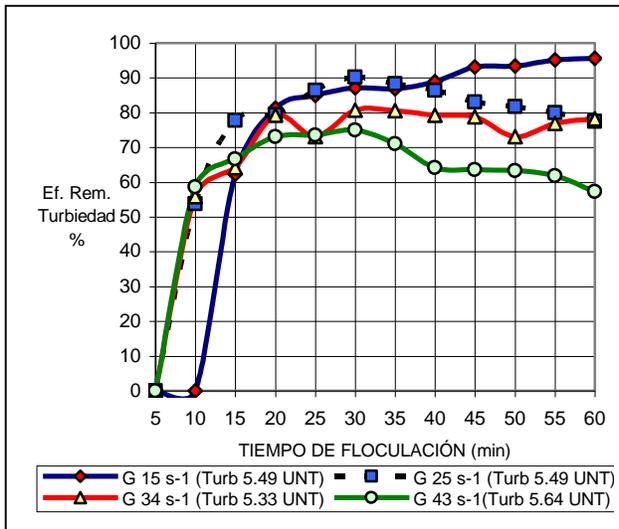


Figura 5. Determinación del tiempo óptimo de mezcla rápida para la fuente del río Quilichao.

Al observar en detalle la figura anterior se determina que el tiempo óptimo de mezcla rápida es de 50 segundos, el cual corresponde al tiempo que genera la mayor eficiencia en remoción de turbiedad (89.82 %). Cabe resaltar que para todos los tiempos de mezcla rápida trabajados se obtiene una remoción total de color (100%), y de turbiedad mayor al 75%.

#### 4.2.2 Proceso de Floculación.

Aquí se incluyen los resultados obtenidos de la determinación del tiempo óptimo de floculación y de los gradientes de mezcla lenta para la fuente del río Quilichao. En las Figuras 6a y 6b se grafican los valores obtenidos para los parámetros turbiedad y color en un rango de tiempos de floculación comprendido entre 5 y 60 minutos para los diferentes gradientes de mezcla lenta, los cuales se encuentran entre 15 y 43 s<sup>-1</sup>.



a)

b)

**Figura 6.** Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para los parámetros de Turbiedad (a) y Color (b). Fuente río Quilichao

En la figura 6a se observa la uniformidad en la tendencia de cada una de las curvas de gradiente de mezcla lenta para los tiempos de floculación evaluados. Se observa que a partir de un tiempo de floculación de 10 minutos se logran eficiencias de remoción de turbiedad superiores al 50 % para gradientes de mezcla lenta comprendidos entre 25 y 43 s<sup>-1</sup>. A partir de los 20 minutos de floculación no se presentan variaciones significativas en la tendencia de las curvas, por tanto, la eficiencia de remoción de turbiedad tiende a estabilizarse, con lo cual se determina que para esta calidad de agua el tiempo óptimo de floculación corresponde a 20 minutos.

Como se ilustra en la figura 6b a partir de un tiempo de floculación de 20 minutos se logra remoción total de color para gradientes de velocidad de 15 y 25 s<sup>-1</sup>. Además, se observa que para gradientes de velocidad de 34 y 43 s<sup>-1</sup> la eficiencia de remoción de color es superior al 60 % para tiempos de floculación mayores a 10 minutos.

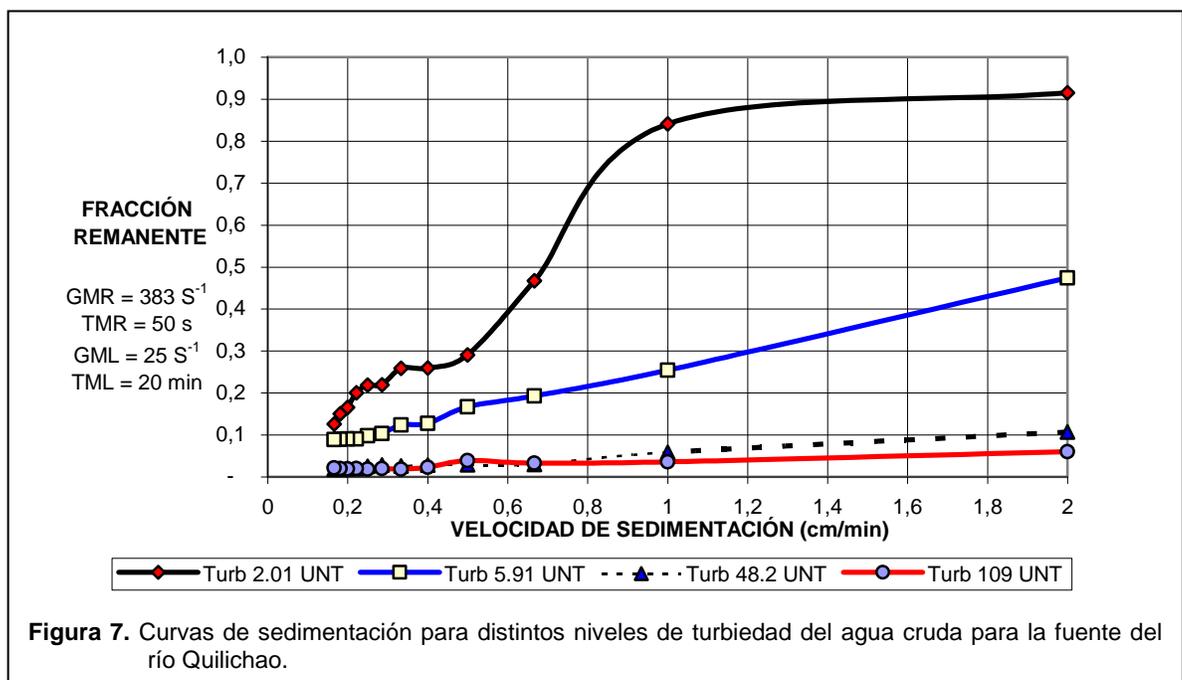
Para esta agua, como en casi todas, cuando los gradientes de velocidad son bajos se necesitan tiempos de floculación relativamente altos. En cambio, cuando se tienen gradientes de velocidad altos se puede flocular el agua con tiempos de

floculación más cortos. (Arboleda, 2000). En la figura 6a se observa claramente este comportamiento; además se muestra que con el gradiente de velocidad de  $15 \text{ s}^{-1}$ , la eficiencia de remoción de turbiedad aumenta directamente con el tiempo de floculación; lo que no sucede con los demás gradientes de velocidad.

De acuerdo a lo anterior, el gradiente de floculación óptimo determinado corresponde a  $25 \text{ s}^{-1}$  para un tiempo de floculación de 30 minutos. El criterio de selección tanto del gradiente de velocidad como el tiempo de floculación fue basado en que para este tiempo, los gradientes de velocidad estudiados presentan similar eficiencia de remoción de turbiedad y remociones de color del 100%.

#### 4.2.3 Proceso de Sedimentación.

A continuación se presentan los resultados del proceso de sedimentación de la fuente del río Quilichao para distintas calidades de agua cruda.



Las curvas de sedimentabilidad tal como se aprecia en la Figura 7, presentan una significativa variabilidad respecto a la turbiedad del agua cruda. Se observa un incremento brusco en la fracción remanente en un rango de velocidades de sedimentación comprendido entre 0.4 y 1 cm/min para una turbiedad de 2.01 UNT; para turbiedades altas, se aprecia una tendencia similar en las curvas de sedimentabilidad.

En Tabla 6 se aprecia un aumento directamente proporcional de la velocidad de sedimentación crítica con la turbiedad del agua cruda para una misma eficiencia de remoción (95%). Esto puede ser debido a que para turbiedades bajas, por la baja presencia de coloides, se considera que las velocidades de sedimentación son bajas, el floc pequeño y liviano; mientras que en aguas con alta turbiedad y debido al uso de alcalinizante se esperaría un mayor volumen de floc, de mucho más peso y tamaño, y con mayor velocidad de sedimentación. Por tanto, como en este proceso los tamaños de las partículas están asociados a las velocidades de sedimentación, son deseadas las partículas de mayor dimensión. (Pádua, Valter Lúcio et al, 2000)

**Tabla 6.** Velocidades de sedimentación crítica con diferentes turbiedades del agua cruda para eficiencias de remoción cercanas al 95% para la fuente del río Quilichao

Turbiedad del agua cruda (UNT)	Velocidad de Sedimentación crítica. Vsc (cm/min)	Fracción Remanente	Turbiedad del agua decantada (UNT)	Eficiencia de Remoción (%)
2.01	0.10	0.10	0.12	95.0
5.91	0.24	0.10	0.30	95.0
48.2	1.84	0.10	2.56	94.7
109	2.00	0.06	5.01	95.4

En la Tabla 6 se muestra claramente que para una misma eficiencia de remoción (95%) se requiere una baja Vsc (0.10 cm/min) con un valor de turbiedad bajo (2.01 UNT); y de una alta Vsc (2.00 cm/min) con una turbiedad alta (109 UNT). Además con la curva de sedimentabilidad para turbiedad de 109 UNT, se puede lograr una eficiencia mínima del 95.4 % para una Vsc de 2.0 cm/min, debido a que la fracción remanente es muy baja (0.06) para este tiempo. Aunque la eficiencia de remoción

para esta turbiedad es alta, la turbiedad residual supera ligeramente las 5 UNT, lo que podría afectar la operación de los filtros rápidos, disminuyendo su carrera.

Se determinó que la velocidad de sedimentación crítica teórica para la planta “El Arroyo” calculada a partir del número de placas y el caudal de entrada corresponde a 0.88 cm/min (Anexo 4.2.2), para la cual, con el soporte de las curvas de sedimentabilidad, se determinaron sus respectivas eficiencias de remoción para distintos niveles de turbiedad. Los resultados obtenidos son presentados en la siguiente tabla:

**Tabla 7.** Eficiencias de remoción para diferentes turbiedades de agua cruda con una velocidad de sedimentación crítica determinada para la planta. Fuente río Quilichao.

<b>Turbiedad del agua cruda (UNT)</b>	<b>Velocidad de Sedimentación crítica planta. Vsc (cm/min)</b>	<b>Fracción Remanente</b>	<b>Turbiedad del agua decantada (UNT)</b>	<b>Eficiencia de Remoción (%)</b>
2.01	0.88	0.76	0.68	66.1
5.91	0.88	0.23	0.82	86.1
48.2	0.88	0.05	1.35	97.2
109	0.88	0.03	1.85	98.3

Como se aprecia en la Tabla 7 las eficiencias de remoción en las turbiedades bajas son menores al 86%, para una velocidad de sedimentación crítica de 0.88 cm/min, mientras que para turbiedades altas la eficiencia alcanzada es superior al 97%. Aunque esto pareciera ser limitante para las turbiedades bajas, aún en estos casos se puede producir turbiedades residuales que alcanzan valores por debajo 5 UNT, con lo cual se puede lograr un buena operación del sistema de filtración.

#### **4.2.4 Proceso filtración directa**

Considerando que el río Quilichao presenta bajas turbiedades durante el periodo seco, se evaluó la posibilidad de operar la planta por filtración directa, usando para ello la prueba modificada de jarras (Di Bernardo, 1989). En este caso se evaluaron las posibles dosis las cuales se presentan en la figura 8.

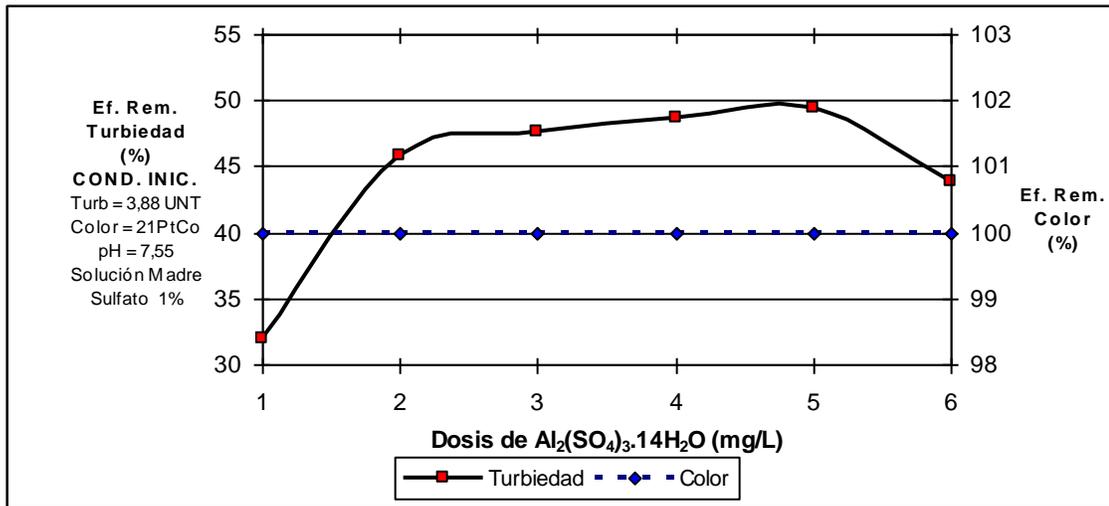


Figura 8. Prueba de filtración directa para la fuente del río Quilichao

Se puede apreciar que la eficiencia de remoción de turbiedad para dosis entre 2 y 5 mg/l está entre el 45 y el 50%, mientras que para el parámetro color, la eficiencia de remoción es del 100% en todas las dosis evaluadas. Para el caso de la remoción de turbiedad estas eficiencias generan turbiedades residuales del orden de 2 a 2.5 UNT con lo cual es suficiente para el cumplimiento del decreto 475 de 1998, además podría disminuir el riesgo microbiológico del agua dado que bajo estas condiciones se puede coagular y remover mas fácilmente los quistes de protozoarios, ooquistes (*Cryptosporidium spp.*) que difícilmente pueden ser eliminados bajo las condiciones normales de la desinfección (Abramovich, B et al., 2004)

El criterio de selección de la dosis óptima de coagulante es similar al utilizado en el proceso de coagulación convencional, que de acuerdo a la Figura 8 corresponde a un rango de dosis comprendido entre 3 y 6 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ , con un óptimo en 5 m/L determinada como dosis óptima.

Al realizar la comparación de la prueba filtración directa para la fuente del río Quilichao con el diagrama de coagulación de sulfato de aluminio según Amirtharajah y Mills (1982). (Figura 25), se observa que el pH trabajado (7.55) y la dosis óptima determinada (5 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ ) se encuentran en la zona de neutralización de cargas, zona en la cual es conveniente realizar la filtración directa ya que genera menor volumen de sólidos, lo cual favorece las carreras de filtración de los filtros rápidos.

### 4.3 Evaluación del Río Mondomo

Durante el estudio, la fuente del río Mondomo presentó relativamente bajos niveles de turbiedad y color, menores a 10 UNT y 25 UPtCo respectivamente.

#### 4.3.1 Proceso de coagulación

A continuación se incluyen los resultados de la determinación de la dosis óptima, solución madre de coagulante, pH de coagulación y tiempo de mezcla rápida.

##### 4.3.1.1 Dosis óptima

En la Figura 9 se presenta la curva obtenida de la determinación de la dosis óptima de coagulante para la fuente del río Mondomo.

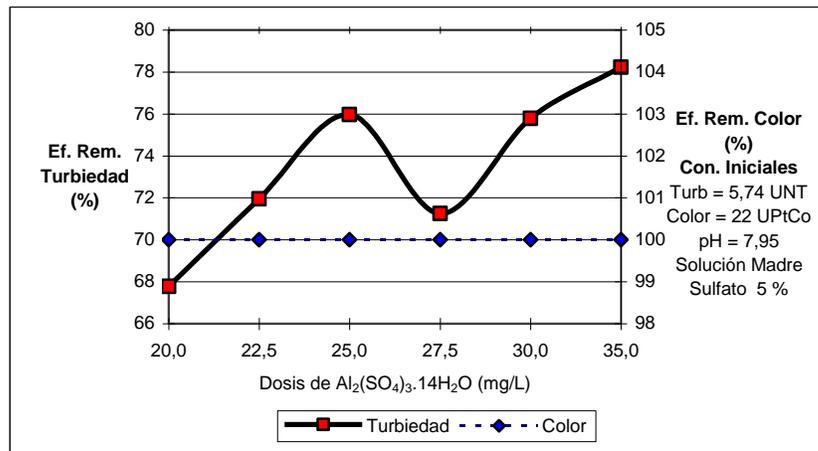


Figura 9. Determinación de la dosis óptima de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ . Fuente río Mondomo

Como se ilustra en la Figura 9, se presentan altas eficiencias de remoción de turbiedad y color, siendo superior al 70% para turbiedad en un rango de dosis comprendido entre 22.5 y 27.5 mg/L de coagulante. Vale la pena señalar que existe otro rango de dosis en donde se generan altas eficiencias de remoción de turbiedad (>74%), que comprende dosis entre 30 y 35 mg/L. Sin embargo, al comparar los dos rangos de dosis señalados, se observa que las diferencias en

cuanto eficiencias de remoción de turbiedad no son significativas, por tanto, por economía se emplea el rango menor de dosis.

En cuanto al parámetro color, se aprecia que para todas las dosis evaluadas se generan eficiencias de remoción del 100%.

De acuerdo a lo anterior, y para efectos del estudio se determina que la dosis óptima para esta calidad de agua corresponde a 25 mg/L de coagulante.

#### 4.3.1.2 Solución madre de Coagulante

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los parámetros turbiedad y color para las distintas soluciones madre de coagulante estudiadas.

En las Figuras 10a y 10b se ilustran los resultados obtenidos para turbiedad y color respectivamente.

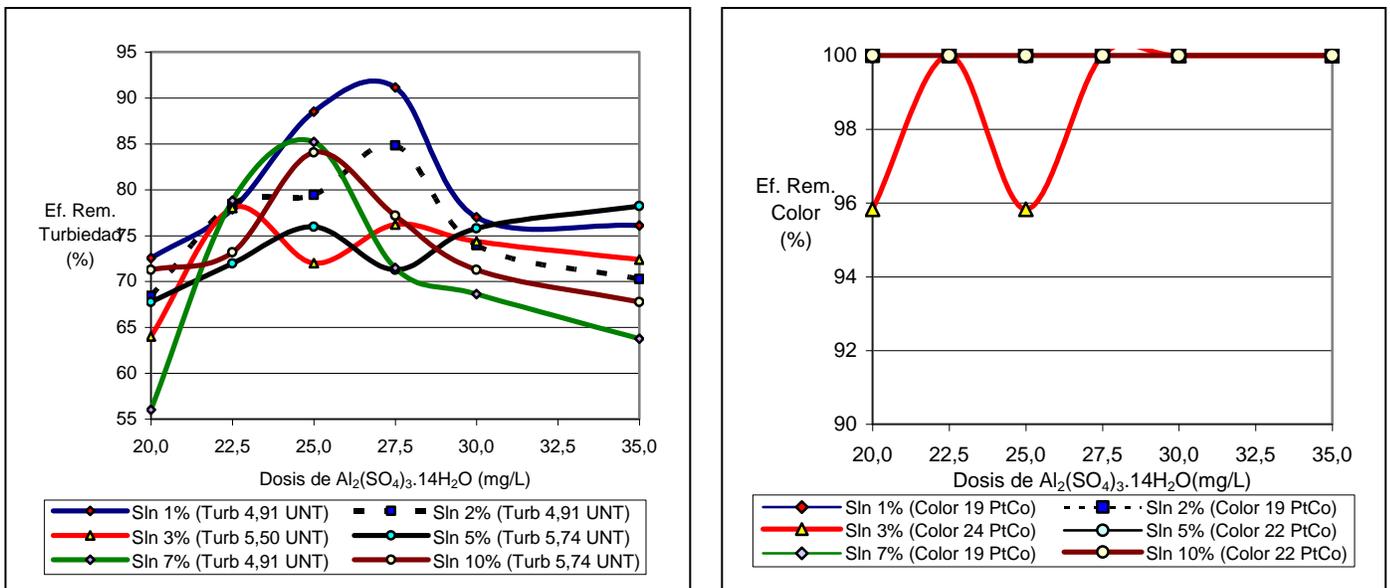


Figura 10. Determinación de la solución madre óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  para Turbiedad (a) y Color (b).

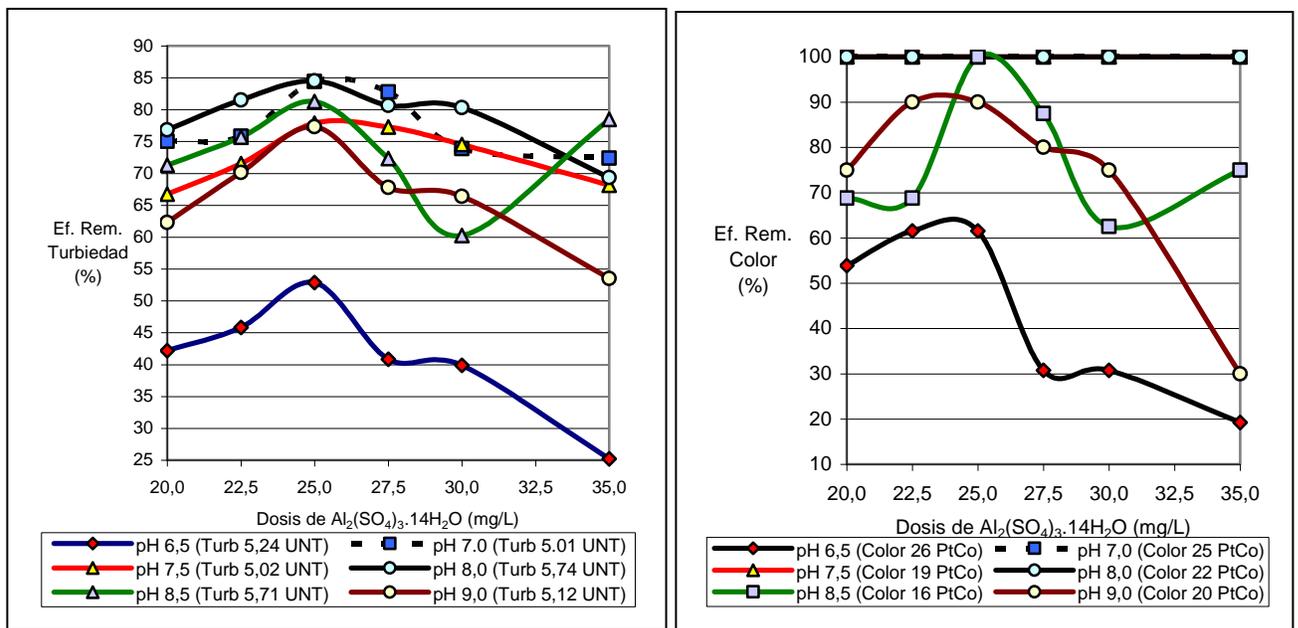
Con relación a la eficiencia de remoción de turbiedad (Figura 10a), se observa que los mayores porcentajes de remoción se logran con soluciones madre de 1% (v/v) y 2% (v/v), siendo la de 1% la que presenta las mayores eficiencias. Para la dosis óptima encontrada (25 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ ) se logran eficiencias superiores al 78% para soluciones madre de 1%, 2%, 7% y 10%.

Para el caso de la remoción de color (Figura 10b), se puede apreciar que se logran de remoción totales para casi todas las soluciones madre, excepto para la del 3%, la cual presenta un comportamiento atípico con presencia de fluctuaciones en un rango de dosis comprendido entre 20 y 27.5 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ , aunque con eficiencias de remoción superiores al 95%.

Con base en los resultados presentados en las Figuras 10a y 10b, se observa que la solución madre del 1%, genera las mayores eficiencias de remoción tanto de color como de turbiedad, por tanto fue seleccionada como la solución madre óptima de coagulante.

#### 4.3.1.3 pH de coagulación

En la figuras 11a y 11b se presentan los resultados de la determinación del pH óptimo de coagulación con respecto a los parámetros de turbiedad y color respectivamente.



a) b)  
**Figura 11.** Determinación del pH óptimo de coagulación para los parámetros de Turbiedad (a) y Color (b).  
 Fuente río Mondomo

En la Figura 11a se puede apreciar un comportamiento similar de cada una de las tendencias de los pH's de coagulación comprendidos entre 7.0 y 9.0 para el parámetro turbiedad.

Para el parámetro color (Figura 11b) se presenta una eficiencia de remoción del 100% para un rango de pH's comprendidos entre 7.0 y 8.0.

Es importante destacar que el pH de coagulación igual a 6.5 es el que menor rendimiento presenta respecto a la remoción de color y turbiedad, fenómeno que se puede explicar con la ayuda de los diagramas de coagulación (Figura 25); el cual muestra que a este pH se encuentra una posible zona de reestabilización de coloides, donde el coagulante reacciona parcialmente disminuyendo su eficiencia de remoción.

Analizando las dos figuras se observa que el rango óptimo de pH's está comprendido entre 7.0 y 8.0, en el cual se generan las mayores eficiencias de remoción de color y turbiedad, por tanto se considera este rango de pH's como el óptimo de coagulación.

#### 4.3.1.4 Tiempo de mezcla rápida.

En la Figura 12 se ilustran los resultados de la determinación del tiempo de mezcla, en donde también se muestran las condiciones del agua cruda estudiada.

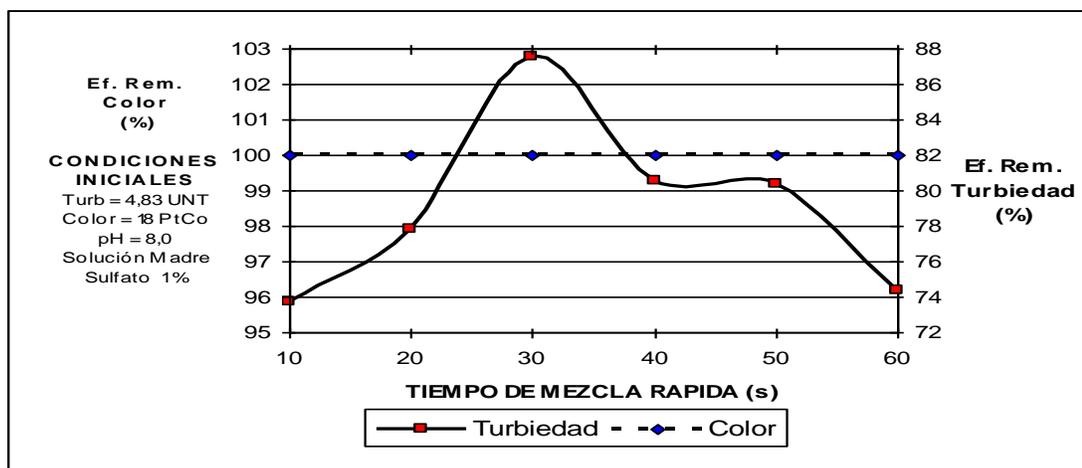


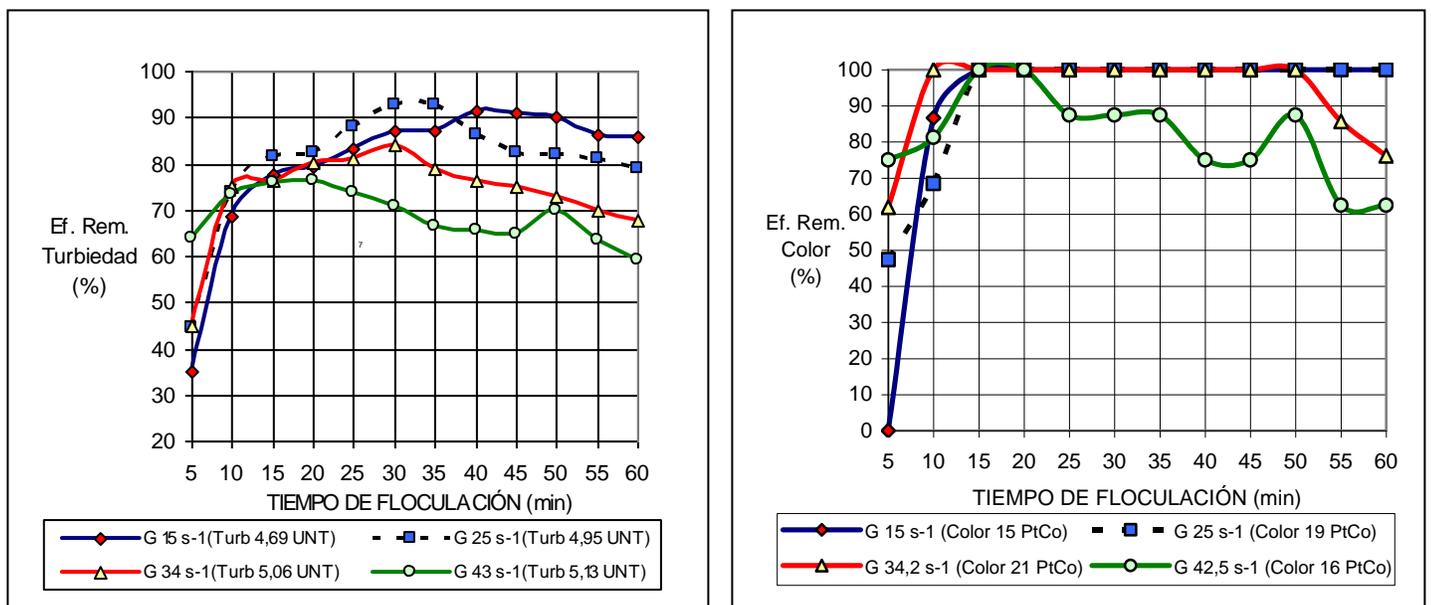
Figura 12. Determinación del tiempo de mezcla rápida para el río Mondomo.

De acuerdo con la figura anterior se observa que el tiempo óptimo de mezcla rápida de 30 segundos, es el que presenta el mayor rendimiento, ya que genera las más alta eficiencia de remoción de turbiedad (87.5 %). Sin embargo, entre 30 y 50 segundos se alcanzan eficiencias de remoción superiores al 80% que para la calidad del agua cruda tratada pueden ser consideradas como adecuados. Es importante señalar que para todos los tiempos de mezcla rápida trabajados se obtiene una eficiencia de remoción del 100 % en color.

### 4.3.2 Proceso de Floculación.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la determinación del tiempo óptimo de floculación y de los gradientes de mezcla lenta para la fuente del río Mondomo.

En la Figura 13a se muestran los resultados para el parámetro turbiedad y en la Figura 13b para el color.



**Figura 13.** Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para los parámetros de Turbiedad (a) y Color (b).

Con relación a la turbiedad (Figura 13a) se observa una tendencia similar en todas las curvas de gradiente de velocidad. Se aprecia que para gradientes de

floculación de  $34 \text{ s}^{-1}$  y  $43 \text{ s}^{-1}$ ; se obtienen eficiencias de remoción superiores al 70% para tiempos de floculación bajos: inferiores a 20 minutos; mientras que para tiempos de floculación superiores a 20 minutos, esta eficiencia de remoción de turbiedad se disminuye.

Para gradientes de floculación bajos ( $15 \text{ s}^{-1}$  y  $25 \text{ s}^{-1}$ ) sucede lo contrario: las eficiencias de remoción de turbiedad se incrementan a partir de un tiempo de floculación de 20 minutos alcanzando valores superiores al 90% en un rango comprendido entre 30 y 50 minutos. Algunos investigadores como Camp (1955) y Hudson (1965) propusieron el parámetro número de Camp (C) igual al producto  $G \cdot T$  como el más importante en el proceso de floculación; que puede ser utilizado para la proyección de unidades de floculación dentro de ciertos límites de G y T. Sin embargo es importante tener en cuenta las limitaciones del mismo, pues existen muchas combinaciones entre G y T que forman un mismo valor de C. Di Bernardo y colaboradores (1987) observaron que con un aumento de T, G tiende a un valor constante (cerca de cero) que depende del mecanismo de coagulación, tipo de coagulante primario, uso de polímeros, temperatura y calidad del agua, etc. (Di Bernardo, 1993). Por tanto, el comportamiento de esta calidad de agua cruda es razonable y es explicado por Di Bernardo (1987.) cuando considera que en el proceso de floculación es más importante el producto de gradiente y tiempo ( $G \cdot T$ ) que los parámetros individuales.

En la Figura 13b se puede resaltar que gradientes de velocidad de  $15 \text{ s}^{-1}$  y  $34 \text{ s}^{-1}$  remueven en su totalidad el color en un rango de 15 a 50 minutos de tiempo mezcla lenta.

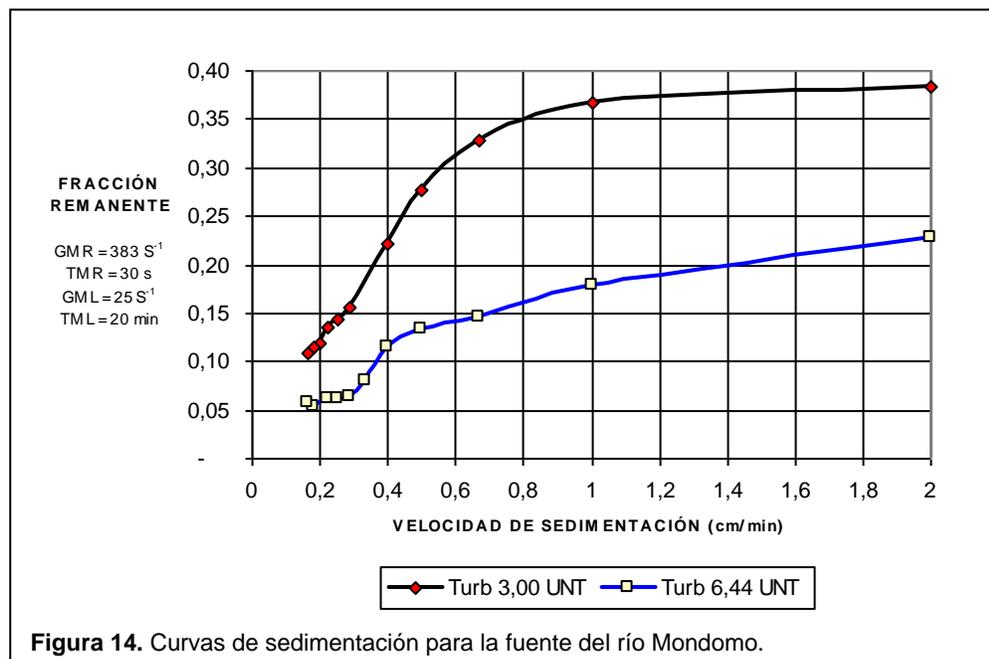
Por consiguiente el gradiente de floculación óptimo determinado corresponde a  $25 \text{ s}^{-1}$  con un tiempo óptimo de floculación de 25 minutos; sin embargo, para efectos del estudio - y por presentar un comportamiento similar - se consideró 20 minutos como tiempo óptimo de floculación, lo que refleja una tendencia similar del

proceso de floculación con relación al de la fuente del río Quilichao, conservando los mismos parámetros de floculación.

Al comparar este gradiente y tiempo óptimo de floculación determinado en el estudio con el recomendado por el RAS 2000 para este tipo de floculador (Floculador Alabama), se aprecia que se encuentra dentro del rango sugerido, el cual corresponde a un gradiente comprendido entre  $20 \text{ s}^{-1}$  y  $70 \text{ s}^{-1}$  y un tiempo de detención entre 20 y 40 minutos. (Titulo C, RAS 2000)

#### 4.3.3 Proceso de Sedimentación.

En la figura siguiente (14) se presentan los resultados del proceso de sedimentación de la fuente del río Mondomo para dos calidades de agua cruda muy similares.



Se observa un comportamiento similar en las curvas de sedimentabilidad con relación a la fuente del río Quilichao, en donde se presenta una disminución en la fracción remanente a medida que la turbiedad disminuye.

En la Tabla 8 se presentan los resultados generales de cada una de las pruebas de sedimentabilidad, en donde se muestran distintas velocidades de sedimentación crítica para una eficiencia del 95%.

**Tabla 8.** Velocidades de sedimentación crítica con diferentes turbiedades del agua cruda para eficiencias de remoción del 95% para la fuente del río Mondomo

<b>Turbiedad del agua cruda (UNT)</b>	<b>Velocidad de Sedimentación crítica. Vsc (cm/min)</b>	<b>Fracción Remanente</b>	<b>Turbiedad del agua decantada (UNT)</b>	<b>Eficiencia de Remoción (%)</b>
3.00	0.16	0.10	0.15	95.0
6.44	0.36	0.10	0.32	95.0

Para una misma eficiencia de remoción (95%), las velocidades de sedimentación aumentan a medida que aumenta la turbiedad. Este fenómeno 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 - por debajo de 5 UNT- (Arboleda, 2000)

A continuación se muestran las eficiencias de remoción para la velocidad de sedimentación crítica teórica determinada para la planta “El Arroyo”, que corresponde a 0.88 cm/min.

**Tabla 9.** Eficiencias de remoción para diferentes turbiedades de agua cruda con la velocidad de sedimentación crítica teórica de la planta “El Arroyo”. Fuente río Mondomo

<b>Turbiedad del agua cruda (UNT)</b>	<b>Velocidad de Sedimentación crítica. Vsc (cm/min)</b>	<b>Fracción Remanente</b>	<b>Turbiedad del agua decantada (UNT)</b>	<b>Eficiencia de Remoción (%)</b>
3.00	0.88	0.36	0.63	79.1
6.44	0.88	0.17	0.66	89.7

Se aprecia que para esta calidad de agua cruda, se generan eficiencias de remoción de turbiedad por encima del 79% para la Vsc teórica obtenida para la

planta (0.88 cm/min). Además se observa la misma tendencia en el aumento proporcional de las eficiencias de remoción con la turbiedad, al compararla con la fuente del río Quilichao.

#### **4.4 Evaluación de la mezcla Río Mondomo – Río Quilichao.**

##### **Proporción 50% - 50%**

Para la mezcla del río Quilichao – río Mondomo en igual proporción se efectuaron estudios para dos calidades de agua cruda de la mezcla, la primera para niveles bajos de turbiedad y color, y la segunda para niveles medios de estos dos parámetros.

##### **4.4.1 Proceso de coagulación**

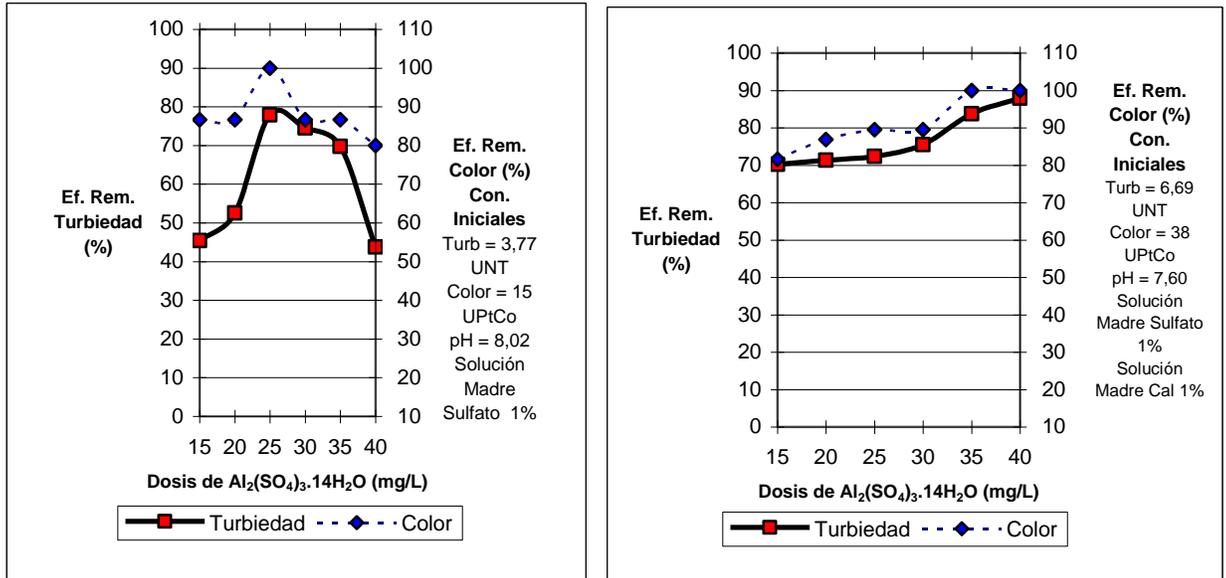
Al estudiar dos fuentes hídricas con características similares en sus condiciones de tratabilidad, los resultados encontrados para el proceso de coagulación son semejantes a los estudios realizados para cada fuente; lo que representa una ventaja al momento de efectuar la implementación de los resultados a escala real, debido a que las modificaciones a efectuarse serían mínimas.

A continuación se incluyen los resultados de la determinación de la dosis óptima, solución madre de coagulante, pH de coagulación y tiempo de mezcla rápida.

##### **4.4.1.1 Dosis óptima**

En las Figura 15 se muestran los resultados de las pruebas realizadas para la determinación de la dosis óptima de coagulante para dos calidades de agua cruda de mezcla de las dos fuentes. En la Figura 15a se presentan los resultados para

niveles bajos de turbiedad y color; y en la 15b para niveles medios en la cual se empleó cal viva (CaO) como alcalinizante.



a) b)  
**Figura 15.** Determinación de la dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  para bajos (a) y medios (b) niveles de Turbiedad y Color para la mezcla río Mondomo – río Quilichao

En la Figura 15a (niveles bajos de turbiedad y color) se aprecia que para esta calidad de agua se generan mayores eficiencias de remoción de color que de turbiedad, siendo superior al 80 % para todas las dosis evaluadas. Además se generan las mayores eficiencias de remoción de color y turbiedad en un rango de dosis de coagulante comprendido entre 20 y 30 mg/L, con un máximo en 25 mg/L en donde se observa claramente una inflexión en las curvas de color y turbiedad, en el cual se generan las máximas eficiencias de remoción de turbiedad (>75%) y color (100%).

Para niveles medios de turbiedad y color (Figura 15b), se aprecia una tendencia similar en las curvas de turbiedad y color, generándose al igual que en la figura anterior (15a) mayores eficiencias de color que de turbiedad. Se logra apreciar que las mayores eficiencias de remoción se generan en un rango de dosis

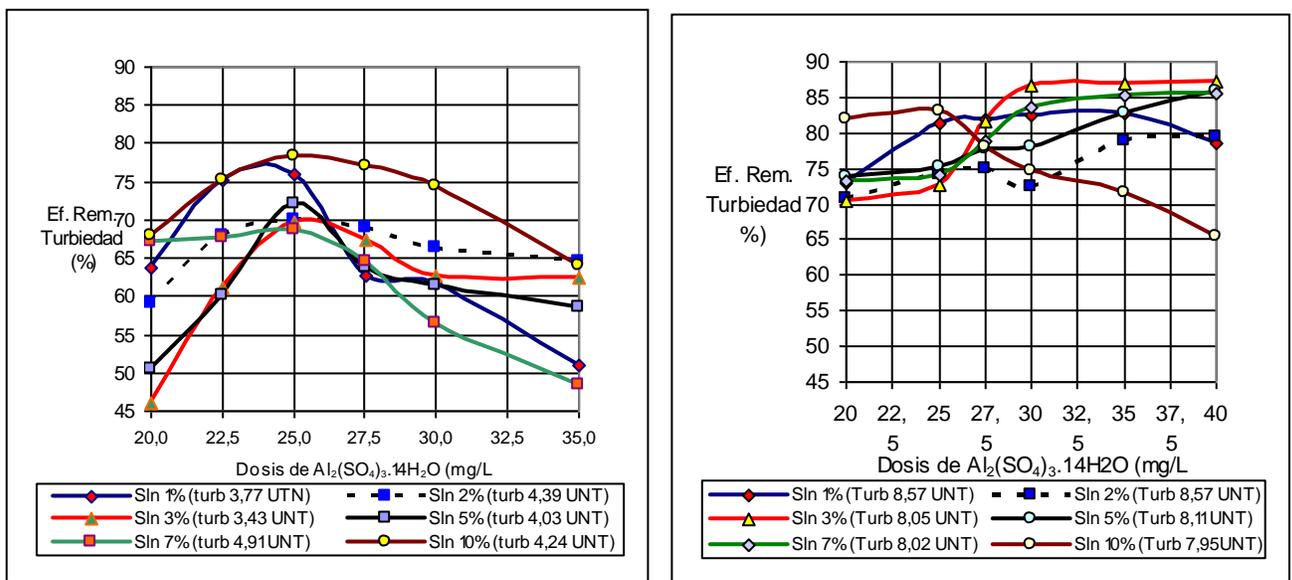
comprendido entre 30 y 40 mg/L de coagulante, superando el 75% para turbiedad y el 85% para color. Sin embargo, es importante resaltar que no es justificable aumentar las dosis de coagulante de manera significativa para incrementar las eficiencias de remoción de color y turbiedad en baja proporción, ya que para dosis inferiores a 30 mg/L, la turbiedad residual es tolerable al tratamiento mediante el proceso de filtración rápida.

De acuerdo a lo anterior y para efectos del desarrollo del estudio, se trabajó con una dosis óptima de 25 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  para las dos calidades de agua cruda evaluadas en la mezcla de las dos fuentes, debido a que genera buenas eficiencias de remoción tanto de color como de turbiedad.

#### 4.4.1.2 Solución madre de Coagulante

Los resultados de las pruebas realizadas para la determinación de la solución madre óptima con relación al parámetro turbiedad se presentan a continuación.

En la Figura 16 se presentan los resultados para niveles bajos de turbiedad (a) y niveles medios (b) para agua mezclada del río Mondomo – río Quilichao en proporción 50 -50%.



a) b)  
**Figura 16.** Determinación de la solución madre óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  para bajos (a) y medios (b) niveles de Turbiedad para la mezcla río Quilichao – río Mondomo

Tal como se aprecia en la Figura 16, para niveles bajos y medios de turbiedad se observa que para dosis de coagulante inferiores a 25 mg/L se presentan las mayores eficiencias de remoción de turbiedad con soluciones madre del 1 y 10%; mientras que para dosis mayores a 25 mg/L no hay una tendencia clara en el comportamiento.

En la Figura 17 se presentan los resultados obtenidos para el parámetro color de las dos calidades de agua evaluadas para niveles de color bajos (a) y medios (b).

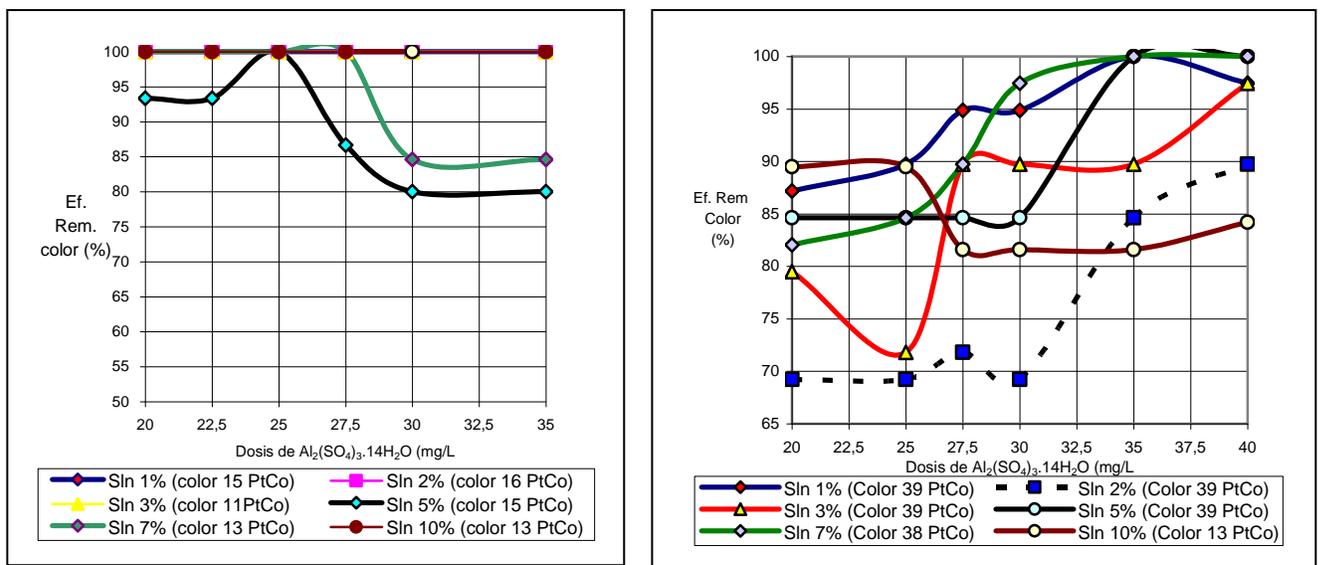


Figura 17. Determinación de la solución madre óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  para bajos (a) y medios (b) niveles de Color.

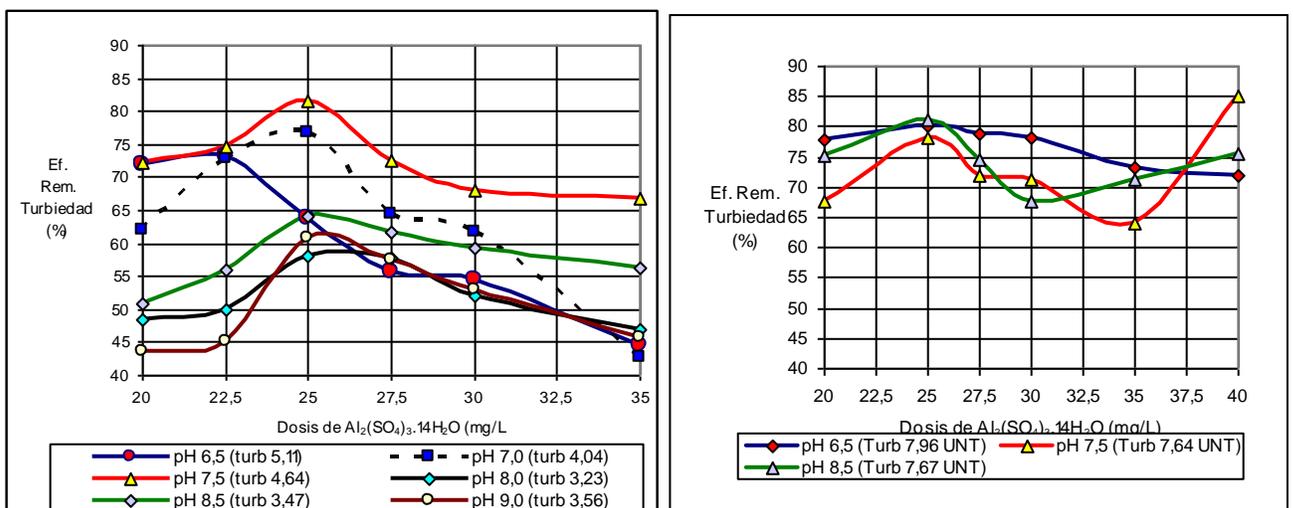
La Figura 17a muestra claramente que para niveles bajos de color (< 20 UPtCo) se logra remoción total de color en casi todas las soluciones madre de coagulante, excepto para las de 5 y 7%, aunque generen eficiencias de remoción por encima del 80%, en el rango de dosis seleccionado. Cabe destacar que para la dosis óptima determinada, todas las soluciones madre generan remoción total de color. Para niveles medios de color (Figura 17b) se observa que las eficiencias superan el 80 % de remoción para las soluciones madre de 1, 5, 7 y 10%.

Al comparar las eficiencias de remoción tanto de turbiedad como de color, para las dos calidades de agua cruda de la mezcla, se determina que la solución madre óptima de coagulante corresponde a la de 10%, sin embargo, para efectos del estudio, solo se trabajó esta para una calidad de agua cruda de mezcla: para niveles bajos de turbiedad y color, esto porque se tomaron dos periodos climáticos y se trabajaron las dos calidades de agua cruda de manera independiente.

Para niveles medios de turbiedad y color, se trabajó con una solución madre óptima de 7%, ya que presentó una mejor estabilidad en la tendencia de la remoción de los parámetros turbiedad y color.

#### 4.4.1.3 pH de coagulación

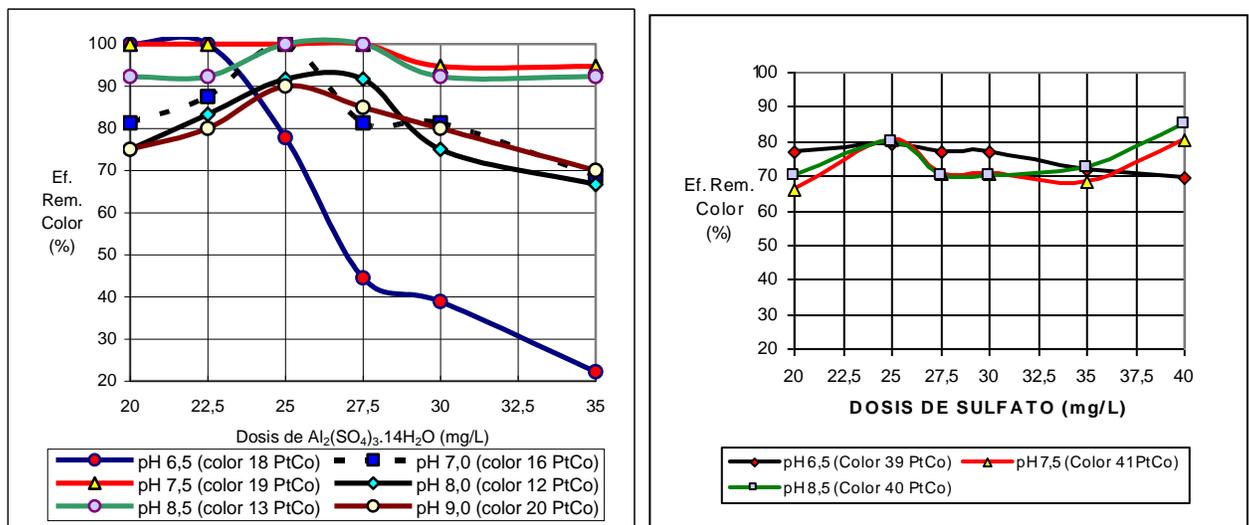
En la Figuras siguientes (18a y 18b) se presentan los resultados de la determinación del pH óptimo de coagulación con respecto a los parámetros de turbiedad y color respectivamente, para las dos calidades de agua cruda de la mezcla.



a) b)  
**Figura 18.** Determinación del pH óptimo de coagulación para niveles bajos (a) y medios (b) de Turbiedad para la mezcla río Quilichao – río Mondomo

En la figura 18a se observa claramente que la curva que presenta mejor comportamiento y mayor eficiencia de remoción de turbiedad es la de pH 7.5 a lo largo del rango de dosificación seleccionado, logrando su máxima eficiencia en una dosis de 25 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ ; este resultado es justificable mediante los diagramas de coagulación de Amirtharajah. (Figura 25), en donde se observa claramente que tanto la dosis óptima como el pH de coagulación óptimo se encuentran en la zona de coagulación por barrido, zona en la cual para efectos de operación es mucho más fácil trabajar, debido a que no se requiere un control estricto del pH.

Para niveles medios de turbiedad (Figura 18b) se observa que la curva que tiene mejor rendimiento es la de pH 6.5 para el rango de dosis seleccionado, generando la máxima eficiencia en la dosis óptima determinada. Cabe señalar que todas las curvas de pH generan la máxima eficiencia en este punto, siendo superior al 75% de remoción.



a) b)  
**Figura 19.** Determinación del pH óptimo de coagulación para niveles bajos (a) y medios (b) de Color para la mezcla río Quilichao – río Mondomo

Para niveles bajos de color (Figura 19a) se aprecia que se conserva la tendencia de la curva de pH 7.5, siendo la de mejor comportamiento, logrando una remoción

del 100% de color en un rango de dosis comprendido entre 20 y 27.5 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ . A partir de esta dosis, se observa una disminución gradual en la eficiencia de remoción de color para todas las curvas de pH.

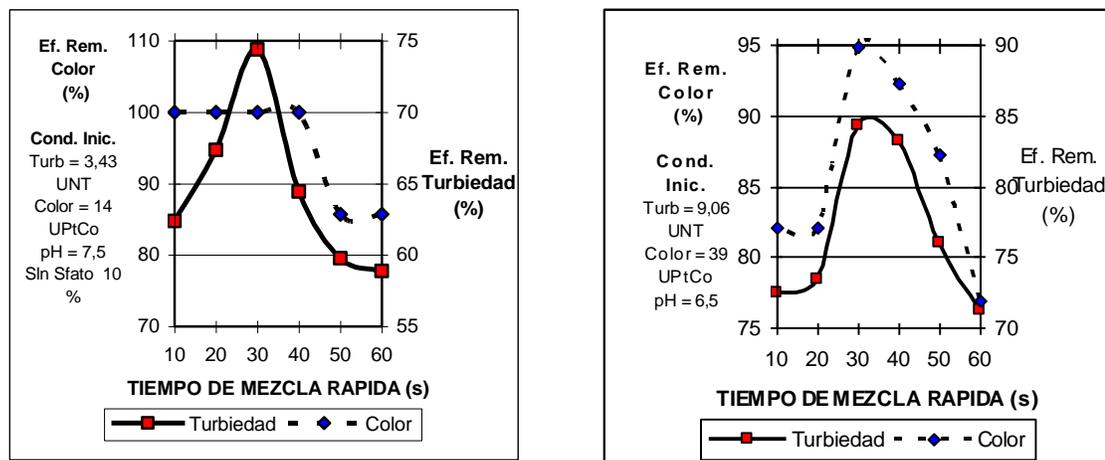
Con relación a la Figura 19b, se presenta un comportamiento uniforme de las curvas de pH's, siendo la eficiencia de remoción de color superior al 60% en el rango de dosis evaluado.

Por consiguiente para niveles bajos de turbiedad y color se podría trabajar a escala real con un rango óptimo de pH de coagulación comprendido entre 7.0 y 7.5; mientras que para niveles medios de turbiedad y color todos los pH's evaluados presentan un comportamiento aceptable, por tanto podrían ser trabajados indiferentemente sin disminuir considerablemente su eficiencia.

Sin embargo, para el desarrollo del estudio se trabajó con un pH óptimo de coagulación de 7.5 para las dos calidades de agua cruda, debido a que no fue necesario realizar un ajuste de pH, ya que el pH promedio del agua cruda que ingresa a la planta se encuentra cercano a este valor (Tabla 5)

#### 4.4.1.4 Tiempo de mezcla rápida.

Los resultados de la determinación del tiempo de mezcla se presentan en la Figura 20 para niveles bajos (a) y medios (b) de turbiedad y color respectivamente.



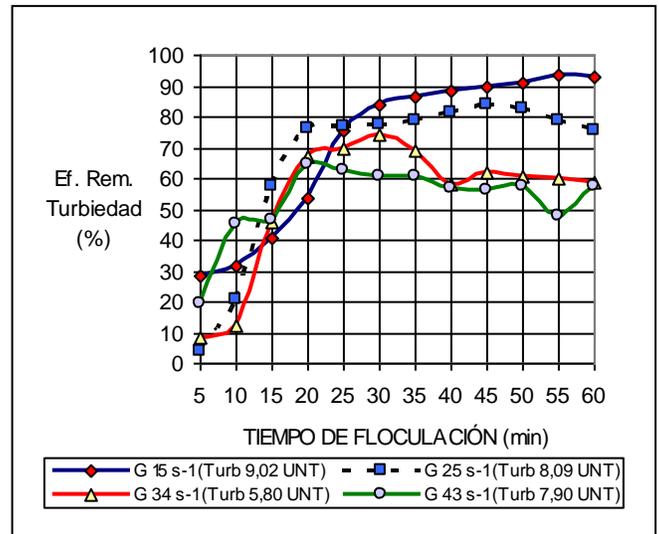
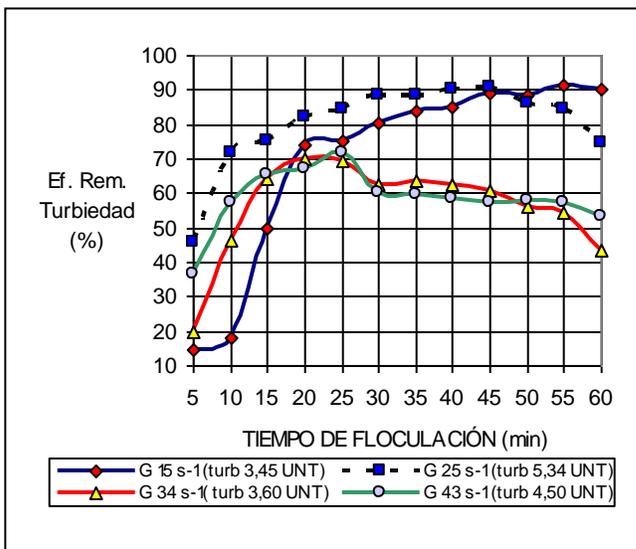
a) b) **Figura 20.** Determinación del tiempo óptimo de mezcla rápida para niveles bajos (a) y medios (b) de turbiedad v Color para la mezcla río Quilichao – río Mondomo

Al observar en detalle la Figura 20 se aprecia que el tiempo óptimo de mezcla rápida es de 30 segundos para las dos calidades de agua cruda de la mezcla, ya que generan las máximas eficiencias de remoción de turbiedad y color.

#### 4.4.2 Proceso de Floculación.

Aquí se incluyen los resultados obtenidos de la determinación del tiempo óptimo de floculación y de los gradientes de mezcla lenta para la mezcla del río Quilichao – Mondomo en proporción 50 - 50%.

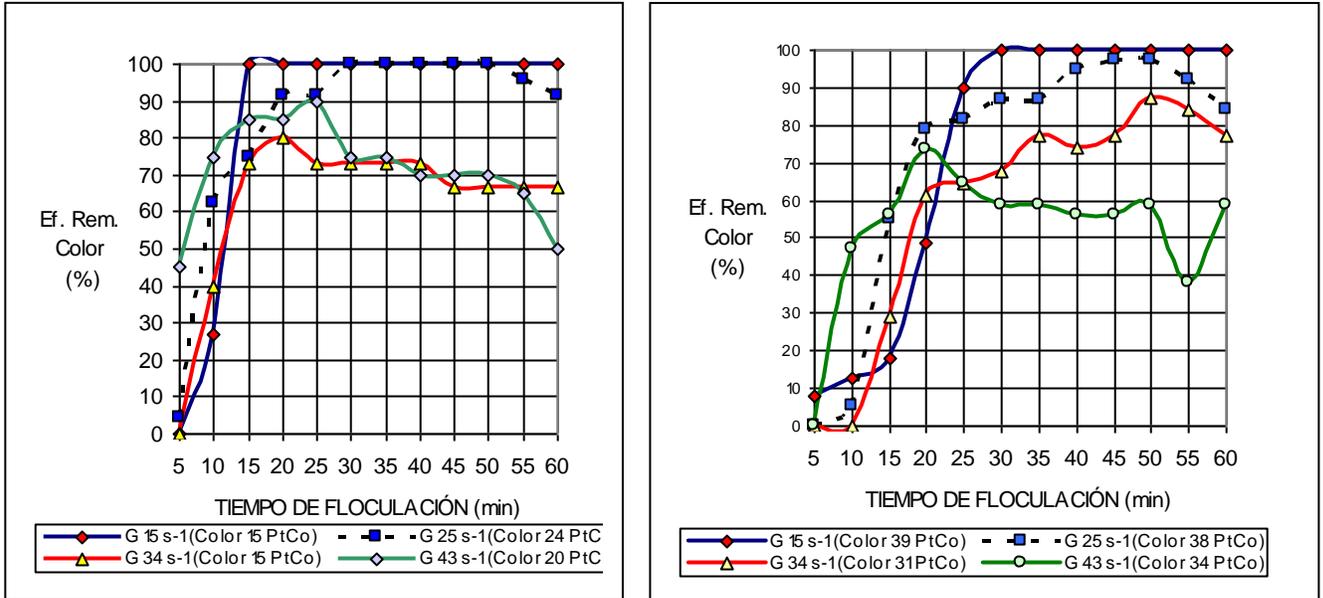
En las figuras 21 y 22 se grafican los valores obtenidos para los parámetros turbiedad y color en un rango de tiempos de floculación comprendido entre 5 y 60 minutos para los diferentes gradientes de mezcla lenta, los cuales se encuentran entre 15 y 43 s<sup>-1</sup>.



a) b)  
**Figura 21.** Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para niveles bajos (a) y medios (b) de Turbiedad. Mezcla río Quilichao – río Mondomo

En la Figura 21 se observa claramente que las curvas que presentan el mejor comportamiento con respecto a la remoción de turbiedad son las de gradiente de velocidad de 25 y 15 s<sup>-1</sup>, para los tiempos de floculación estudiados. Se aprecia

que a partir del tiempo de 20 minutos se logra una buena eficiencia de remoción, siendo mayor para tiempos de floculación cercanos a 30 minutos.



a) b) **Figura 22.** Determinación del gradiente y tiempo óptimo de floculación para niveles bajos (a) y medios (b) de Color. Mezcla río Quilichao – río Mondomo

De acuerdo a la Figura 22a se tiene que para niveles bajos color, los gradientes bajos ( $15$  y  $25\text{s}^{-1}$ ) son los que presentan las mayores eficiencias de remoción de color, superando el 90% a partir de un tiempo de floculación de 20 minutos.

Para niveles medios de color (Figura 22b) se logran eficiencias de remoción superiores al 80% para los gradientes de  $15$  y  $25\text{s}^{-1}$  a partir de un tiempo de floculación de 25 minutos.

Las figuras 21 y 22 muestran claramente que los parámetros óptimos de floculación tales como tiempo y gradiente de velocidad para las dos calidades de agua cruda de la mezcla corresponden a tiempos comprendidos entre 20 y 25 minutos y gradientes de  $15$  y  $25\text{s}^{-1}$ , en donde se generan las mayores eficiencias de remoción tanto de color como de turbiedad.

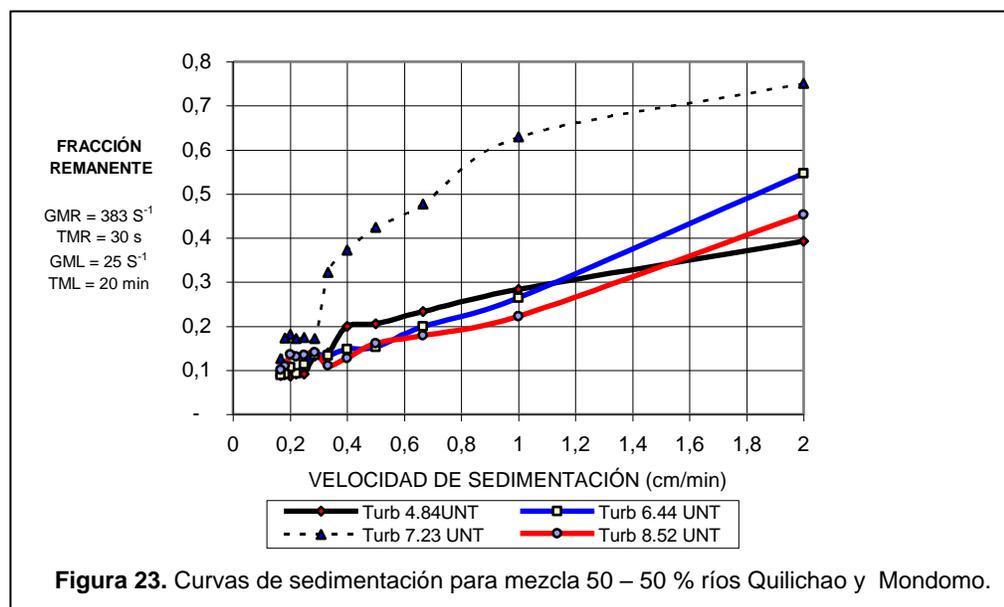
RAS 2000 y Di Bernardo 1993 recomiendan un tiempo de floculación mínimo de 20 minutos, por tanto para efectos del estudio y según los resultados obtenidos

se adoptó este como tiempo óptimo de floculación debido a su buen comportamiento en cuanto a remoción tanto de color como turbiedad con cada uno de los gradientes evaluados. Además al compararlo con el tiempo de floculación igual a 25 minutos se observa que las diferencias en cuanto a eficiencias de remoción no son muy significativas, por ende al adoptar este valor se podría aumentar la capacidad nominal de la planta sin que se vea afectada la eficiencia del sistema.

En cuanto al gradiente óptimo de floculación determinado, para el desarrollo del estudio y de acuerdo al tiempo óptimo de floculación adoptado, se trabajó con un gradiente de velocidad de  $25\text{s}^{-1}$ , por presentar las mayores eficiencias de remoción de color y turbiedad, siendo superiores al 75% para las dos calidades de agua cruda de la mezcla.

#### 4.4.3 Proceso de Sedimentación.

A continuación se presentan los resultados del proceso de sedimentación de la mezcla de río Quilichao – río Mondomo en proporción 50 – 50% para distintas turbiedades de agua cruda.



La Figura 23 muestra una tendencia similar en casi todas las curvas, excepto, en la curva con turbiedad 7.23 UNT, la cual presenta un comportamiento no uniforme en su tendencia, fenómeno que no se podría explicar debido a que se desconocen sus causas.

A continuación se presentan los resultados generales de cada una de las pruebas de sedimentabilidad, en donde se muestran distintas velocidades de sedimentación crítica para una eficiencia del 95%.

**Tabla 10.** Velocidades de sedimentación crítica con diferentes turbiedades del agua cruda para eficiencias de remoción del 95% para la mezcla río Mondomo – río Quilichao

Turbiedad del agua cruda (UNT)	Velocidad de Sedimentación crítica. Vsc (cm/min)	Fracción Remanente	Turbiedad del agua decantada (UNT)	Eficiencia de Remoción (%)
4.84	0.18	0.09	0.24	95.0
6.44	0.20	0.10	0.32	95.0
(*) 7.23	0.12	0.10	0.36	95.0
8.52	0.20	0.10	0.43	95.0

Se puede observar en la Tabla 10 que para una misma eficiencia de remoción (95%), la Vsc se mantiene constante. Esto básicamente es debido a que la turbiedad es baja y no sufre mayores alteraciones.

Las eficiencias de remoción que se pueden obtener con las curvas de sedimentación con relación a la velocidad crítica de sedimentación teórica de la planta “El Arroyo” se presentan a continuación:

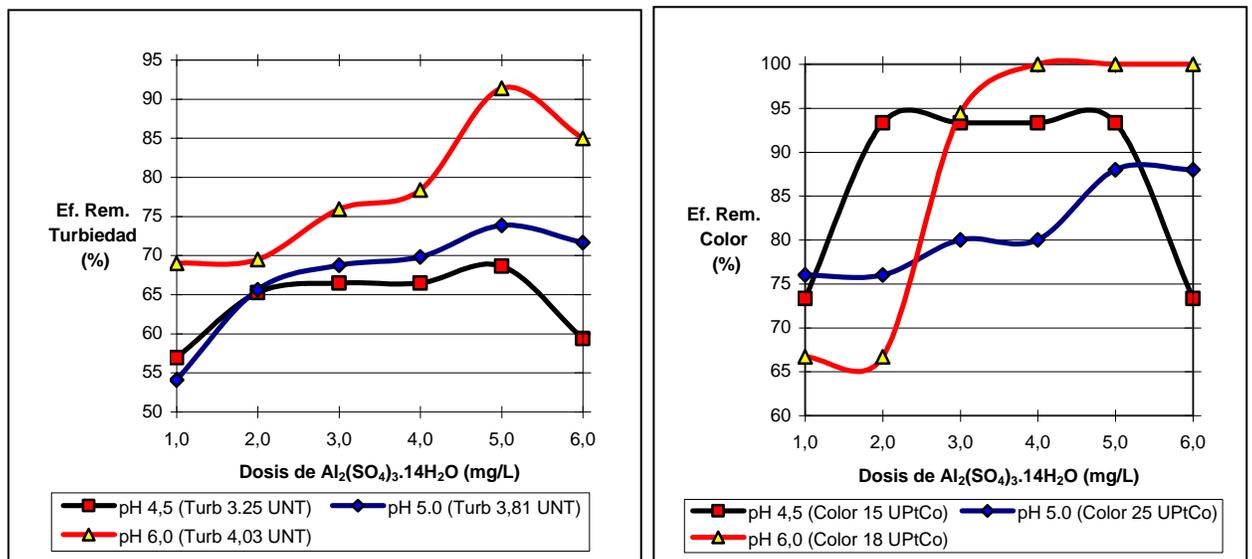
**Tabla 11.** Eficiencias de remoción para diferentes turbiedades de agua cruda de mezcla con la velocidad de sedimentación crítica teórica de la planta “El Arroyo”

Turbiedad del agua cruda (UNT)	Velocidad de Sedimentación crítica. Vsc (cm/min)	Fracción Remanente	Turbiedad del agua decantada (UNT)	Eficiencia de Remoción (%)
4.84	0.88	0.27	0.45	90.6
6.44	0.88	0.24	0.93	85.5
(*) 7.23	0.88	0.60	2.52	65.1
8.52	0.88	0.20	1.15	86.5

De acuerdo a la Tabla anterior se aprecia que para los distintos niveles de turbiedad se obtienen eficiencias de remoción de turbiedad superiores al 85% para la  $V_{sc}$  teórica determinada para la planta, con excepción del punto (\*) el cual presenta un comportamiento atípico desconocido. Además con esta velocidad de sedimentación se generan turbiedades remanentes muy baja las cuales pueden ser tratadas fácilmente por las unidades de filtración rápida.

#### 4.4.4 Proceso filtración directa

La Figura 24 contiene información sobre las dosis y el pH en pruebas de filtración directa realizadas a la mezcla de las fuentes río Quilichao – río Mondomo en proporción 50 -50% para distintos pH's de coagulación. En la Figura 24a se muestran las diferentes pruebas con relación al parámetro turbiedad y en la 24b para el parámetro color.



a) b)  
**Figura 24.** Determinación del pH óptimo de coagulación para los parámetros de Turbiedad (a) y Color (b) para la mezcla río Mondomo – río Quilichao

Con relación al parámetro turbiedad (Figura 24a) se observa una mejor tendencia de la curva de pH 6.0, la cual presenta eficiencias de remoción superiores al 65% para el rango de dosis de coagulante seleccionado, con un máximo del 91.4% para una dosis de 5 mg/L de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ .

Para el caso del parámetro color (Figura 24b) se conserva una tendencia de la curva de pH 6.0 para dosis superiores a 3.0 mg/L de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ , aunque la curva de pH 4.5 presenta un comportamiento estable en un rango de dosis comprendido entre 2 y 5 mg/L de coagulante.

De acuerdo a la Figura 24, se determina que el pH óptimo de coagulación corresponde a 6.0 para una dosis óptima de 5 mg/L de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ , la cual genera una eficiencia de remoción de turbiedad del 91.4% y de color del 100%. Al comparar estos resultados con el diagrama de coagulación, se observa que para este pH (6.0) y esta dosis (5mg/L) se encuentra cerca de esta región óptima para coagulación por neutralización de cargas, tal como se aprecia en la Figura 25. Este mecanismo de coagulación es recomendado por Di Bernardo (1989) para su aplicación en procesos de tratamiento con filtración directa.

#### **4.5 Discusión General de Resultados**

A continuación se presenta una discusión global de los resultados obtenidos a lo largo del estudio, los cuales fueron analizados de manera general, con el fin de evitar repeticiones en cada una de las fuentes estudiadas. Aquí serán generalizados los resultados de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración directa.

Con relación a la determinación de la solución madre óptima de coagulante las tres fuentes estudiadas presentaron resultados no muy variables. Para la fuente

río Quilichao, la solución madre que genera mejores resultados es la de 5%, que además de ser usada generalmente en planta, es fácil de dosificar y sus características se conservan con el tiempo; para la fuente río Mondomo, la solución determinada es de 1% (v/v), aunque presenta facilidades en su dosificación (los volúmenes a utilizar son fáciles de manejar), su inconveniente radica en su baja concentración, ya que se podría hidrolizar muy rápidamente, lo cual dificulta su utilización en Planta. Por tanto es recomendable para esta fuente usar una solución que presente un funcionamiento similar en su tendencia, que en las pruebas realizadas corresponde a la del 7% (v/v).

En cuanto a la mezcla realizada con las dos fuentes (Quilichao y Mondomo) para el periodo climático seco, la solución con el mejor comportamiento es la de 10% (v/v); aunque para efectos del estudio se trabajó con esta solución, se obtuvo una buena tendencia en cuanto a la eficiencia de remoción de turbiedad y color con la solución del 7% (v/v), si bien dicha eficiencia está por debajo de la de 10%, genera valores de turbiedad residual menores a 3 UNT con lo cual se garantiza un buen funcionamiento de las unidades de filtración, facilitando su operación y mantenimiento (Arboleda, 2000). Para el periodo lluvioso, que se esperaba encontrar turbiedades altas en la fuente río Mondomo, se presentaron únicamente niveles considerables de color, el cual fue el ítem a tener en cuenta en la selección de la solución madre óptima, la cual correspondió a la de 7% (v/v). Estos niveles de color podrían haber sido ocasionados por la presencia de sustancias húmicas que son los compuestos responsables del color (Christman y Ghassemi 1961, Citado por Arboleda 2000).

Sugerir una solución cuya concentración se mantenga estable con el tiempo, es de vital importancia para la operación y mantenimiento de la planta, debido a que concentración de la solución de coagulante influye en la eficiencia de la mezcla rápida y puede cambiar los resultados de la coagulación. (Arboleda, 2000). Por tanto la solución de coagulante recomendada para el tratamiento del río Quilichao

es la de 5%, para las fuentes río Mondomo y mezcla Quilichao - Mondomo, se recomienda el uso de una solución del 7% (v/v) de concentración.

Para la determinación de la dosis óptima se consideró aquella dosis que presentara menor turbiedad y color aparente después del proceso de sedimentación.

Como se aprecia a lo largo del estudio, el rango óptimo de dosis determinado para cada una de las fuentes con referencia a los niveles bajos turbiedad y color presenta una tendencia similar, por tanto se sugiere emplear a escala real un rango de dosis comprendido entre 20 y 30 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  para estas calidades de agua cruda, con lo cual se facilitarían enormemente las labores de operación y mantenimiento. 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.

Con respecto a los rangos de pH's óptimos de coagulación determinados en el estudio, se observa que para un rango de pH's comprendido entre 7.0 y 8.0 se presenta una tendencia muy similar en el comportamiento con relación a las eficiencias de remoción de turbiedad y color. En este rango se generan las mayores eficiencias de remoción en cada una de las fuentes. Por tanto se sugiere como rango óptimo de pH's de coagulación para las tres fuentes evaluadas. Además al compararlo con el diagrama de coagulación, se ubica dentro de la zona de coagulación de barrido, tal como se aprecia en la siguiente Figura:



y el mismo tiempo óptimo de floculación (20 minutos) para las fuentes Quilichao y Mezcla siendo un poco mayor para la fuente Mondomo (30 minutos); sin embargo, si se considera para esta fuente el tiempo de 20 minutos y el gradiente de  $25 \text{ s}^{-1}$ , la eficiencia de remoción alcanza un valor del 100% para color y 80% para turbiedad (Figura 6), con lo cual se generan turbiedades residuales del orden de 1 UNT, lo cual facilita la operación del sistema de filtración. Además como ya se mencionó, estos valores óptimos determinados están comprendidos en el rango estipulado por el reglamento técnico nacional Colombiano para agua potable (RAS 2000), para floculadores tipo Alabama, lo que contribuye en planta a un óptimo funcionamiento de los floculadores.

Por otra parte las curvas de sedimentabilidad generadas para las fuentes Quilichao y Mondomo presentan un comportamiento poco variable en su tendencia, con velocidades críticas de sedimentación que aumentan proporcionalmente con las turbiedades de agua cruda para eficiencias de remoción iguales (95%). Para la mezcla de las fuentes río Quilichao – Mondomo, si bien el comportamiento es similar, presenta una tendencia un poco más estable debido a que la variabilidad de las turbiedades de agua cruda no es significativa.

Como se aprecia a lo largo de estudio, las turbiedades residuales generadas para las diferentes calidades de agua cruda en cada una de las fuentes evaluadas no superan las cinco unidades nefelométricas. En el Anexo 4.4 se aprecia que las eficiencias mínimas de remoción de turbiedad – logradas con  $V_{sc}$  de  $2.0 \text{ cm/min}$  - según los estudios de tratabilidad de cada una de las fuentes generan turbiedades residuales que están por debajo de 5 UNT, con lo cual se garantiza un buen efluente para el trabajo sin inconvenientes de los filtros rápidos. Sin embargo, es importante resaltar que con turbiedades de agua cruda mayores a las reportadas en el estudio podrían presentarse turbiedades residuales al final del proceso de sedimentación superior a las 5 UNT, lo que podría ocasionar problemas de funcionamiento en las unidades de filtración. Por tanto, es recomendable operar

las unidades de sedimentación con velocidades de sedimentación inferiores a 2.0 cm/min. Yao (1972) sugiere un factor de correlación de 2 como medida de seguridad, esto es dividiendo por dos la velocidad crítica de sedimentación obtenida en las pruebas de jarras; por tanto, al dividirla por este factor, se consiguen velocidades críticas de sedimentación por debajo de 1 cm/min, lo cual se aproxima a la teórica obtenida en planta (0.88 cm/min) con la que se generan altas eficiencias remoción de turbiedad.

Con relación a los niveles de turbiedad residual obtenidos para cada una de las fuentes, se aprecia que para turbiedades por debajo de 5 UNT la eficiencia de remoción es baja, por tanto el proceso de sedimentación para esta calidad de agua podría omitirse, ya que la mejora del afluente teniendo la turbiedad como parámetro no es significativa. Por tanto como alternativa se podría sugerir el proceso de filtración directa, aplicado solamente cuando la turbiedad del agua cruda este por debajo de 5 UNT, lo cual ocurre, normalmente, durante el periodo de baja pluviosidad.

Para filtración directa, al generalizar los resultados se observa una tendencia similar en el comportamiento de las curvas para las fuentes estudiadas. Es importante señalar que tanto para la fuente del río Quilichao, como para la mezcla río Mondomo –río Quilichao, se puede sugerir un rango óptimo de dosis de coagulante comprendido entre 2 y 5 mg/L de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ , con el cual se generan las mayores eficiencias de remoción de turbiedad y color.

Es importante señalar que para la implementación del proceso de filtración directa se debe tener en cuenta que en redes de abastecimiento público, se deben realizar pequeños ajustes en la dosificación, ya que el agua filtrada en cámara de arena presenta turbiedades inferiores que aquellas obtenidas con papel filtro en el laboratorio; por ende se pueden recomendar el uso de dosis más bajas, siempre y cuando el operador esté pendiente de las pequeñas modificaciones del agua

cruda, además de no exceder la dosis de coagulante, ya que con la más mínima variación se puede alterar todo el proceso de filtración directa. (Di Bernardo, 1989).

En cuanto al pH óptimo de coagulación determinado, se recomienda para el empleo de filtración directa el pH de 6.0 para una dosis de 5.0 mg/L de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$  de acuerdo con las calidades de agua cruda de las fuentes estudiadas; inclusive se podrían usar pH's más bajos con menores dosis coagulante, sin embargo para facilitar la operación del sistema solo se recomienda usar el pH de 6.0, con el fin de garantizar una óptima coagulación por adsorción – neutralización. (Figura 25)

## 5. COMPARACION CON DATOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA “EL ARROYO”

Dentro de los objetivos a desarrollar a lo largo del estudio, y enfatizando en la comparación entre los resultados de los estudios de tratabilidad obtenidos para las fuentes analizadas y los parámetros óptimos de diseño determinados para el sistema de tratamiento, se realizaron una serie de mediciones a los diferentes componentes de la planta de tratamiento “El Arroyo” - tales como canaleta Parshall, floculadores y sedimentadores -, con el fin de estimar un funcionamiento teórico del sistema en función del caudal de entrada a la planta.

A continuación se presentan estos resultados teóricos obtenidos referentes al proceso de floculación.

### 5.1 Determinación de gradientes y tiempos teóricos de mezcla lenta.

Se determinó el gradiente y el tiempo teórico de floculación general de la planta “El Arroyo” de acuerdo a las dimensiones del floculador y del caudal de entrada, que se presentó durante el estudio, el cual se estimó en 180 L / s. Además se determinaron los gradientes de velocidad y tiempos de floculación para cada una de las cámaras que componen el floculador.

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos de la determinación del gradiente y tiempo teóricos de floculación para la planta de tratamiento “El Arroyo” y en el Anexo 4.1 se presentan los cálculos detallados de su estimación.

Tabla 12. Parámetros de funcionamiento teórico del floculador de la planta de tratamiento “El Arroyo”.

<b>Caudal total de entrada (L/s)</b>	<b>Caudal de entrada al floculador N°1 (L/s)</b>	<b>Volumen total del floculador N° 1 (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo de detención (min)</b>	<b>Gradiente de floculación (s<sup>-1</sup>)</b>
180	90	143.33	26.55	25.11

Al comparar el gradiente de floculación teórico determinado para la planta “El Arroyo” que corresponde a  $25.11 \text{ s}^{-1}$ , con el óptimo obtenido en el estudio de tratabilidad ( $25 \text{ s}^{-1}$ ), se observa que son casi los mismos, lo que indica que el floculador se encuentra dentro de los parámetros óptimos de diseño para cada una de las fuentes evaluadas, por tanto las modificaciones con relación a este parámetro no serían necesarias, ya que presentaría un óptimo funcionamiento.

Al comparar el tiempo óptimo de floculación obtenido en el estudio de tratabilidad (20 minutos), con el teórico determinado en la planta “El Arroyo” (27 minutos), se aprecia que para el determinado en planta se podrían obtener eficiencias de remoción de color y turbiedad superiores a las obtenidas con el tiempo estimado en el estudio de tratabilidad, si bien las eficiencias de remoción determinadas para este último para cada una de las fuentes son relativamente altas, se podría sugerir un aumento en la capacidad neta de la planta, lo que contribuiría a mejorar el déficit de cobertura del servicio de agua potable en el Municipio de Santander de Quilichao.

A continuación (Tabla 13) se muestran los resultados obtenidos para cada una de las cámaras del floculador.

Tabla 13. Parámetros de funcionamiento teórico para cada una de las cámaras del floculador de la planta de tratamiento “El Arroyo”.

Parámetro Cámara	Volumen cámara (m <sup>3</sup> )	Tiempo de detención (min)	Gradiente de floculación (s <sup>-1</sup> )	Caudal de entrada (L/s)	Caudal de entrada al floculador (L/s)
1	18.49	3.425	30.92	180	90
2	18.00	3.333	29.54		
3	18.34	3.396	21.95		
4	15.46	2.863	33.81		
5	16.15	2.990	22.12		
6	13.89	2.572	18.81		
7	16.04	2.970	17.50		
8	13.68	2.533	26.79		
9	13.28	2.460	14.89		

Según lo apreciado en la Tabla 13, se observa una disminución de los gradientes de floculación en casi todas las cámaras a lo largo de unidad del floculador, con excepción de las cámaras 4 y 8, las cuales presentan un comportamiento no uniforme en su tendencia, ya que generan un gradiente de velocidad relativamente alto, lo que podría ocasionar un rompimiento del floc lo que causaría disminuciones en la eficiencia del proceso. Por tanto es recomendable realizar un ajuste en estas cámaras - ya que las dimensiones expuestas en el Anexo 1.3 difieren de las realizadas en campo el día 16/06/2006 (Anexo 4.1) - con el fin de garantizar que el gradiente disminuya a lo largo del floculador , tal como lo enuncia Camp (1953), Bratby (1981) y Di Bernardo (1993) que hacen referencia a la posibilidad de mejorar la calidad del agua sedimentada cuando la floculación es realizada con gradientes de velocidad decrecientes a lo largo del tiempo, debido a que presenta mejores resultados en términos de remoción de turbiedad al compararla con floculación con gradiente constante.

## **5.2 Determinación de la velocidad crítica de sedimentación.**

Para determinar teóricamente la velocidad crítica de sedimentación fue necesario conocer de antemano las dimensiones generales del sedimentador (área superficial, número de placas, y dimensiones de cada placa) y el caudal de entrada a este.

Una vez conocidas estas dimensiones, se determinó que la velocidad crítica teórica del sedimentador corresponde a 0.88 cm/min, que según las curvas de sedimentación obtenidas para las tres calidades de agua, genera aceptables eficiencias de remoción de turbiedad (>65%) para cada una de las fuentes evaluadas. Al traducir estas eficiencias de remoción, en términos de turbiedad residual, se observa que para cada una de las calidades de agua cruda evaluadas, los niveles de turbiedad son inferiores a 3 UNT, que es un nivel recomendable a la salida un sedimentador (Arboleda, 2000).

### 5.3 Carga superficial del sedimentador.

La carga superficial del sedimentador de la planta de tratamiento “El Arroyo” se estimó en  $123.27 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{día})$  tal como se presenta en el Anexo 4.5. Este valor se encuentra dentro de las recomendaciones realizadas por Arboleda (2000.) y RAS 2000, los cuales recomiendan que para sedimentadores de alta tasa de placas angostas, la carga superficial debe estar comprendida entre  $120$  y  $185 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{día})$ .

### 5.4 Perspectivas de Funcionamiento

A continuación se presenta un estimativo del comportamiento hidráulico del floculador y el sedimentador con relación al gradiente de floculación y a la velocidad crítica teórica de sedimentación para un aumento en la capacidad neta de la planta de tratamiento “El Arroyo”:

**Tabla 14.** Proyecciones para el funcionamiento teórico del floculador y sedimentador de la planta de tratamiento “El Arroyo”.

<b>Caudal entrada (L/s)</b>	<b>Gradiente de Floculación (<math>\text{s}^{-1}</math>)</b>	<b>Vsc (cm/min)</b>
150	21,9	0,70
155	22,4	0,73
160	23,0	0,76
165	23,5	0,79
170	24,1	0,82
175	24,6	0,85
180	25,1	0,88
185	25,6	0,91
190	26,1	0,95
195	26,7	0,98
200	27,2	1,01
205	27,7	1,04
210	28,2	1,08
215	28,7	1,11
220	29,2	1,15
225	29,7	1,18
230	30,2	1,22
235	30,7	1,25
240	31,2	1,29
245	31,6	1,33
250	32,1	1,37

Como se aprecia en la Tabla 14, se presenta un rango de gradientes comprendido entre 21.9 y 32.1 s<sup>-1</sup>, que al compararlo con los resultados del estudio de tratabilidad para cada una de las fuentes se generan buenas eficiencias, lo cual indica que el floculador está en capacidad de soportar un aumento de caudal sin que se altere significativamente la eficiencia del proceso. En cuanto a la velocidades de sedimentación proyectadas no habrían mayores problemas de operación en el sistema de sedimentación, ya que la velocidad de sedimentación crítica obtenida con un caudal de 250 L/s es de 1.37 cm/min, la cual presenta unas muy buenas eficiencias de remoción de turbiedad y se encuentra dentro de las recomendaciones elaboradas en el presente estudio.

En síntesis general, la planta en las condiciones actuales podría operar con un caudal de 250 L/s en los procesos de floculación y sedimentación; sin embargo, el parámetro a tener en cuenta es si los filtros rápidos son capaces de soportar este aumento de caudal sin que su operación y mantenimiento se vea afectado. Por ello, es recomendable evaluar la capacidad de los filtros antes de aumentar el caudal a tratar por la planta.

De acuerdo a los resultados obtenidos a lo largo del estudio, la planta de tratamiento “El Arroyo” podría trabajar con dos modalidades distintas para todas las fuentes evaluadas: la primera con el proceso de filtración directa llevando el agua floculada directamente a los filtros rápidos sin pasar por los sedimentadores, cuando ingresa la llamada “agua blanca” que contiene niveles de turbiedad inferiores a 5 UNT, y que aparece en el periodo seco o de baja pluviosidad; la segunda con tratamiento completo, cuando aparece niveles de turbiedad alta (mayor a 5 UNT).

## CONCLUSIONES

- De acuerdo al estudio de tratabilidad efectuado para cada una de las fuentes, se puede concluir que se presenta una similitud en los parámetros de tratabilidad, ya que los resultados obtenidos evidencian una buena aproximación. Por tanto, es importante señalar que no se van a presentar mayores problemas a la hora de implementar como abastecimiento cualquiera de las fuentes, ya que los ajustes que a realizar para su óptimo funcionamiento en planta serían mínimos.
- Debido a las características de cada una de las fuentes y a la poca variabilidad de las mismas, para niveles bajos de turbiedad y color, a escala real se podría trabajar con un rango óptimo de dosis comprendido entre 20 y 30 mg/L de coagulante para cada una de las fuentes.
- Cuando se presentan niveles medios y altos de turbiedad y color es necesario realizar la determinación de la dosis óptima de coagulante de manera periódica, ya que en estos casos, la variabilidad del agua cruda es un factor limitante a la hora de recomendar el uso de una dosis óptima.
- Los resultados obtenidos en el estudio de tratabilidad para cada una de las fuentes con relación al proceso de floculación, presentan una gran similitud comparándolos con el funcionamiento teórico del floculador. Al comparar el gradiente de floculación teórico determinado para la planta “El Arroyo” que corresponde a  $24s^{-1}$ , con el óptimo obtenido en el estudio de tratabilidad ( $25s^{-1}$ ), se observa que el floculador se encuentra dentro de los parámetros óptimos de diseño para cada una de las fuentes evaluadas, por tanto las modificaciones con relación a este parámetro no serían necesarias, ya que presentaría un buen funcionamiento.

- En el estudio se reportan muy buenas eficiencias de remoción de color y turbiedad para un tiempo de floculación de 30 minutos, el cual esta muy cercano al tiempo de floculación teórico de la planta (27 min); por ello es de esperar que se presenten eficiencias de remoción superiores a las reportadas en el presente estudio; si bien, para un tiempo de floculación de 20 minutos se obtienen eficiencias de remoción un poco menores que con 30 minutos, cabe la posibilidad de aumentar la capacidad nominal de la planta, mediante el uso del río Mondomo resolviendo el problema deficitario y de cubrimiento que enfrentan la población actualmente.
- Es factible la implementación a escala real del proceso de filtración directa como proceso alternativo al tratamiento convencional de acuerdo a los resultados obtenidos en cada una de las fuentes evaluadas en el estudio, siempre y cuando las características del agua cruda sean las apropiadas para el proceso y se tenga un estricto control del mismo, es decir cuando las turbiedades sean menores del 5 UNT. Esto implicaría adecuaciones sobre el proceso de sedimentación el cual podría ser omitido, construyendo un canal de paso directo a los filtros rápidos, que en caso particular de la planta el Arroyo podría ser una adaptación al canal existente de agua decantada.
- El sedimentador de alta tasa presenta un comportamiento aceptable en cuanto a remoción de partículas, ya que los resultados de las curvas de sedimentabilidad superan el 70% en eficiencia de remoción de turbiedad para las calidades de agua cruda evaluadas.
- Cuando se efectuó tratamiento convencional no es necesario realizar ajustes de pH debido a que las características del agua cruda de cada una de las fuentes evaluadas presentan en promedio un pH óptimo de acuerdo a lo determinado en los estudios de tratabilidad en los cuales se recomienda un rango de pH's comprendido entre 7.0 y 8.0. Para el caso de filtración directa es

necesario realizar un ajuste de pH con el fin de reducirlo por debajo de 6.0 para garantizar que la coagulación se realice por neutralización de cargas.

- La capacidad nominal de la planta podría aumentarse hasta en 250 L/s sin que se presenten alteraciones significativas en las eficiencias de los procesos de floculación y sedimentación. Sin embargo, hay que tener en cuenta que no se ha realizado una evaluación general al proceso de filtración, el cual se podría ver afectado.
- No es necesario el uso de alcalinizante en el proceso de coagulación cuando la turbiedad se encuentra por debajo de 30 UNT, debido a que la alcalinidad presentada en el agua cruda en cada una de las fuentes es suficiente para reaccionar con el coagulante sin que se presenta una disminución significativa en el pH residual.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda dosificación continua de coagulante, ya que el agua cruda de las fuentes si bien puede presentar niveles bajos de turbiedad y color, el riesgo microbiológico debido a la contaminación puede ser significativo. Por tanto para este caso una buena alternativa de tratamiento podría ser la implementación del proceso de filtración directa realizando ajustes al los sedimentadores.
- Para dosis de coagulante mayores a 30 mg/L se recomienda el uso de alcalinizante. Sin embargo, hay que tener en cuenta la cantidad a dosificar, ya que en la actualidad en la planta se presentan serios problemas en esta parte; debido al desconocimiento total de las dosificaciones y de la preparación de las soluciones, lo que representa sobrecostos por el despilfarro del reactivo. Se recomienda dosificar por cada mg/L de coagulante 0.35 mg/L de CaO.
- Un aspecto que debe controlarse es el caudal de dosificación de coagulante, el cual podría estar generando sobredosis debido a que el sistema de bombeo parece estar entregando un mayor caudal que el supuesto. Por tanto se recomienda calibrar la bomba, o en lo posible cambiarla.
- Durante el estudio se observó una baja utilización del equipo de prueba de jarras para determinar las dosis óptimas, por parte de los operadores, por lo tanto se recomienda su uso frecuente (diario) lo que contribuiría a una enorme mejoría de las condiciones de funcionamiento de la planta.
- Se recomienda rediseñar y ajustar las cámaras 4 y 8 a fin de garantizar un gradiente decreciente a lo largo de la unidad de floculación a fin de obtener mejoras en las eficiencias del proceso ya que se evitaría un posible rompimiento del floc por el incremento del gradiente.

- Se presume que en el canal de recolección del agua floculada se presenta un estrangulamiento del flujo, lo cual podría romper el floc y disminuir la eficiencia del proceso. Se recomienda un reajuste a las dimensiones del canal de aproximación a fin que la velocidad en el disminuya y se optimice el proceso.
- Es recomendable realizar una evaluación del sulfato residual debido a los presuntos problemas de sobredosificación que en la actualidad se presentan.
- Se recomienda calibrar el medidor de caudal de agua cruda, ya que los caudales que se registran, no son los que realmente esta ingresando al sistema.
- Inmediatamente después del tanque de contacto de cloro, se recomienda implementar un sistema de alcalinización con el fin de realizar la respectiva corrección del pH
- Los rangos de dosificación recomendados en el estudio, tanto de coagulante como de alcalinizante están muy por debajo de los empleados en planta, por consiguiente recomendar su implementación representaría una disminución significativa en los costos de operación y mantenimiento de la planta.
- Dada que el proceso de coagulación por neutralización de cargas presenta la complejidad de mantener el pH por debajo de 6.0, es conveniente estudiar el tipo de insumos químicos que permita esta reducción sin generar grandes traumatismos en la operación del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABRAMOVICH, B; LURA, M.C; CARRERA, E; GILLI, M.I; HAYE, M.A; VAIRA S. (2004). Acción de distintos coagulantes para la eliminación de *Cryptosporidium* spp. en el proceso de potabilización del agua. Disponible en: [http://www.aam.org.ar/articulos\\_mas.php?revistaID=2&articuloID=35](http://www.aam.org.ar/articulos_mas.php?revistaID=2&articuloID=35)
- AMIRTHARAJAH, A., MILLS, K.M. Rapid mix design for mechanisms of alum coagulation. Journal AWWA, 74:210, (1982). Consultado en Seminario Nacional Sobre Coagulação e Filtração direta, parte II, 1989
- AMIRTHARAJAH, A., O'MELIA C.R., LETTERMAN, R.D. (1999). Chapter six, Coagulation and flocculation. Consultado en Letterman, R.D. (1999). Water quality and treatment a handbook of community water supplies.
- APHA (1998). Standard methods for the examination of water and waste water. American public health association. 20<sup>o</sup> edition.
- ARBOLEDA V, J (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Tercera edición. Tomos 1 y 2.
- CEPIS. (1973). Teoría, Diseño y Control de los procesos del agua de clarificación. Abril de 1973.
- CAMPOS, S.X; DI BERNARDO, L.; VIEIRA, E.M. (2005). Influência das características das substâncias húmicas na eficiência da coagulação com sulfato de alumínio. Eng. Sanit. Ambient. Vol.10 no.3 Rio de Janeiro July/Sept. 2005. Disponible en [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_pdf&pid=S1413-41522005000300003&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S1413-41522005000300003&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)

- DI BERNARDO, L (1993). Métodos e Técnicas de Tratamento de Agua. Voluemen I. Asociación Brasileira de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Río de Janeiro.
- DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L.(2005) Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. 1ed. São Carlos. Ed. Rima, 237p. 2002. Tomado de Influência das características das substâncias húmicas na eficiência da coagulação com sulfato de alumínio. Artigo Técnico. Rio de Janeiro July/Sept. 2005
- DI BERNARDO, L. DI BERNARDO, A. PÁDUA, V. L. (2000) Redução do tempo de floculação em função do escalonamento do gradiente de velocidade. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2000.
- DI BERNARDO, L., MENDES, C., GUIMARÃES, A. (1989) Coagulação – Floculação de águas com turbidez ou cor elevada. Parte I y II. Revista DAE, São Paulo, 47:150, (1987). Consultado en Seminario Nacional Sobre Coagulación e Filtração direta, parte I, (1989)
- EMQUILICHAO, E.S.P. (2005). Empresa de Servicios Públicos de Santander de Quilichao. Disponible en <http://www.emquilichao.gov.co/bsn/proyectos>
- FERREIRA, SIDNEY S., Y LAGE, F. A. (1996) Comportamento Químico do Alumínio e do Ferro em Meio Aquoso e implicacoes no Tratamento de Agua. En: Revista Técnica da SANEPAR Vol 6. No 6., Brasil. Citado por Torres L., P., et.al., 2005.
- GRIFFITH, J.D., WILLIAMS, R.G., Analysis at Phoenix, Ariz. J AWWA, Denver, Colorado. 64:825 – 830. December, 1972. Consultado en Di Bernardo, L. – Coagulação Floculação de águas com turbidez ou cor elevada. Parte II. 1989.

- HERNÁNDEZ MUÑOZ, A.(1992) Depuración de Aguas Residuales. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Segunda Edición. España. Citado por P, Torres 2005
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). (1993). Cauca: características geográficas. Santa Fe de Bogotá.
- KANG, Y CLEASBY (1995), Consultado en Letterman, R.D. (1999). Water quality and treatment a handbook of community water supplies.
- LETTERMAN, R.D. (1999). Water quality and treatment a handbook of community water supplies. Fifth edition.
- LOGSDON, G. S., CLEASBY, J. L. (1999). Chapter eight. Granular Bed and Precoat Filtration. Consultado en Letterman, R.D. (1999). Water quality and treatment a handbook of community water supplies.
- MALDONADO, V., (2005) Capítulo 7, Sedimentación. Disponible en <http://www.cepis.ops-ms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomoll/siete.pdf>.
- Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua potable y Saneamiento Básico – RAS. Santa fe de Bogotá.
- Ministerio de Salud de Colombia (1998). Decreto 475, Norma técnica de Calidad de Agua Potable.
- PÁDUA,.V. L., DI BERNARDO L. (2000) Método comparativo do tamanho dos flocos formados após coagulação com sulfato de alumínio e cloreto férrico. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental.

- RODRÍGUEZ M., G. (1997) Comparación de la Eficiencia de la Coagulación de Aguas Naturales Coloreadas de la Región Andina con Sulfato de Aluminio y Cloruro Féérico. Santiago de Cali: Universidad del Valle. Consultado en Torres L., P., et al., 2005.
- ROMERO, J. A. (1995) Acuípurificación. Diseño de Sistemas de Purificación de Aguas. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Seminario Nacional Sobre Coagulação e Filtração direta, (1989). Escola de Engenharia de Sao Carlos, Universidade de Sao Paulo. Tomo I y II.
- Tecnología CEPIS para el tratamiento de agua: estado actual. Adaptado del informe técnico de Ing. Lidia Canepa de Vargas, oficial en tratamiento de agua potable para consumo humano. Diciembre 1992. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt052.html>
- TORRES L, P.; PÉREZ V., A., ESCOBAR, J. C., BARRIOS, L. E., ACOSTA, C. E. (2005) Optimización del tratamiento primario Avanzado con diagramas de coagulación – Floculación del afluyente de la planta de Tratamiento de aguas residuales de Cañaveralejo. Escuela EIDENAR, Universidad del Valle - Cali, Colombia.
- YAO, K.M. Sedimentadores de alta rata. En: Memorias del Simposio sobre Nuevos Métodos de Tratamiento de Agua, Asunción, 1972. Lima, CEPIS, 1977, pp. 57-84. Tomado de Tecnología CEPIS para el tratamiento de agua. 1992
- WEF/ASCE. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. Fourth Edition. USA: 1998. Consultado en Torres L., P., et al., 2005.

## **ANEXOS**

## ANEXO 2. FICHAS TÉCNICAS DE REACTIVOS Y EQUIPOS UTILIZADOS

Ficha técnica del sulfato de aluminio líquido. ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ )

<b>Fórmula</b>	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
<b>Peso molecular</b>	594 g / mol
<b>Contenido de <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math> soluble</b>	8.3 %
<b>Contenido de <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math> libre</b>	0.1 %
<b>Contenido de <math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math></b>	0.03%
<b>Insolubles Totales</b>	0.1%
<b>Densidad</b>	1.3 g / mL

Ficha técnica de equipos

<b>EQUIPO</b>	<b>CASA MATRIZ</b>	<b>MODELO</b>
Floculador	Phipps & Bird	7790 - 400
Turbidímetro	Hach	2100 AN
Espectrofotómetro	Hach	DR / 2010
pH Meter	Schott Gerate	CG 820

### ANEXO 3. MODELO DE TABLA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO

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

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

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

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)

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

## ANEXO 4. REGISTRO DE DATOS

### ANEXO 4.1 ESTUDIOS REALIZADOS A LA FUENTE RÍO QUILCHAO

#### RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA SOLUCIÓN MADRE ÓPTIMA DE COAGULANTE CON NIVELES BAJOS DE TURBIEDAD Y COLOR

FECHA: 08/04/2006

HORA: 02:30 p.m

PRUEBA # 1. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 1%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
11,3	34,9	50,0	26,5	7,47	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	15,0	18,0	20,0	22,0	25,0	30,0	
Volumen Sulfato (mL)	2,30	2,60	3,10	3,40	3,80	4,60	
Turbiedad Residual (NTU)	3,10	2,50	1,30	1,00	2,60	2,70	
Color Residual (UPtCO)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
pH	7,10	7,08	7,05	6,96	6,94	6,78	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	72,6	77,9	88,5	91,2	77,0	76,1	
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100	

FECHA: 20/04/2006

HORA: 4:33 p.m

PRUEBA # 2. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
8,86	27,0	40,0	18,3	6,90	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	2	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	22,0	25,0	28,0	30,0	35,0	40,0
Volumen Sulfato (mL)	1,69	1,92	2,15	2,31	2,69	3,08
Turbiedad Residual (NTU)	3,11	1,91	1,43	1,80	3,14	7,70
Color Residual (UPtCO)	13,0	6,0	4,0	5,0	9,0	29,0
pH	6,33	6,25	6,16	6,11	5,93	5,82
Ef. Rem. Turbiedad (%)	64,9	78,4	83,9	79,7	64,6	13,1
Ef. Rem. Color(%)	67,5	85	90	87,5	77,5	27,5

FECHA: 08/04/2006

HORA: 4:10 p.m

PRUEBA # 3. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
15,5	28,1	57,0	28.4	7,20	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0
Volumen Sulfato (mL)	0,64	0,76	0,90	1,03	1,15	1,28
Turbiedad Residual (NTU)	2,80	2,70	2,70	1,80	1,60	1,30
Color Residual (UPtCO)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
pH	7,11	7,09	7,07	7,06	7,01	6,96
Ef. Rem. Turbiedad (%)	81,9	82,6	82,6	88,4	89,7	91,6
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100

FECHA: 09/04/2006

HORA: 1:08 p.m

PRUEBA # 4. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 5%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
15.2	32.6	31.0	26.5	6.96	23	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	5	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	15,0	18,0	20,0	22,0	25,0	30,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,46	0,55	0,62	0,68	0,77	0,92	
Turbiedad Residual (NTU)	2,10	2,20	2,00	1,50	1,20	1,80	
Color Residual (UPtCO)	1,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
pH	6,96	6,95	6,91	6,92	6,91	6,76	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	86,2	85,5	86,8	90,1	92,1	88,2	
Ef. Rem. Color (%)	96,8	93,5	100	100	100	100	

FECHA: 10/04/2006

HORA: 8:31 a.m

PRUEBA # 5. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
4.2	38.3	14.0	28.4	7.84	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	7	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	15,0	18,0	20,0	22,0	25,0	30,0
Volumen Sulfato (mL)	0,33	0,40	0,44	0,48	0,55	0,66
Turbiedad Residual (NTU)	1,60	1,30	1,60	1,10	1,30	2,00
Color Residual (UPtCO)	2,00	3,00	8,00	8,00	8,00	14,0
pH	7,17	7,03	6,99	6,94	6,88	6,75
Ef. Rem. Turbiedad (%)	61,9	69,0	61,9	73,8	69,0	52,4
Ef. Rem. Color (%)	85,7	78,6	42,9	42,9	42,9	0

FECHA: 10/04/2006

HORA: 10:06 a.m

PRUEBA # 6. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 10%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
6.0	30.4	26.0	27.5	7.04	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	10	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	15,0	18,0	20,0	22,0	25,0	30,0
Volumen Sulfato (mL)	0,23	0,28	0,31	0,34	0,38	0,46
Turbiedad Residual (NTU)	2,00	4,60	2,20	1,80	1,40	3,00
Color Residual (UPtCO)	12,0	19,0	10,0	8,0	7,0	17,0
pH	6,98	7,22	7,01	7,00	6,96	6,84
Ef. Rem. Turbiedad (%)	66,7	23,3	63,3	70,0	76,7	50,0
Ef. Rem. Color (%)	53,8	26,9	61,5	69,2	73,1	34,6

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO DE COAGULACIÓN

FECHA: 22/04/2006

HORA: 8:01 a.m

PRUEBA # 7. Determinación del pH de coagulación óptimo. pH 6.5

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
4.46	20.3	9.0	27.5	6.5	23	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	15,0	18,0	20,0	22,0	25,0	30,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,77	0,92	1,03	1,13	1,28	1,54	
Turbiedad Residual (NTU)	2,58	2,90	3,55	3,42	4,38	4,50	
Color Residual (UPtCO)	2,0	6,0	13,0	13,0	19,0	21,0	
pH	6,47	6,42	6,34	6,31	6,19	6,02	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	42,2	35,0	20,4	23,3	1,8	0	
Ef. Rem. Color (%)	77,8	33,3	0	0	0	0	

FECHA: 21/04/2006

HORA: 2:05 p.m

PRUEBA # 8. Determinación del pH de coagulación óptimo. pH 7.0

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
5.17	28.3	20.0	22.0	7.0	22	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	3	-

<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>Dosis sulfato (mg / L)</b>	15,0	18,0	20,0	22,0	25,0	30,0
<b>Volumen Sulfato (mL)</b>	0,77	0,92	1,03	1,13	1,28	1,54
<b>Turbiedad Residual (NTU)</b>	1,77	2,38	2,70	3,47	3,44	4,08
<b>Color Residual (UPtCO)</b>	3,0	5,0	8,0	11,0	12,0	16,0
<b>pH</b>	6,68	6,56	6,47	6,42	6,33	6,16
<b>Ef. Rem. Turbiedad (%)</b>	65,8	54,0	47,8	32,9	33,5	21,1
<b>Ef. Rem. Color (%)</b>	85,0	75,0	60,0	45,0	40,0	20,0

FECHA: 21/04/2006

HORA: 8:55 a.m

PRUEBA # 9. Determinación del pH de coagulación óptimo. pH 7.5

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
<b>Turbiedad (NTU)</b>	<b>Alcalinidad (mg/L de caco<sub>3</sub>)</b>	<b>Color (UPtCo)</b>	<b>Dureza total (mg/L de caco<sub>3</sub>)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	
4.32	30.4	23.0	25.6	7.5	24	
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
<b>GMR (RPM)</b>	<b>TMR (min)</b>	<b>GML (RPM)</b>	<b>TML (min)</b>	<b>TS (min)</b>	<b>Solución madre coagulante (%)</b>	<b>Solución madre cal (%)</b>
300	1	40	20	15	3	-

<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>Dosis sulfato (mg / L)</b>	15,0	18,0	20,0	22,0	25,0	30,0
<b>Volumen Sulfato (mL)</b>	0,77	0,92	1,03	1,13	1,28	1,54
<b>Turbiedad Residual (NTU)</b>	2,49	1,89	1,43	1,75	1,11	1,14
<b>Color Residual (UPtCO)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>pH</b>	7,41	7,11	6,93	6,84	6,70	6,55
<b>Ef. Rem. Turbiedad (%)</b>	42,4	56,3	66,9	59,5	74,3	73,6
<b>Ef. Rem. Color (%)</b>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

FECHA: 21/04/2006

HORA: 10:15 a.m

PRUEBA # 10. Determinación del pH de coagulación óptimo. pH 8.0

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
4.39	38.3	14.0	31.1	8.0	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	15,0	18,0	20,0	22,0	25,0	30,0
Volumen Sulfato (mL)	0,77	0,92	1,03	1,13	1,28	1,54
Turbiedad Residual (NTU)	2,07	2,00	2,06	1,39	1,12	1,21
Color Residual (UPtCO)	1,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,85	7,51	7,23	7,15	6,93	6,86
Ef. Rem. Turbiedad (%)	52,8	54,4	53,1	68,3	74,5	72,4
Ef. Rem. Color (%)	92,9	100,0	64,3	100,0	100,0	100,0

FECHA: 22/04/2006

HORA: 10:04 a.m

PRUEBA # 11. Determinación del pH de coagulación óptimo. pH 8.5

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
3.50	39.8	16.0	24.7	8.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	3	-

<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>Dosis sulfato (mg / L)</b>	15,0	18,0	20,0	22,0	25,0	30,0
<b>Volumen Sulfato (mL)</b>	0,77	0,92	1,03	1,13	1,28	1,54
<b>Turbiedad Residual (NTU)</b>	2,56	2,63	2,15	1,98	1,82	1,15
<b>Color Residual (UPtCO)</b>	7,0	11,0	8,0	8,0	4,0	2,0
<b>pH</b>	7,30	7,08	7,02	6,96	6,94	6,82
<b>Ef. Rem. Turbiedad (%)</b>	26,9	24,9	38,6	43,4	48,0	67,1
<b>Ef. Rem. Color (%)</b>	56,3	31,3	50,0	50,0	75,0	87,5

FECHA: 21/04/2006

HORA: 3:58 p.m

PRUEBA # 12. Determinación del pH de coagulación óptimo. pH 9.0

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
<b>Turbiedad (NTU)</b>	<b>Alcalinidad (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>Color (UPtCo)</b>	<b>Dureza total (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	
3.47	40.5	18.0	29.3	9.0	24	
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
<b>GMR (RPM)</b>	<b>TMR (min)</b>	<b>GML (RPM)</b>	<b>TML (min)</b>	<b>TS (min)</b>	<b>Solución madre coagulante (%)</b>	<b>Solución madre cal (%)</b>
300	1	40	20	15	3	-

<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>Dosis sulfato (mg / L)</b>	15,0	18,0	20,0	22,0	25,0	30,0
<b>Volumen Sulfato (mL)</b>	0,77	0,92	1,03	1,13	1,28	1,54
<b>Turbiedad Residual (NTU)</b>	1,78	1,68	1,60	2,06	2,10	2,27
<b>Color Residual (UPtCO)</b>	7,0	6,0	6,0	12,0	12,0	10,0
<b>pH</b>	7,60	7,39	7,33	7,22	7,19	7,01
<b>Ef. Rem. Turbiedad (%)</b>	48,7	51,6	53,9	40,6	39,5	34,6
<b>Ef. Rem. Color (%)</b>	61,1	66,7	66,7	33,3	33,3	44,4

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

FECHA: 04/05/2006

HORA: 10:10 a.m

PRUEBA # 13. Determinación del tiempo de mezcla rápida.

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.96	32.6	24.0	28.4	7.5	23	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	Variable	40	20	15	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	
Tiempo de Mezcla rápida (s)	60	50	40	30	20	10	
Turbiedad Residual (NTU)	1,23	1,32	1,65	1,95	1,74	1,65	
Color Residual (UPtCO)	1,0	2,0	2,0	7,0	4,0	2,0	
pH	6,24	6,23	6,20	6,24	6,29	6,24	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	79,4	77,9	72,3	67,3	70,8	72,3	
Ef. Rem. Color (%)	95,8	91,7	91,7	70,8	83,3	91,7	

FECHA: 04/05/2006

HORA: 2:31 p.m

PRUEBA # 14. Determinación del tiempo de mezcla rápida.

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.9	31.5	24.0	28.4	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	Variable	40	20	15	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
Tiempo de Mezcla rápida (s)	60	50	40	30	20	10
Turbiedad Residual (NTU)	0,946	0,861	1,010	1,480	1,080	1,100
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	2,0	4,0	0,0	0,0
pH	6,80	6,86	6,83	6,85	6,79	6,80
Ef. Rem. Turbiedad (%)	84,0	85,4	82,9	74,9	81,7	81,4
Ef. Rem. Color (%)	100,0	100,0	91,7	83,3	100,0	100,0

FECHA: 11/05/2006

HORA: 2:18 p.m

PRUEBA # 15. Determinación del tiempo de mezcla rápida.

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.49	31.5	24.0	21.0	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	Variable	40	20	15	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
Tiempo de Mezcla rápida (s)	60	50	40	30	20	10
Turbiedad Residual (NTU)	1,060	0,559	0,969	1,070	1,120	1,370
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,43	7,31	7,30	7,31	7,27	7,22
Ef. Rem. Turbiedad (%)	80,7	89,8	82,3	80,5	79,6	75,0
Ef. Rem. Color (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL GRADIENTE Y TIEMPO ÓPTIMO DE FLOCULACIÓN.

FECHA: 11/05/2006

HORA: 10:34 a.m

PRUEBA #16. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 20 RPM=15s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.49	31.5	24.0	21.0	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	50	20	Variable	15	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	7,92	6,20	2,07	1,03	0,83	0,70	0,72	0,61	0,38	0,36	0,27	0,24	
Color Residual (UPtCO)	27,0	15,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
pH	7,19	6,70	6,66	6,62	6,59	6,55	6,95	6,80	6,74	6,81	6,74	6,68	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0	0	62,3	81,2	85,0	87,2	86,9	88,8	93,1	93,5	95,2	95,6	
Ef. Rem. Color (%)	0	38	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

FECHA: 12/05/2006

HORA: 8:14 a.m

PRUEBA #17. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 30 RPM=25s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.49	31.5	24.0	21.0	7.5	23	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	50	30	Variable	15	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbiedad Residual (NTU)	5,92	2,54	1,22	1,13	0,75	0,54	0,64	0,74	0,93	1,00	1,10	1,24
Color Residual (UPtCO)	28,0	7,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	2,0	7,0
pH	7,15	6,86	6,78	6,65	6,60	6,52	6,81	6,76	6,73	6,71	6,73	6,72
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0	53,7	77,8	79,4	86,4	90,2	88,3	86,5	83,0	81,8	80,0	77,4
Ef. Rem. Color (%)	0	70,8	91,7	100	100	100	100	100	100	100	100	100

FECHA: 12/05/2006

HORA: 2:29 p.m

PRUEBA #18. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 40 RPM=34s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.33	31.5	27.0	27.5	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	50	40	Variable	15	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbiedad Residual (NTU)	5,68	2,35	1,91	1,11	1,43	1,03	1,04	1,11	1,13	1,43	1,23	1,16
Color Residual (UPtCO)	29,0	9,0	7,0	6,0	7,0	3,0	2,0	2,0	3,0	9,0	2,0	2,0
pH	6,83	6,71	6,67	6,66	6,70	6,73	6,99	6,97	6,90	6,88	6,90	6,92
Ef. Rem. Turbiedad (%)	0	55,9	64,2	79,2	73,2	80,7	80,5	79,2	78,8	73,2	76,9	78,2
Ef. Rem. Color (%)	0	66,7	74,1	77,8	74,1	88,9	92,6	92,6	88,9	66,7	92,6	92,6

FECHA: 12/05/2006

HORA: 4:08 p.m

PRUEBA #19. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 50 RPM=43s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.64	31.5	27.0	27.5	7.5	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	50	50	Variable	15	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	4,97	2,33	1,88	1,52	1,49	1,41	1,63	2,02	2,05	2,07	2,15	2,41	
Color Residual (UPtCO)	21,0	10,0	5,0	8,0	5,0	5,0	4,0	3,0	3,0	3,0	0,0	1,0	
pH	6,84	6,83	6,80	6,89	6,86	6,84	7,12	6,99	6,94	6,93	6,92	6,93	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	11,9	58,7	66,7	73,0	73,6	75,0	71,1	64,2	63,7	63,3	61,9	57,3	
Ef. Rem. Color (%)	22,2	63,0	81,5	70,4	81,5	81,5	85,2	88,9	88,9	88,9	100	96,3	

## RESULTADOS DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN.

FECHA: 01/06/2006

HORA: 9:55 a.m

PRUEBA # 20. Curva de sedimentabilidad con turbiedad inicial de 2 UNT

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
2.01	43.9	8.0	29.3	7.5	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	50	30	20	Variable	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	
Tiempo de Sedimentación (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	1,84	1,69	0,94	0,58	0,52	0,52	0,44	0,44	0,40	0,33	0,30	0,25	
Color Residual (UPtCO)	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	6,39	6,37	6,40	6,38	6,43	6,50	6,49	6,42	6,33	6,33	6,35	6,36	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	8,5	15,9	53,3	71,0	74,1	74,1	78,1	78,2	80,0	83,5	85,0	87,4	
Ef. Rem. Color (%)	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD						
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente	
1	5	10	1,840	2,000	0,915	
2	10	10	1,690	1,000	0,841	
3	15	10	0,938	0,667	0,467	
4	20	10	0,583	0,500	0,290	
5	25	10	0,521	0,400	0,259	
6	30	10	0,520	0,333	0,259	
1	35	10	0,441	0,286	0,219	
2	40	10	0,439	0,250	0,218	
3	45	10	0,402	0,222	0,200	
4	50	10	0,332	0,200	0,165	
5	55	10	0,301	0,182	0,150	
6	60	10	0,253	0,167	0,126	

FECHA: 02/06/2006

HORA: 3:01 p.m

PRUEBA # 21. Curva de sedimentabilidad con turbiedad inicial de 5.91 UNT

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.91	37.1	22.0	32.0	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	50	30	20	Variable	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
Tiempo de Sedimentación (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbiedad Residual (NTU)	2,80	1,50	1,14	0,99	0,75	0,73	0,61	0,58	0,54	0,53	0,53	0,52
Color Residual (UPtCO)	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,05	7,02	6,92	6,84	6,86	6,87	6,85	6,87	6,87	6,81	6,75	6,78
Ef. Rem. Turbiedad (%)	52,6	74,6	80,7	83,3	87,2	87,6	89,7	90,2	90,9	91,0	91,1	91,2
Ef. Rem. Color (%)	95,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	2,800	2,000	0,474
2	10	10	1,500	1,000	0,254
3	15	10	1,140	0,667	0,193
4	20	10	0,986	0,500	0,167
5	25	10	0,754	0,400	0,128
6	30	10	0,731	0,333	0,124
1	35	10	0,610	0,286	0,103
2	40	10	0,579	0,250	0,098
3	45	10	0,535	0,222	0,091
4	50	10	0,531	0,200	0,090
5	55	10	0,528	0,182	0,089
6	60	10	0,522	0,167	0,088

FECHA: 15/06/2006

HORA: 9:30 a.m

PRUEBA # 22. Curva de sedimentabilidad con turbiedad inicial de 48.2 UNT

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de caco <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
48.2	37.1	280	34.8	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	50	30	20	Variable	3	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
Dosis cal (mg / L)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
Volumen Cal (mL)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Tiempo de Sedimentación (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbiedad Residual (NTU)	5,16	2,80	1,44	1,39	1,35	1,23	1,35	1,21	0,95	0,93	0,89	0,88
Color Residual (UPtCo)	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,43	7,41	7,42	7,39	7,26	7,21	7,28	7,31	7,22	7,19	7,12	7,06
Ef. Rem. Turbiedad (%)	89,3	94,2	97,0	97,1	97,2	97,4	97,2	97,5	98,0	98,1	98,2	98,2
Ef. Rem. Color (%)	96,1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	5,160	2,000	0,107
2	10	10	2,800	1,000	0,058
3	15	10	1,440	0,667	0,030
4	20	10	1,390	0,500	0,029
5	25	10	1,350	0,400	0,028
6	30	10	1,230	0,333	0,026
1	35	10	1,350	0,286	0,028
2	40	10	1,210	0,250	0,025
3	45	10	0,949	0,222	0,020
4	50	10	0,932	0,200	0,019
5	55	10	0,886	0,182	0,018
6	60	10	0,880	0,167	0,018

FECHA: 16/06/2006

HORA: 2:32 p.m

PRUEBA # 23. Curva de sedimentabilidad con turbiedad inicial de 109 UNT

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
109	38.3	717	32.9	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	50	30	20	Variable	3	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
Dosis cal (mg / L)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
Volumen Cal (mL)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Tiempo de Sedimentación (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbiedad Residual (NTU)	6,56	3,85	3,52	4,21	2,52	2,00	2,16	1,97	2,13	2,05	2,12	2,35
Color Residual (UPtCO)	15,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	8,0	6,0	8,0	7,0	13,0	10,0
pH	7,49	7,45	7,44	7,41	7,43	7,46	7,43	7,41	7,39	7,40	7,39	7,41
Ef. Rem. Turbiedad (%)	94,0	96,5	96,8	96,1	97,7	98,2	98,0	98,2	98,0	98,1	98,1	97,8
Ef. Rem. Color (%)	97,9	100	100	98,7	100	100	98,9	99,2	98,9	99,0	98,2	98,6

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD					
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente
1	5	10	6,560	2,000	0,060
2	10	10	3,850	1,000	0,035
3	15	10	3,520	0,667	0,032
4	20	10	2,520	0,400	0,023
5	25	10	2,000	0,333	0,018
6	30	10	2,160	0,286	0,020
1	35	10	1,970	0,250	0,018
2	40	10	2,130	0,222	0,020
3	45	10	2,050	0,200	0,019
4	50	10	2,120	0,182	0,019
5	55	10	2,350	0,167	0,022
6	60	10	6,560	2,000	0,060

RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y SOLUCIÓN MADRE ÓPTIMA DE COAGULANTE CON NIVELES ALTOS DE TURBIEDAD Y COLOR

FECHA: 05/05/2006

HORA: 8:22 a.m

PRUEBA # 24. Determinación de la dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
128	34,9	702	19.2	7,85	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	10	5

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	100	200	250	300	400	500
Volumen Sulfato (mL)	1,54	3,10	3,85	4,62	6,15	7,69
Dosis cal (mg / L)	35	70	88	101	140	175
Volumen Cal (mL)	1,4	2,8	3,5	4,2	5,6	7,0
Turbiedad Residual (NTU)	10,7	35,1	47,2	56,4	90,3	99,1
Color Residual (UPtCO)	32	162	203	277	492	548
pH	6,65	6,20	6,12	6,04	5,75	5,42
Ef. Rem. Turbiedad (%)	91,6	72,6	63,1	55,9	29,5	22,6
Ef. Rem. Color (%)	95,4	76,9	71,1	60,5	29,9	21,9

FECHA: 05/05/2006

HORA: 10:55 a.m

PRUEBA # 25. Determinación de la dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
134	32.2	782	17.4	6.72	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	5	5

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25	50	75	100	125	150
Volumen Sulfato (mL)	0,77	1,54	2,31	3,10	3,85	4,62
Dosis cal (mg / L)	8,8	17,5	26,3	35,0	43,8	52,5
Volumen Cal (mL)	0,35	0,7	1,05	1,4	1,75	2,1
Turbiedad Residual (NTU)	3,0	2,6	3,6	15,0	15,9	18,2
Color Residual (UPtCO)	9	5	14	46	77	92
pH	6,85	6,73	6,59	6,40	6,29	6,24
Ef. Rem. Turbiedad (%)	97,8	98,1	97,3	88,8	88,1	86,4
Ef. Rem. Color (%)	98,8	99,4	98,2	94,1	90,2	88,2

FECHA: 05/05/2006

HORA: 2:28 p.m

PRUEBA # 26. Determinación de la dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
121	30.4	572	26.5	7.23	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	3	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20	30	40	60	80	100	
Volumen Sulfato (mL)	1,03	1,54	2,05	3,10	4,10	5,13	
Dosis cal (mg / L)	7	11	14	21	28	35	
Volumen Cal (mL)	1,40	2,1	2,80	4,2	5,60	7,0	
Turbiedad Residual (NTU)	6,96	12,60	6,17	64,70	5,57	8,32	
Color Residual (UPtCO)	19,0	42,0	14,0	314,0	14,0	28,0	
pH	6,98	6,85	6,74	6,22	6,43	6,38	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	94,2	89,6	94,9	46,5	95,4	93,1	
Ef. Rem. Color (%)	96,7	92,7	97,6	45,1	97,6	95,1	

FECHA: 05/05/2006

HORA: 4:18 p.m

PRUEBA # 27. Determinación de la dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
41	32.6	184	25.6	7.3	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	3	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25	35	45	55	65	75
Volumen Sulfato (mL)	1,28	1,79	2,31	2,82	3,33	3,85
Dosis cal (mg / L)	8,8	12,3	15,8	19,3	22,8	26,3
Volumen Cal (mL)	1,75	2,45	3,15	3,85	4,55	5,25
Turbiedad Residual (NTU)	4,74	1,03	33,7	3,63	11,4	5,18
Color Residual (UPtCO)	1	0	167	7	40	15
pH	7,13	7,09	6,62	6,67	6,49	6,49
Ef. Rem. Turbiedad (%)	88,4	97,5	17,8	91,1	72,2	87,4
Ef. Rem. Color (%)	99,5	100,0	9,2	96,2	78,3	91,8

FECHA: 10/06/2006

HORA: 7:30 a.m

PRUEBA # 28. Determinación de la dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
92.1	31.5	506	27.5	7.52	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	10	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	15	20	25	30	35	40
Volumen Sulfato (mL)	0,23	0,31	0,38	0,46	0,54	0,62
Dosis cal (mg / L)	5,3	7,0	8,8	10,5	12,3	14,0
Volumen Cal (mL)	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45	2,80
Turbiedad Residual (NTU)	11,50	5,27	2,32	3,34	4,12	6,65
Color Residual (UPtCO)	67,0	25,0	5,0	8,0	12,0	22,0
pH	7,43	7,36	7,31	7,27	7,23	7,18
Ef. Rem. Turbiedad (%)	87,5	94,3	97,5	96,4	95,5	92,8
Ef. Rem. Color (%)	86,8	95,1	99,0	98,4	97,6	95,7

FECHA: 15/06/2006

HORA: 4:13 p.m

PRUEBA # 29. Determinación de la solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 1%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
143	37.1	1001	28.3	7.81	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	1	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20	22.5	25	27.5	30	35	
Volumen Sulfato (mL)	3,08	3,46	3,85	4,23	4,61	5,38	
Dosis cal (mg / L)	7,00	7,88	8,75	9,63	10,50	12,25	
Volumen Cal (mL)	1,40	1,58	1,75	1,93	2,10	2,45	
Turbiedad Residual (NTU)	5,56	3,83	3,62	7,32	5,83	4,10	
Color Residual (UPtCO)	24,0	16,0	16,0	32,0	21,0	13,0	
pH	7,43	7,21	7,11	7,04	6,94	6,82	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	96,1	97,3	97,5	94,9	95,9	97,1	
Ef. Rem. Color (%)	97,6	98,4	98,4	96,8	97,9	98,7	

FECHA: 16/06/2006

HORA: 9:10 a.m

PRUEBA # 30. Determinación de la solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
38.1	45	212	30.2	8.06	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	2	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20	22.5	25	27.5	30	35
Volumen Sulfato (mL)	1,54	1,73	1,92	2,12	2,31	2,69
Dosis cal (mg / L)	7,00	7,88	8,75	9,63	10,50	12,25
Volumen Cal (mL)	1,40	1,58	1,75	1,93	2,10	2,45
Turbiedad Residual (NTU)	2,51	2,28	1,10	2,30	2,52	4,63
Color Residual (UPtCO)	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0
pH	7,53	7,51	7,47	7,45	7,42	7,35
Ef. Rem. Turbiedad (%)	93,4	94,0	97,1	94,0	93,4	87,8
Ef. Rem. Color (%)	99,5	100	100	100	100	94,8

FECHA: 10/06/2006

HORA: 12:00 a.m

PRUEBA # 31. Determinación de la solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
91.6	36.0	504	32.9	7.53	23	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	3	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20	22.5	25	27.5	30	35
Volumen Sulfato (mL)	1,02	1,15	1,28	1,41	1,54	1,79
Dosis cal (mg / L)	7,00	7,88	8,75	9,63	10,50	12,25
Volumen Cal (mL)	1,40	1,58	1,75	1,93	2,10	2,45
Turbiedad Residual (NTU)	3,50	3,17	2,48	11,60	5,19	4,34
Color Residual (UPtCO)	8,0	6,0	5,0	34,0	14,0	11,0
pH	7,43	7,35	7,29	7,26	7,22	7,16
Ef. Rem. Turbiedad (%)	96,2	96,5	97,3	87,3	94,3	95,3
Ef. Rem. Color (%)	98,4	98,8	99,0	93,3	97,2	97,8

FECHA: 16/06/2006

HORA: 10:50 a.m

PRUEBA # 32. Determinación de la solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 5%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
67.4	42.8	379	30.2	8.18	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	5	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20	22.5	25	27.5	30	35	
Volumen Sulfato (mL)	0,62	0,69	0,77	0,85	0,92	1,08	
Dosis cal (mg / L)	7,00	7,88	8,75	9,63	10,50	12,25	
Volumen Cal (mL)	1,40	1,58	1,75	1,93	2,10	2,45	
Turbiedad Residual (NTU)	3,10	2,39	2,03	2,15	4,17	2,36	
Color Residual (UPtCo)	10,0	2,0	0,0	1,0	12,0	2,0	
pH	7,98	7,95	7,85	7,83	7,80	7,75	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	95,4	96,5	97,0	96,8	93,8	96,5	
Ef. Rem. Color (%)	97,4	99,5	100	99,7	96,8	99,5	

FECHA: 17/06/2006

HORA: 9:47 a.m

PRUEBA # 33. Determinación de la solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
90.2	43.2	479	31.1	8.24	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	7	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20	22.5	25	27.5	30	35
Volumen Sulfato (mL)	0,44	0,48	0,55	0,60	0,66	0,77
Dosis cal (mg / L)	7,00	7,88	8,75	9,63	10,50	12,25
Volumen Cal (mL)	1,40	1,58	1,75	1,93	2,10	2,45
Turbiedad Residual (NTU)	4,01	2,59	2,42	7,11	4,13	4,06
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	8,0	5,0	4,0
pH	8,05	8,00	7,93	7,85	7,72	7,65
Ef. Rem. Turbiedad (%)	95,6	97,1	97,3	92,1	95,4	95,5
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	98,3	99,0	99,2

FECHA: 10/06/2006

HORA: 10:00 a.m

PRUEBA # 34. Determinación de la solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 10%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
91.6	36	504	32.9	7.53	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	10	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20	22.5	25	27.5	30	35
Volumen Sulfato (mL)	0,31	0,35	0,38	0,42	0,46	0,54
Dosis cal (mg / L)	7,00	7,88	8,75	9,63	10,50	12,25
Volumen Cal (mL)	1,40	1,58	1,75	1,93	2,10	2,45
Turbiedad Residual (NTU)	3,72	3,11	2,42	7,19	5,82	4,54
Color Residual (UPtCO)	11,0	11,0	7,0	23,0	18,0	13,0
pH	7,51	7,49	7,47	7,45	7,43	7,39
Ef. Rem. Turbiedad (%)	95,9	96,6	97,4	92,2	93,6	95,0
Ef. Rem. Color (%)	97,8	97,8	98,6	95,4	96,4	97,4

## ANEXO 4.2 ESTUDIOS REALIZADOS A LA FUENTE RÍO MONDOMO

### RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y SOLUCIÓN MADRE ÓPTIMA DE $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ CON NIVELES BAJOS DE TURBIEDAD Y COLOR

FECHA: 12/07/2006

HORA: 10:38 a.m

PRUEBA # 35. Resultados determinación de dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  con solución al 5%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
5.74	37.1	22.0	31.1	7.95	27	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	5	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,62	0,69	0,77	0,85	0,92	1,08	
Turbiedad Residual (NTU)	1,85	1,61	1,38	1,65	1,39	1,25	
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	7,76	7,69	7,60	7,49	7,39	7,27	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	67,8	72,0	76,0	71,3	75,8	78,2	
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100	

FECHA: 08/07/2006

HORA: 10:26 a.m

PRUEBA # 36. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 1%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
4.91	37.1	19	25.6	7.95	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0
Volumen Sulfato (mL)	3,08	3,46	3,85	4,23	4,62	5,38
Turbiedad Residual (NTU)	1,39	1,08	0,62	0,98	1,03	2,06
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,89	7,69	7,41	7,30	7,22	7,12
Ef. Rem. Turbiedad (%)	71,7	78,0	87,3	80,0	79,0	58,0
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100

FECHA: 08/07/2006

HORA: 8:02 a.m

PRUEBA # 37. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
4.91	37.1	19	25.6	7.95	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	1	-
RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0
Volumen Sulfato (mL)	1,54	1,73	1,92	2,12	2,31	2,69
Turbiedad Residual (NTU)	1,55	1,06	1,01	0,75	1,28	1,46
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,94	7,92	7,88	7,82	7,72	7,32
Ef. Rem. Turbiedad (%)	68,4	78,4	79,4	84,8	73,9	70,3
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100

FECHA: 07/07/2006

HORA: 4:01 p.m

PRUEBA # 38. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA					
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)
5.5	37.1	24	23.8	7.95	24

CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	1,03	1,15	1,28	1,41	1,54	1,79	
Turbiedad Residual (NTU)	1,98	1,21	1,54	1,31	1,41	1,52	
Color Residual (UPtCO)	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	
pH	7,85	7,58	7,31	7,25	7,20	7,10	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	64,0	78,0	72,0	76,2	74,4	72,4	
Ef. Rem. Color (%)	95,8	100	95,8	100	100	100	

FECHA: 07/07/2006

HORA: 2:45 p.m

PRUEBA # 39. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 5%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
5.61	37.1	24	23.4	7.95	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	5	-
RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	15	20	25	30	35	40
Volumen Sulfato (mL)	0,46	0,62	0,77	0,92	1,08	1,23
Turbiedad Residual (NTU)	1,55	1,43	1,17	1,09	1,04	1,65
Color Residual (UPtCO)	6,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,94	7,75	7,55	7,40	6,99	6,95
Ef. Rem. Turbiedad (%)	72,4	74,5	79,1	80,6	81,5	70,6
Ef. Rem. Color (%)	75	75	100	100	100	100

FECHA: 08/07/2006

HORA: 9:08 a.m

PRUEBA # 40. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)		
4.91	37.1	19	25.6	7.95	24		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	7	-	
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,44	0,49	0,55	0,60	0,66	0,77	
Turbiedad Residual (NTU)	2,16	1,04	0,73	1,40	1,54	1,78	
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	7,75	7,72	7,68	7,58	7,52	7,25	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	56,0	78,8	85,2	71,5	68,6	63,7	
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100	

FECHA: 12/07/2006

HORA: 9:09 a.m

PRUEBA # 41. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 10%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)		
5.74	37.1	22	31.1	7.98	26		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	10	-	
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,31	0,35	0,39	0,42	0,46	0,54	
Turbiedad Residual (NTU)	1,65	1,54	0,92	1,31	1,65	1,85	
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	7,60	7,52	7,41	7,35	7,32	7,23	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	71,3	73,2	84,1	77,2	71,3	67,8	
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100	

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO DE COAGULACIÓN.

FECHA: 15/07/2006

HORA: 8:09 a.m

PRUEBA # 42. pH de 6.5

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
5.24	27.6	26	26.1	6.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	3,08	3,46	3,85	4,23	4,62	5,38	
Turbiedad Residual (NTU)	3,03	2,84	2,47	3,10	3,15	3,92	
Color Residual (UPtCO)	12,0	10,0	10,0	18,0	18,0	21,0	
pH	6,49	6,45	6,41	6,36	6,28	6,15	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	42,2	45,8	52,9	40,8	39,9	25,2	
Ef. Rem. Color (%)	53,8	61,5	61,5	30,8	30,8	19,2	

FECHA: 15/07/2006

HORA: 10:00 a.m

PRUEBA # 43. pH de 7.0

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
5.21	33.8	25	29.3	7.0	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	1	-

<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>Dosis sulfato (mg / L)</b>	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0
<b>Volumen Sulfato (mL)</b>	3,08	3,46	3,85	4,23	4,62	5,38
<b>Turbiedad Residual (NTU)</b>	1,30	1,26	0,812	0,897	1,36	1,44
<b>Color Residual (UPtCO)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>pH</b>	6,99	6,97	6,95	6,93	6,87	6,81
<b>Ef. Rem. Turbiedad (%)</b>	75,0	75,8	84,4	82,8	73,9	72,4
<b>Ef. Rem. Color (%)</b>	100	100	100	100	100	100

FECHA: 14/07/2006

HORA: 4:19 p.m

PRUEBA # 44. pH de 7.5

<b>CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA</b>						
<b>Turbiedad (NTU)</b>	<b>Alcalinidad (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>Color (UPtCo)</b>	<b>Dureza total (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	
5.02	34.9	19	30.2	7.5	24	
<b>CONDICIONES INICIALES PRUEBA</b>						
<b>GMR (RPM)</b>	<b>TMR (min)</b>	<b>GML (RPM)</b>	<b>TML (min)</b>	<b>TS (min)</b>	<b>Solución madre coagulante (%)</b>	<b>Solución madre cal (%)</b>
300	1	40	20	15	1	-

<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>Dosis sulfato (mg / L)</b>	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0
<b>Volumen Sulfato (mL)</b>	3,08	3,46	3,85	4,23	4,62	5,38
<b>Turbiedad Residual (NTU)</b>	1,67	1,43	1,110	1,140	1,28	1,60
<b>Color Residual (UPtCO)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>pH</b>	7,40	7,37	7,31	7,25	7,12	7,03
<b>Ef. Rem. Turbiedad (%)</b>	66,7	71,5	77,9	77,3	74,5	68,1
<b>Ef. Rem. Color (%)</b>	100	100	100	100	100	100

FECHA: 12/07/2006  
 HORA: 4:37 p.m  
 PRUEBA # 45. pH de 8.0

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.74	37.1	22	31.1	8.0	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	3,08	3,46	3,85	4,23	4,62	5,38	
Turbiedad Residual (NTU)	1,33	1,06	0,889	1,110	1,13	1,76	
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	7,61	7,43	7,35	7,26	7,18	7,04	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	76,8	81,5	84,5	80,7	80,3	69,3	
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100	

FECHA: 17/07/2006  
 HORA: 10:19 a.m  
 PRUEBA # 46. pH de 8.5

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)		
5.71	46.1	16	35.7	8.5	25		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	1	-	
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	3,08	3,46	3,85	4,23	4,62	5,38	
Turbiedad Residual (NTU)	1,64	1,39	1,070	1,580	2,27	1,23	
Color Residual (UPtCO)	5,0	5,0	0,0	2,0	6,0	4,0	
pH	7,46	7,44	7,41	7,35	7,27	7,20	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	71,3	75,7	81,3	72,3	60,2	78,5	
Ef. Rem. Color (%)	68,8	68,8	100	87,5	62,5	75	

FECHA: 15/07/2006  
 HORA: 12:00 a.m  
 PRUEBA # 47. pH de 9.0

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.12	46.1	20	30.2	9.0	26	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	3,08	3,46	3,85	4,23	4,62	5,38	
Turbiedad Residual (NTU)	1,93	1,53	1,160	1,650	1,72	2,38	
Color Residual (UPtCo)	5,0	2,0	2,0	4,0	5,0	14,0	
pH	7,31	7,28	7,20	7,18	7,15	7,12	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	62,3	70,1	77,3	67,8	66,4	53,5	
Ef. Rem. Color (%)	75	90	90	80	75	30	

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA

FECHA: 17/07/2006  
 HORA: 2:42 p.m  
 PRUEBA # 48. Determinación del tiempo de mezcla rápida.

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
4.83	39.4	18	26.5	8.0	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	Variable	40	20	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85
Tiempo de Mezcla rápida (s)	60	50	40	30	20	10
Turbiedad Residual (NTU)	1,53	1,18	1,05	1,00	1,18	1,23
Color Residual (UPtCO)	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,59	7,48	7,35	7,31	7,25	7,18
Ef. Rem. Turbiedad (%)	68,3	75,6	78,3	79,3	75,6	74,5
Ef. Rem. Color (%)	94,4	100	100	100	100	100

FECHA: 17/07/2006

HORA: 4:22 p.m

PRUEBA # 49. Determinación del tiempo de mezcla rápida.

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
4.83	39.4	18	26.5	8.0	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	Variable	40	20	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85
Tiempo de Mezcla rápida (s)	60	50	40	30	20	10
Turbiedad Residual (NTU)	1,24	0,95	0,94	0,60	1,07	1,27
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,31	7,25	7,19	7,05	7,03	6,98
Ef. Rem. Turbiedad (%)	74,3	80,4	80,5	87,5	77,8	73,7
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL GRADIENTE Y TIEMPO ÓPTIMO DE FLOCULACIÓN.

FECHA: 18/07/2006

HORA: 8:21 a.m

PRUEBA # 50. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 20 RPM = 15s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
4.69	27.1	15.0	30.2	8.0	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	20	Variable	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	3,04	1,47	1,05	0,97	0,79	0,62	0,60	0,40	0,42	0,46	0,65	0,67	
Color Residual (UPtCO)	18,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	7,53	7,43	7,15	6,95	6,93	6,92	7,13	7,11	7,01	6,95	6,95	6,96	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	35,2	68,7	77,6	79,3	83,3	86,9	87,2	91,5	91,0	90,2	86,2	85,8	
Ef. Rem. Color (%)	0	86,7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

FECHA: 18/07/2006

HORA: 1:52 p.m

PRUEBA # 51. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 30 RPM = 25s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
4.95	38.2	19.0	27.5	8.0	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	30	Variable	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	2,74	1,30	0,92	0,87	0,59	0,37	0,35	0,68	0,86	0,90	0,94	1,05	
Color Residual (UPtCO)	10,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	7,43	7,27	7,04	7,00	6,97	6,94	7,25	7,18	7,12	6,96	6,95	6,95	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	44,6	73,7	81,4	82,4	88,0	92,5	92,9	86,2	82,5	81,9	80,9	78,8	
Ef. Rem. Color (%)	47,4	68,4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

FECHA: 18/07/2006

HORA: 4:52 p.m

PRUEBA # 52. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 40 RPM = 34s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.06	37.1	21.0	31.1	8.0	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	40	Variable	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	2,79	1,27	1,20	1,01	0,96	0,81	1,07	1,19	1,27	1,38	1,53	1,64	
Color Residual (UPtCO)	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	5,0	
pH	7,37	6,95	6,97	6,96	7,00	6,95	7,32	7,16	7,05	7,03	7,01	7,00	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	44,9	74,9	76,3	80,0	81,0	84,0	78,9	76,5	74,9	72,7	69,8	67,6	
Ef. Rem. Color (%)	61,9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	85,7	76,2	

FECHA: 19/07/2006

HORA: 9:17 a.m

PRUEBA # 53. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 50 RPM = 43 s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.13	37.1	16	29.3	8.0	23	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	50	Variable	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	1,85	1,37	1,23	1,21	1,34	1,51	1,73	1,77	1,81	1,54	1,87	2,09	
Color Residual (UPtCO)	4,0	3,0	0,0	0,0	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0	2,0	6,0	6,0	
pH	7,08	7,03	6,98	6,96	6,96	6,95	7,25	7,20	7,18	7,15	7,11	7,09	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	63,9	73,3	76,0	76,4	73,9	70,6	66,3	65,5	64,7	70,0	63,5	59,3	
Ef. Rem. Color (%)	75	81,3	100	100	87,5	87,5	87,5	75	75	87,5	62,5	62,5	

## RESULTADOS DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN.

FECHA: 19/07/2006

HORA: 2:29 p.m

PRUEBA # 54. Curva de sedimentabilidad con turbiedad inicial de 3 UNT

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
3.0	38.3	15.0	29.3	8.0	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	30	20	Variable	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	
Tiempo de Sedimentación (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	1,15	1,10	0,98	0,83	0,66	0,43	0,47	0,43	0,41	0,36	0,35	0,32	
Color Residual (UPtCO)	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	7,35	7,27	7,15	7,07	7,04	7,00	7,14	7,04	6,99	6,95	6,92	6,92	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	61,7	63,3	67,2	72,3	77,9	85,7	84,5	85,6	86,5	88,2	88,5	89,2	
Ef. Rem. Color (%)	73,3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD						
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente	
1	5	10	1,150	2,000	0,383	
2	10	10	1,100	1,000	0,367	
3	15	10	0,983	0,667	0,328	
4	20	10	0,831	0,500	0,277	
5	25	10	0,662	0,400	0,221	
1	35	10	0,466	0,286	0,155	
2	40	10	0,432	0,250	0,144	
3	45	10	0,406	0,222	0,135	
4	50	10	0,355	0,200	0,118	
5	55	10	0,346	0,182	0,115	
6	60	10	0,324	0,167	0,108	

FECHA: 22/07/2006

HORA: 7:14 a.m

PRUEBA # 55. Curva de sedimentabilidad con turbiedad inicial de 6.44 UNT

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
6.44	37.1	19.0	29.3	8.0	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	30	20	Variable	1	-

<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>	
<b>Dosis sulfato (mg / L)</b>	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
<b>Volumen Sulfato (mL)</b>	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	
<b>Tiempo de Sedimentación (min)</b>	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
<b>Turbiedad Residual (NTU)</b>	1,46	1,15	0,94	0,85	0,74	0,52	0,41	0,40	0,40	0,44	0,35	0,37	
<b>Color Residual (UPtCO)</b>	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<b>pH</b>	7,22	7,05	6,98	6,93	6,89	6,86	7,13	7,09	6,99	6,95	6,95	6,93	
<b>Ef. Rem. Turbiedad (%)</b>	77,3	82,1	85,5	86,8	88,6	91,9	93,6	93,9	93,8	93,1	94,6	94,3	
<b>Ef. Rem. Color (%)</b>	94,7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

<b>RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD</b>						
<b>Jarra #</b>	<b>Ts (min)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Turbiedad Residual (NTU)</b>	<b>Vs (cm/min)</b>	<b>Fracción Remanente</b>	
1	5	10	1,460	2,000	0,227	
2	10	10	1,150	1,000	0,179	
3	15	10	0,936	0,667	0,145	
4	20	10	0,853	0,500	0,132	
5	25	10	0,736	0,400	0,114	
6	30	10	0,520	0,333	0,081	
1	35	10	0,413	0,286	0,064	
2	40	10	0,395	0,250	0,061	
3	45	10	0,402	0,222	0,062	
5	55	10	0,349	0,182	0,054	
6	60	10	0,369	0,167	0,057	

### ANEXO 4.3 ESTUDIOS REALIZADOS A LA FUENTE MEZCLA RÍO QUILICHAO – RÍO MONDOMO EN PROPORCIÓN 50 -50%

#### RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y SOLUCIÓN MADRE ÓPTIMA DE COAGULANTE CON NIVELES BAJOS DE TURBIEDAD Y COLOR

FECHA: 24/07/2006

HORA: 2:46 p.m

PRUEBA # 56. Determinación de la dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  con solución al 1%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
3.77	38.3	15.0	32.0	8.02	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	15	20	25	30	35	40	
Volumen Sulfato (mL)	2,31	3,08	3,85	4,62	5,38	6,15	
Turbiedad Residual (NTU)	2,06	1,79	0,83	0,96	1,14	2,120	
Color Residual (UPtCO)	2,0	2,0	0,0	2,0	2,0	3,0	
pH	7,50	7,33	7,11	6,95	6,85	6,80	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	45,4	52,5	77,9	74,5	69,8	43,8	
Ef. Rem. Color (%)	86,7	86,7	100	86,7	86,7	80	

FECHA: 24/07/2006

HORA: 3:56 p.m

PRUEBA # 57. Determinación de la dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  con solución al 1%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
3.77	38.3	15.0	32.0	8.02	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	15	20	25	30	35	40
Volumen Sulfato (mL)	2,31	3,08	3,85	4,62	5,38	6,15
Turbiedad Residual (NTU)	2,10	1,85	0,90	0,95	1,26	2,23
Color Residual (UPtCO)	3,0	2,0	0,0	3,0	3,0	3,0
pH	7,48	7,35	7,10	7,01	6,86	6,81
Ef. Rem. Turbiedad (%)	44,3	50,9	76,1	74,8	66,6	40,8
Ef. Rem. Color (%)	80,0	86,7	100	80,0	80,0	80,0

FECHA: 24/07/2006

HORA: 4:43 p.m

PRUEBA # 58. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 1%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
3.77	38.3	15,0	32.0	8.02	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	1	-
RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0
Volumen Sulfato (mL)	3,08	3,46	3,85	4,23	4,62	5,38
Turbiedad Residual (NTU)	1,37	0,94	0,90	1,41	1,45	1,85
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,22	7,15	7,11	7,08	7,01	6,97
Ef. Rem. Turbiedad (%)	63,7	75,2	76,1	62,6	61,5	50,9
Ef. Rem. Color(%)	100	100	100	100	100	100

FECHA: 25/07/2006

HORA: 8:43 a.m

PRUEBA # 59. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
4.39	37.1	16.0	29.3	7.72	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	2	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	1,54	1,73	1,92	2,12	2,31	2,69	
Turbiedad Residual (NTU)	1,80	1,41	1,32	1,36	1,48	1,56	
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	7,37	7,28	7,20	7,11	7,01	6,96	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	59,0	67,9	69,9	69,0	66,3	64,5	
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100	

FECHA: 25/07/2006

HORA: 9:58 a.m

PRUEBA # 60. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
3.43	37.1	11.0	29.3	7.73	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	3	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0
Volumen Sulfato (mL)	1,03	1,15	1,28	1,41	1,54	1,79
Turbiedad Residual (NTU)	1,85	1,33	1,04	1,12	1,28	1,29
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,43	7,27	7,16	7,11	6,99	6,91
Ef. Rem. Turbiedad (%)	46,1	61,2	69,7	67,3	62,7	62,4
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100

FECHA: 25/07/2006

HORA: 11:01 a.m

PRUEBA # 61. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 5%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
4.03	37.1	15.0	29.3	7.73	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	5	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0
Volumen Sulfato (mL)	0,62	0,69	0,77	0,85	0,92	1,08
Turbiedad Residual (NTU)	2,00	1,61	1,13	1,46	1,56	1,67
Color Residual (UPtCO)	1,0	1,0	0,0	2,0	3,0	3,0
pH	7,26	7,15	7,10	7,02	6,98	6,95
Ef. Rem. Turbiedad (%)	50,4	60,0	72,0	63,8	61,3	58,6
Ef. Rem. Color (%)	93,3	93,3	100	86,7	80,0	80,0

FECHA: 25/07/2006

HORA: 2:29 p.m

PRUEBA # 62. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)		
4.24	37.1	13.0	29.3	7.73	24		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	7	-	
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,62	0,69	0,77	0,85	0,92	1,08	
Turbiedad Residual (NTU)	2,00	1,61	1,13	1,46	1,56	1,67	
Color Residual (UPtCO)	1,0	1,0	0,0	2,0	3,0	3,0	
pH	7,26	7,15	7,10	7,02	6,98	6,95	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	50,4	60,0	72,0	63,8	61,3	58,6	
Ef. Rem. Color (%)	93,3	93,3	100	86,7	80,0	80,0	

FECHA: 25/07/2006

HORA: 3:40 p.m

PRUEBA # 63. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 10%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)		
4.24	37.1	13.0	29.3	7.73	23		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	10	-	
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,31	0,35	0,39	0,42	0,46	0,54	
Turbiedad Residual (NTU)	1,36	1,05	0,92	0,97	1,09	1,53	
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	7,45	7,39	7,27	7,13	7,07	7,02	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	67,9	75,2	78,2	77,0	74,3	63,9	
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100	

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO DE COAGULACIÓN.

FECHA: 25/07/2006

HORA: 4:50 p.m

PRUEBA # 64. pH de 6.5

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)		
5.11	26.3	18.0	31.1	6.5	24		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	10	-	
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,31	0,35	0,38	0,42	0,46	0,54	
Turbiedad Residual (NTU)	1,43	1,37	1,85	2,26	2,33	2,84	
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	4,0	10,0	11,0	14,0	
pH	6,48	6,46	6,35	6,28	6,22	6,15	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	72,0	73,2	63,8	55,8	54,4	44,4	
Ef. Rem. Color (%)	100	100	77,8	44,4	38,9	22,2	

FECHA: 26/07/2006

HORA: 8:08 a.m

PRUEBA # 65. pH de 7.0

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)		
4.04	32.4	16.0	32.9	7.0	24		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	10	-	

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0
Volumen Sulfato (mL)	0,31	0,35	0,38	0,42	0,46	0,54
Turbiedad Residual (NTU)	1,54	1,10	0,941	1,440	1,55	2,31
Color Residual (UPtCO)	3,0	2,0	0,0	3,0	3,0	5,0
pH	6,96	6,87	6,80	6,77	6,75	6,70
Ef. Rem. Turbiedad (%)	61,9	72,8	76,7	64,4	61,6	42,8
Ef. Rem. Color (%)	81,3	87,5	100	81,3	81,3	68,8

FECHA: 26/07/2006

HORA: 9:02 a.m

PRUEBA # 66. pH de 7.5

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
4.64	37.1	19.0	30.2	7.5	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	10	-
RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0
Volumen Sulfato (mL)	0,31	0,35	0,38	0,42	0,46	0,54
Turbiedad Residual (NTU)	1,29	1,17	0,853	1,270	1,48	1,54
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
pH	7,43	7,35	7,18	7,13	7,02	6,96
Ef. Rem. Turbiedad (%)	72,2	74,8	81,6	72,6	68,1	66,8
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	94,7	94,7

FECHA: 26/07/2006  
 HORA: 10:15 a.m  
 PRUEBA # 67. pH de 8.0

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)		
3.23	38.3	12.0	30.2	8.0	25		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	10	-	
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,31	0,35	0,38	0,42	0,46	0,54	
Turbiedad Residual (NTU)	1,67	1,62	1,350	1,360	1,55	1,71	
Color Residual (UPtCO)	3,0	2,0	1,0	1,0	3,0	4,0	
pH	7,69	7,57	7,48	7,42	7,31	7,03	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	48,3	49,8	58,2	57,9	52,0	47,1	
Ef. Rem. Color (%)	75,0	83,3	91,7	91,7	75,0	66,7	

FECHA: 26/07/2006  
 HORA: 11:30 a.m  
 PRUEBA # 68. pH de 8.5

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)		
3.47	40.5	13.0	32.9	8.5	24		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	10	-	
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,31	0,35	0,38	0,42	0,46	0,54	
Turbiedad Residual (NTU)	1,71	1,53	1,250	1,330	1,41	1,52	
Color Residual (UPtCO)	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	
pH	7,28	7,25	7,22	7,19	7,17	7,15	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	50,7	55,9	64,0	61,7	59,4	56,2	
Ef. Rem. Color (%)	92,3	92,3	100	100	92,3	92,3	

FECHA: 26/07/2006  
 HORA: 12:40 a.m  
 PRUEBA # 69. pH de 9.0

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)		
3.56	46.1	20.0	30.2	9.0	22		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	10	-	
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	22,5	25,0	27,5	30,0	35,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,31	0,35	0,38	0,42	0,46	0,54	
Turbiedad Residual (NTU)	2,01	1,95	1,400	1,510	1,67	1,93	
Color Residual (UPtCO)	5,0	4,0	2,0	3,0	4,0	6,0	
pH	7,67	7,58	7,51	7,49	7,32	7,15	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	43,5	45,2	60,7	57,6	53,1	45,8	
Ef. Rem. Color (%)	75,0	80,0	90,0	85,0	80,0	70,0	

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA

FECHA: 26/07/2006  
 HORA: 2:13 p.m  
 PRUEBA # 70. Determinación del tiempo de mezcla rápida.

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
3.43	36.0	14.0	29.3	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	Variable	40	20	15	10	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Tiempo de Mezcla rápida (s)	60	50	40	30	20	10
Turbiedad Residual (NTU)	1,41	1,38	1,22	0,88	1,12	1,29
Color Residual (UPtCO)	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,44	7,35	7,22	7,19	7,10	7,08
Ef. Rem. Turbiedad (%)	58,9	59,8	64,4	74,4	67,3	62,4
Ef. Rem. Color (%)	85,7	85,7	100,0	100,0	100,0	100,0

FECHA: 26/07/2006

HORA: 3:18 p.m

PRUEBA # 71. Determinación del tiempo de mezcla rápida.

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
3.61	36.0	15.0	26.5	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	Variable	40	20	15	10	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Tiempo de Mezcla rápida (s)	60	50	40	30	20	10
Turbiedad Residual (NTU)	1,51	1,41	1,30	0,91	1,13	1,45
Color Residual (UPtCO)	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,46	7,38	7,24	7,21	7,13	7,10
Ef. Rem. Turbiedad (%)	58,1	60,9	63,9	74,9	68,7	59,8
Ef. Rem. Color (%)	86,7	93,3	100	100	100	100

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL GRADIENTE Y TIEMPO ÓPTIMO DE FLOCULACIÓN.

FECHA: 26/07/2006

HORA: 4:00 p.m

PRUEBA # 72. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 20 RPM = 15s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
3.45	37.1	15.0	29.3	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	20	Variable	15	10	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	2,94	2,83	1,73	0,89	0,85	0,68	0,55	0,51	0,38	0,39	0,29	0,34	
Color Residual (UPtCo)	15,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	6,89	6,83	6,84	6,88	6,86	6,89	6,94	6,91	6,88	6,88	6,87	6,79	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	14,8	18,0	49,9	74,1	75,2	80,3	84,1	85,1	88,9	88,7	91,6	90,3	
Ef. Rem. Color (%)	0	26,7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

FECHA: 27/07/2006

HORA: 7:09 a.m

PRUEBA # 73. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 30 RPM = 25s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.34	36.0	24.0	28.4	7.5	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	30	Variable	15	10	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbiedad Residual (NTU)	2,89	1,51	1,34	0,94	0,84	0,62	0,61	0,51	0,49	0,75	0,83	1,35
Color Residual (UPtCO)	23,0	9,0	6,0	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0
pH	7,10	6,96	6,98	6,97	6,86	6,82	6,95	6,89	6,84	6,87	6,86	6,85
Ef. Rem. Turbiedad (%)	45,9	71,7	74,9	82,4	84,2	88,5	88,6	90,4	90,9	85,9	84,4	74,7
Ef. Rem. Color (%)	4,2	62,5	75,0	91,7	91,7	100	100	100	100	100	95,8	91,7

FECHA: 27/07/2006

HORA: 9:40 a.m

PRUEBA # 74. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 40 RPM = 34s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
3.6	37.1	15.0	29.3	7.5	23	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	40	Variable	15	10	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbiedad Residual (NTU)	2,89	1,93	1,28	1,08	1,11	1,34	1,30	1,35	1,42	1,58	1,64	2,04
Color Residual (UPtCO)	18,0	9,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0
pH	6,98	6,89	6,87	6,84	6,83	6,83	7,01	6,97	6,92	6,98	6,98	6,99
Ef. Rem. Turbiedad (%)	19,7	46,4	64,4	70,0	69,2	62,8	63,9	62,5	60,6	56,1	54,4	43,3
Ef. Rem. Color (%)	0	40,0	73,3	80,0	73,3	73,3	73,3	73,3	66,7	66,7	66,7	66,7

FECHA: 27/07/2006

HORA: 11:29 a.m

PRUEBA # 75. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 50 RPM = 43 s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
4.5	36.0	20.0	26.5	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	50	Variable	15	10	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	2,85	1,91	1,55	1,47	1,27	1,78	1,81	1,86	1,92	1,90	1,93	2,10	
Color Residual (UPtCO)	11,0	5,0	3,0	3,0	2,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	7,0	10,0	
pH	6,86	6,75	6,74	6,76	6,79	6,81	6,80	6,82	6,81	6,83	6,80	6,79	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	36,7	57,6	65,6	67,3	71,8	60,4	59,8	58,7	57,3	57,8	57,1	53,3	
Ef. Rem. Color (%)	45,0	75,0	85,0	85,0	90,0	75,0	75,0	70,0	70,0	70,0	65,0	50,0	

## RESULTADOS DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN.

FECHA: 27/07/2006

HORA: 2:29 p.m

PRUEBA # 76. Curva de sedimentabilidad con turbiedad inicial de 4.84 UNT

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
4.84	38.3	18.0	28.4	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	30	20	Variable	10	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	
Tiempo de Sedimentación (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	1,90	1,37	1,13	1,00	0,97	0,68	0,64	0,44	0,44	0,42	0,44	0,42	
Color Residual (UPtCO)	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	7,07	6,94	6,89	6,88	6,89	6,88	6,86	6,84	6,86	6,83	6,85	6,84	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	60,7	71,7	76,7	79,4	80,1	86,1	86,8	90,9	90,9	91,4	91,0	91,3	
Ef. Rem. Color (%)	83,3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD						
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente	
1	5	10	1,900	2,000	0,393	
2	10	10	1,370	1,000	0,283	
3	15	10	1,130	0,667	0,233	
4	20	10	0,997	0,500	0,206	
5	25	10	0,965	0,400	0,199	
6	30	10	0,675	0,333	0,139	
1	35	10	0,637	0,286	0,132	
2	40	10	0,442	0,250	0,091	
3	45	10	0,442	0,222	0,091	
4	50	10	0,416	0,200	0,086	
5	55	10	0,435	0,182	0,090	
6	60	10	0,423	0,167	0,087	

FECHA: 29/07/2006

HORA: 9:42 a.m

PRUEBA # 77. Curva de sedimentabilidad con turbiedad inicial de 6.44 UNT

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de caco <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de caco <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
4.50	36.0	20.0	26.5	7.5	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	30	20	Variable	10	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	
Tiempo de Sedimentación (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	2,46	1,19	0,90	0,69	0,66	0,60	0,60	0,51	0,42	0,48	0,41	0,40	
Color Residual (UPtCo)	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
pH	7,01	6,89	6,83	6,80	6,79	6,78	6,79	6,77	6,76	6,75	6,75	6,74	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	45,3	73,6	80,0	84,7	85,3	86,7	86,6	88,7	90,8	89,3	90,9	91,1	
Ef. Rem. Color (%)	70,0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD						
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente	
1	5	10	1,900	2,000	0,393	
2	10	10	1,370	1,000	0,283	
3	15	10	1,130	0,667	0,233	
4	20	10	0,997	0,500	0,206	
5	25	10	0,965	0,400	0,199	
6	30	10	0,675	0,333	0,139	
1	35	10	0,637	0,286	0,132	
2	40	10	0,442	0,250	0,091	
3	45	10	0,442	0,222	0,091	
4	50	10	0,416	0,200	0,086	
5	55	10	0,435	0,182	0,090	
6	60	10	0,423	0,167	0,087	

### RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA DOSIS Y SOLUCIÓN MADRE ÓPTIMA DE COAGULANTE CON NIVELES MEDIOS DE TURBIEDAD Y COLOR

FECHA: 29/07/2006

HORA: 2:57 p.m

PRUEBA # 78. Determinación de la dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  con solución al 5%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA					
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)
7.42	37.1	39.0	32.9	7.56	24

CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	5	1
RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	10	20	30	40	50	60
Volumen Sulfato (mL)	0,31	0,62	0,92	1,23	1,54	1,85
Dosis Cal (mg / L)	3,5	7,0	10,5	14,0	17,5	21,0
Volumen Cal (mL)	0,70	1,40	2,10	2,80	3,50	4,20
Turbiedad Residual (NTU)	4,57	2,32	1,05	1,37	1,12	2,08
Color Residual (UPtCO)	32,0	6,0	1,0	1,0	0,0	6,0
pH	7,54	7,45	7,30	7,14	7,05	6,78
Ef. Rem. Turbiedad (%)	38,4	68,7	85,8	81,5	84,9	72,0
Ef. Rem. Color (%)	17,9	84,6	97,4	97,4	100	84,6

FECHA: 29/07/2006

HORA: 4:30 p.m

PRUEBA # 79. Determinación de la dosis óptima de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  con solución al 5%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
6.69	37.1	38.0	27.5	7.60	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	5	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	15	20	25	30	35	40
Volumen Sulfato (mL)	2,31	3,08	3,85	4,62	5,38	6,15
Dosis Cal (mg / L)	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00
Volumen Cal (mL)	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45	2,80
Turbiedad Residual (NTU)	1,99	1,92	1,85	1,64	1,09	0,81
Color Residual (UPtCO)	7,0	5,0	4,0	4,0	0,0	0,0
pH	7,47	7,32	7,24	7,15	6,89	6,76
Ef. Rem. Turbiedad (%)	70,3	71,3	72,3	75,5	83,7	87,9
Ef. Rem. Color (%)	81,6	86,8	89,5	89,5	100	100

FECHA: 30/07/2006

HORA: 8:48 a.m

PRUEBA # 80. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 1%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)		
8.57	38.3	39.0	30.2	7.51	24		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	1	1	
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	25,0	27,5	30,0	35,0	40,0	
Volumen Sulfato (mL)	3,08	3,85	4,23	4,62	5,38	6,15	
Dosis Cal (mg / L)	7,00	8,75	9,63	10,50	12,25	14,00	
Volumen Cal (mL)	1,40	1,75	1,93	2,10	2,45	2,80	
Turbiedad Residual (NTU)	2,33	1,61	1,55	1,50	1,47	1,83	
Color Residual (UPtCO)	5,0	4,0	2,0	2,0	0,0	1,0	
pH	7,36	7,32	7,25	7,08	6,98	6,96	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	72,8	81,2	81,9	82,5	82,8	78,6	
Ef. Rem. Color(%)	87,2	89,7	94,9	94,9	100	97,4	

FECHA: 30/07/2006

HORA: 10:00 a.m

PRUEBA # 81. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 2%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
8.57	38.3	39.0	30.2	7.52	23	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	2	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	25,0	27,5	30,0	35,0	40,0
Volumen Sulfato (mL)	1,54	1,92	2,12	2,31	2,69	3,08
Dosis Cal (mg / L)	7,00	8,75	9,63	10,50	12,25	14,00
Volumen Cal (mL)	1,40	1,75	1,93	2,10	2,45	2,80
Turbiedad Residual (NTU)	2,50	2,23	2,16	2,36	1,82	1,76
Color Residual (UPtCO)	12,0	12,0	11,0	12,0	6,0	4,0
pH	7,35	7,27	7,15	7,02	7,00	6,96
Ef. Rem. Turbiedad (%)	70,8	74,0	74,8	72,5	78,8	79,5
Ef. Rem. Color(%)	69,2	69,2	71,8	69,2	84,6	89,7

FECHA: 30/07/2006

HORA: 11:00 a.m

PRUEBA # 82. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 3%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
8.02	37.1	39.0	29.3	7.53	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	3	1
RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	25,0	27,5	30,0	35,0	40,0
Volumen Sulfato (mL)	1,03	1,28	1,41	1,54	1,79	2,05
Dosis Cal (mg / L)	7,00	8,75	9,63	10,50	12,25	14,00
Volumen Cal (mL)	1,40	1,75	1,93	2,10	2,45	2,80
Turbiedad Residual (NTU)	2,37	2,20	1,48	1,07	1,06	1,03
Color Residual (UPtCO)	8,0	11,0	4,0	4,0	4,0	1,0
pH	7,28	7,27	7,26	7,26	7,21	7,11
Ef. Rem. Turbiedad (%)	70,6	72,7	81,6	86,7	86,8	87,2
Ef. Rem. Color(%)	79,5	71,8	89,7	89,7	89,7	97,4

FECHA: 30/07/2006

HORA: 12:01 a.m

PRUEBA # 83. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 5%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)		
8.11	37.1	39.0	29.3	7.50	24		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	5	1	
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	25,0	27,5	30,0	35,0	40,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,62	0,77	0,85	0,92	1,08	1,23	
Dosis Cal (mg / L)	7,00	8,75	9,63	10,50	12,25	14,00	
Volumen Cal (mL)	1,40	1,75	1,93	2,10	2,45	2,80	
Turbiedad Residual (NTU)	2,13	2,01	1,80	1,78	1,41	1,16	
Color Residual (UPtCO)	6,0	6,0	6,0	6,0	0,0	0,0	
pH	7,31	7,27	7,23	7,21	7,15	7,06	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	73,7	75,2	77,8	78,1	82,6	85,7	
Ef. Rem. Color(%)	84,6	84,6	84,6	84,6	100	100	

FECHA: 30/07/2006

HORA: 12:50 a.m

PRUEBA # 84. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 7%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
8.02	37.1	39.0	30.2	7.51	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	7	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	25,0	27,5	30,0	35,0	40,0
Volumen Sulfato (mL)	0,44	0,55	0,60	0,66	0,77	0,88
Dosis Cal (mg / L)	7,00	8,75	9,63	10,50	12,25	14,00
Volumen Cal (mL)	1,40	1,75	1,93	2,10	2,45	2,80
Turbiedad Residual (NTU)	2,15	2,09	1,69	1,31	1,19	1,16
Color Residual (UPtCO)	7,0	6,0	4,0	1,0	0,0	0,0
pH	7,36	7,26	7,10	7,04	7,02	7,01
Ef. Rem. Turbiedad (%)	73,2	73,9	78,9	83,7	85,2	85,5
Ef. Rem. Color(%)	82,1	84,6	89,7	97,4	100	100

FECHA: 30/07/2006

HORA: 2:00 p.m

PRUEBA # 85. Solución madre de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  al 10%

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $CaCO_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $CaCO_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
7.95	38.3	38.0	30.2	7.54	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	10	1
RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	25,0	27,5	30,0	35,0	40,0
Volumen Sulfato (mL)	0,31	0,38	342,00	0,46	0,54	0,62
Dosis Cal (mg / L)	7,00	8,75	9,63	10,50	12,25	14,00
Volumen Cal (mL)	1,40	1,75	1,93	2,10	2,45	2,80
Turbiedad Residual (NTU)	1,45	1,34	1,76	2,02	2,26	2,74
Color Residual (UPtCO)	4,0	4,0	7,0	7,0	7,0	6,0
pH	7,38	7,37	7,36	7,35	7,31	7,27
Ef. Rem. Turbiedad (%)	81,8	83,1	77,9	74,6	71,6	65,5
Ef. Rem. Color(%)	89,5	89,5	81,6	81,6	81,6	84,2

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO DE COAGULACIÓN.

FECHA: 30/07/2006

HORA: 3:42 p.m

PRUEBA # 86. pH de 6.5

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA							
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)		
7.96	23.6	39.0	31.1	6.5	25		
CONDICIONES INICIALES PRUEBA							
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)	
300	1	40	20	15	7	1	
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	25,0	27,5	30,0	35,0	40,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,44	0,55	0,60	0,66	0,77	0,88	
Dosis Cal (mg / L)	7,00	8,75	9,63	10,50	12,25	14,00	
Volumen Cal (mL)	1,40	1,75	1,93	2,10	2,45	2,80	
Turbiedad Residual (NTU)	1,77	1,57	1,68	1,75	2,12	2,23	
Color Residual (UPtCO)	9,0	8,0	9,0	9,0	11,0	12,0	
pH	6,94	6,92	6,90	6,89	6,88	6,88	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	77,8	80,3	78,9	78,0	73,4	72,0	
Ef. Rem. Color (%)	76,9	79,5	76,9	76,9	71,8	69,2	

FECHA: 30/07/2006

HORA: 4:55 p.m

PRUEBA # 87. pH de 7.5

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
7.64	36.0	41.0	29.3	7.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	7	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	25,0	27,5	30,0	35,0	40,0
Volumen Sulfato (mL)	0,44	0,55	0,60	0,66	0,77	0,88
Dosis Cal (mg / L)	7,00	8,75	9,63	10,50	12,25	14,00
Volumen Cal (mL)	1,40	1,75	1,93	2,10	2,45	2,80
Turbiedad Residual (NTU)	2,48	1,68	2,140	2,200	2,74	1,15
Color Residual (UPtCO)	14,0	8,0	12,0	12,0	13,0	8,0
pH	7,48	7,42	7,34	7,34	7,25	7,20
Ef. Rem. Turbiedad (%)	67,5	78,0	72,0	71,2	64,1	84,9
Ef. Rem. Color (%)	65,9	80,5	70,7	70,7	68,3	80,5

FECHA: 30/07/2006

HORA: 6:00 p.m

PRUEBA # 88. pH de 8.5

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
7.67	45.0	40.0	29.3	8.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	1	40	20	15	7	1
RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	20,0	25,0	27,5	30,0	35,0	40,0
Volumen Sulfato (mL)	0,44	0,55	0,60	0,66	0,77	0,88
Dosis Cal (mg / L)	7,00	8,75	9,63	10,50	12,25	14,00
Volumen Cal (mL)	1,40	1,75	1,93	2,10	2,45	2,80
Turbiedad Residual (NTU)	1,91	1,44	1,960	2,480	2,21	1,87
Color Residual (UPtCO)	12,0	8,0	12,0	12,0	11,0	6,0
pH	7,58	7,55	7,48	7,42	7,38	7,30
Ef. Rem. Turbiedad (%)	75,1	81,2	74,4	67,7	71,2	75,6
Ef. Rem. Color (%)	70,0	80,0	70,0	70,0	72,5	85,0

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE MEZCLA RÁPIDA

FECHA: 31/07/2006

HORA: 7:00 a.m

PRUEBA # 89. Determinación del tiempo de mezcla rápida.

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
9.06	23.6	39.0	30.2	6.5	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	Variable	40	20	15	7	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	
Dosis Cal (mg / L)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	
Volumen Cal (mL)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	
Tiempo de Mezcla rápida (s)	60	50	40	30	20	10	
Turbiedad Residual (NTU)	2,61	2,17	1,52	1,42	2,41	2,49	
Color Residual (UPtCO)	9,0	5,0	3,0	2,0	7,0	7,0	
pH	6,70	6,68	6,69	6,71	6,70	6,69	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	71,2	76,0	83,2	84,3	73,4	72,5	
Ef. Rem. Color (%)	76,9	87,2	92,3	94,9	82,1	82,1	

FECHA: 31/07/2006

HORA: 7:59 a.m

PRUEBA # 90. Determinación del tiempo de mezcla rápida.

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
9.30	23.6	39.0	29.3	6.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (min)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	Variable	40	20	15	7	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Dosis Cal (mg / L)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
Volumen Cal (mL)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Tiempo de Mezcla rápida (s)	60	50	40	30	20	10
Turbiedad Residual (NTU)	2,50	2,23	1,47	1,40	2,53	2,61
Color Residual (UPtCO)	8,0	4,0	3,0	2,0	6,0	7,0
pH	6,68	6,67	6,68	6,70	6,69	6,65
Ef. Rem. Turbiedad (%)	73,1	76,0	84,2	84,9	72,8	71,9
Ef. Rem. Color (%)	79,5	89,7	92,3	94,9	84,6	82,1

## RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL GRADIENTE Y TIEMPO ÓPTIMO DE FLOCULACIÓN.

FECHA: 31/07/2006

HORA: 8:48 a.m

PRUEBA # 91. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 20 RPM = 15s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
9.02	23.6	39.0	30.2	6.5	23	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	20	Variable	15	7	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Dosis Cal (mg / L)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
Volumen Cal (mL)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbiedad Residual (NTU)	6,46	6,18	5,36	4,17	2,22	1,47	1,20	1,06	0,93	0,83	0,60	0,61
Color Residual (UPtCO)	36,0	34,0	32,0	20,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	6,43	6,45	6,51	6,54	6,55	6,51	6,52	6,55	6,59	6,60	6,62	6,64
Ef. Rem. Turbiedad (%)	28,4	31,5	40,6	53,8	75,4	83,7	86,7	88,2	89,6	90,8	93,4	93,2
Ef. Rem. Color (%)	7,7	12,8	17,9	48,7	89,7	100	100	100	100	100	100	100

FECHA: 31/07/2006

HORA: 11:40 a.m

PRUEBA # 92. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 30 RPM = 25s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA												
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)							
8.09	24.8	38.0	29.3	6.5	22							
CONDICIONES INICIALES PRUEBA												
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)						
300	30	30	Variable	15	7	1						
RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Dosis Cal (mg / L)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
Volumen Cal (mL)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbiedad Residual (NTU)	7,76	6,44	3,46	1,95	1,89	1,82	1,71	1,52	1,28	1,39	1,73	1,99
Color Residual (UPtCO)	43,0	36,0	17,0	8,0	7,0	5,0	5,0	2,0	1,0	1,0	3,0	6,0
pH	6,65	6,66	6,65	6,59	6,60	6,59	7,01	6,88	6,87	6,85	6,83	6,83
Ef. Rem. Turbiedad (%)	4,1	20,4	57,2	75,9	76,6	77,5	78,9	81,2	84,2	82,8	78,6	75,4
Ef. Rem. Color (%)	0	5,3	55,3	78,9	81,6	86,8	86,8	94,7	97,4	97,4	92,1	84,2

FECHA: 31/07/2006

HORA: 1:40 p.m

PRUEBA # 93. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 40 RPM = 34s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
5.8	27.0	31.0	27.5	6.5	24	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	40	Variable	15	7	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	
Volumen Sulfato (mL)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	
Dosis Cal (mg / L)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	
Volumen Cal (mL)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Turbiedad Residual (NTU)	5,30	5,10	3,16	1,89	1,75	1,51	1,79	2,42	2,22	2,27	2,31	2,41	
Color Residual (UPtCO)	45,0	38,0	22,0	12,0	11,0	10,0	7,0	8,0	7,0	4,0	5,0	7,0	
pH	6,80	6,78	6,69	6,64	6,63	6,63	6,93	6,92	6,92	6,90	6,89	6,86	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	8,6	12,1	45,5	67,4	69,8	74,0	69,1	58,3	61,7	60,9	60,2	58,4	
Ef. Rem. Color (%)	-	-	29,0	61,3	64,5	67,7	77,4	74,2	77,4	87,1	83,9	77,4	

FECHA: 31/07/2006

HORA: 5:00 p.m

PRUEBA # 94. Determinación del Tiempo de mezcla lenta con GMR 50 RPM = 43s<sup>-1</sup>

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
7.9	22.5	34.0	28.4	6.5	25	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	50	Variable	15	7	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Dosis Cal (mg / L)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
Volumen Cal (mL)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Tiempo de Mezcla Lenta (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbiedad Residual (NTU)	6,36	4,32	4,21	2,81	2,98	3,10	3,13	3,43	3,46	3,34	4,11	3,36
Color Residual (UPtCO)	36,0	18,0	15,0	9,0	12,0	14,0	14,0	15,0	15,0	14,0	21,0	14,0
Ph	6,95	6,84	6,82	6,77	6,75	6,72	6,79	6,78	6,78	6,78	6,79	6,80
Ef. Rem. Turbiedad (%)	19,5	45,3	46,7	64,4	62,3	60,8	60,4	56,6	56,2	57,7	48,0	57,5
Ef. Rem. Color (%)	0	47,1	55,9	73,5	64,7	58,8	58,8	55,9	55,9	58,8	38,2	58,8

## RESULTADOS DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN.

FECHA: 01/08/2006

HORA: 9:00 a.m

PRUEBA # 95. Curva de sedimentabilidad con turbiedad inicial de 7.23 UNT

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA												
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)							
7.23	22.5	34.0	24.8	6.5	24							
CONDICIONES INICIALES PRUEBA												
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)						
300	30	30	20	Variable	7	1						
RESULTADOS DE LA PRUEBA												
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Dosis Cal (mg / L)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
Volumen Cal (mL)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Tiempo de Sedimentación (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Turbiedad Residual (NTU)	5,43	4,55	3,45	3,07	2,69	2,33	1,24	1,26	1,24	1,31	1,25	0,91
Color Residual (UPtCO)	32,0	27,0	22,0	16,0	15,0	13,0	8,0	6,0	4,0	4,0	4,0	1,0
pH	6,46	6,40	6,40	6,34	6,35	6,40	6,74	6,63	6,59	6,57	6,56	6,55
Ef. Rem. Turbiedad (%)	24,9	37,1	52,3	57,5	62,8	67,8	82,8	82,6	82,8	81,9	82,7	87,4
Ef. Rem. Color (%)	5,9	20,6	35,3	52,9	55,9	61,8	76,5	82,4	88,2	88,2	88,2	97,1

RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD						
Jarra #	Ts (min)	Altura (cm)	Turbiedad Residual (NTU)	Vs (cm/min)	Fracción Remanente	
1	5	10	5,430	2,000	0,751	
2	10	10	4,550	1,000	0,629	
3	15	10	3,450	0,667	0,477	
4	20	10	3,070	0,500	0,425	
5	25	10	2,690	0,400	0,372	
6	30	10	2,330	0,333	0,322	
1	35	10	1,240	0,286	0,172	
2	40	10	1,260	0,250	0,174	
3	45	10	1,240	0,222	0,172	
4	50	10	1,310	0,200	0,181	
5	55	10	1,250	0,182	0,173	
6	60	10	0,910	0,167	0,126	

FECHA: 01/08/2006

HORA: 11:30 a.m

PRUEBA # 96. Curva de sedimentabilidad con turbiedad inicial de 8.52 UNT

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	pH	Temperatura (°C)	
8.52	22.5	35.0	24.8	6.5	23	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	30	20	Variable	7	1

RESULTADOS DE LA PRUEBA													
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	6
Dosis sulfato (mg / L)	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Volumen Sulfato (mL)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Dosis Cal (mg / L)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75
Volumen Cal (mL)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Tiempo de Sedimentación (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	60
Turbiedad Residual (NTU)	3,86	1,89	1,52	1,37	1,08	0,94	1,20	1,15	1,12	1,16	0,94	0,86	0,86
Color Residual (UPtCO)	16,0	8,0	4,0	6,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
pH	6,82	6,60	6,59	6,54	6,54	6,50	6,69	6,67	6,67	6,65	6,59	6,52	6,52
Ef. Rem. Turbiedad (%)	54,7	77,8	82,2	83,9	87,3	88,9	85,9	86,5	86,9	86,4	89,0	89,9	89,9
Ef. Rem. Color (%)	54,3	77,1	88,6	82,9	97,1	97,1	94,3	97,1	97,1	97,1	100	100	100

<b>RESULTADOS DE LA CURVA DE SEDIMENTABILIDAD</b>					
<b>Jarra #</b>	<b>Ts (min)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Turbiedad Residual (NTU)</b>	<b>Vs (cm/min)</b>	<b>Fracción Remanente</b>
1	5	10	3,860	2,000	0,453
2	10	10	1,890	1,000	0,222
3	15	10	1,520	0,667	0,178
4	20	10	1,370	0,500	0,161
5	25	10	1,080	0,400	0,127
6	30	10	0,944	0,333	0,111
1	35	10	1,200	0,286	0,141
2	40	10	1,150	0,250	0,135
3	45	10	1,120	0,222	0,131
4	50	10	1,160	0,200	0,136
5	55	10	0,936	0,182	0,110
6	60	10	0,864	0,167	0,101

**ANEXO 4.4 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE FILTRACIÓN DIRECTA REALIZADAS A LAS FUENTES RÍO QUILICHAO Y MEZCLA RÍO MONDOMO – RÍO QUILICHAO**

RÍO QUILICHAO

FECHA: 14/07/2006

HORA: 9:31 a.m

PRUEBA # 97. Filtración directa.

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
3.88	42.8	21.0	38.4	7.55	22	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	50	30	30	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Volumen Sulfato (mL)	0,15	0,31	0,46	0,61	0,77	0,92
Turbiedad Residual (NTU)	2,64	2,10	2,03	1,99	1,96	2,18
Color Residual (UPtCO)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pH	7,54	7,53	7,45	7,43	7,50	7,50
Ef. Rem. Turbiedad (%)	32,0	45,9	47,7	48,7	49,5	43,8
Ef. Rem. Color (%)	100	100	100	100	100	100

MEZCLA RÍO MONDOMO - RÍO QUILICHAO EN PROPORCIÓN 50 – 50 %

FECHA: 27/07/2006

HORA: 5:01 p.m

PRUEBA # 98. Filtración directa a pH 4.5

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
3.25	12.4	15.0	28.4	4.5	22	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	30	30	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA							
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6	
Dosis sulfato (mg / L)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	
Volumen Sulfato (mL)	0,15	0,31	0,46	0,61	0,77	0,92	
Turbiedad Residual (NTU)	1,40	1,13	1,09	1,09	1,02	1,32	
Color Residual (UPtCO)	4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	
pH	7,54	7,53	7,45	7,43	7,50	7,50	
Ef. Rem. Turbiedad (%)	56,9	65,2	66,5	66,5	68,6	59,4	
Ef. Rem. Color (%)	73,3	93,3	93,3	93,3	93,3	73,3	

FECHA: 29/07/2006

HORA: 7:40 a.m

PRUEBA # 99. Filtración directa a pH 5.0

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
3.81	14.6	25.0	32.0	5.0	20	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	30	30	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Volumen Sulfato (mL)	0,15	0,31	0,46	0,61	0,77	0,92
Turbiedad Residual (NTU)	1,75	1,31	1,19	1,15	1,00	1,08
Color Residual (UPtCO)	6,0	6,0	5,0	5,0	3,0	3,0
pH	7,54	7,53	7,45	7,43	7,50	7,50
Ef. Rem. Turbiedad (%)	54,1	65,6	68,8	69,8	73,9	71,7
Ef. Rem. Color (%)	76,0	76,0	80,0	80,0	88,0	88,0

FECHA: 29/07/2006

HORA: 8:24 a.m

PRUEBA # 100. Filtración directa a pH 6.0

CONDICIONES INICIALES DEL AGUA CRUDA						
Turbiedad (NTU)	Alcalinidad (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	Color (UPtCo)	Dureza total (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	pH	Temperatura (°C)	
4.03	15.8	18.0	27.5	6.0	21	
CONDICIONES INICIALES PRUEBA						
GMR (RPM)	TMR (s)	GML (RPM)	TML (min)	TS (min)	Solución madre coagulante (%)	Solución madre cal (%)
300	30	30	30	15	1	-

RESULTADOS DE LA PRUEBA						
PARÁMETRO / JARRA	1	2	3	4	5	6
Dosis sulfato (mg / L)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Volumen Sulfato (mL)	0,15	0,31	0,46	0,61	0,77	0,92
Turbiedad Residual (NTU)	1,25	1,23	0,97	0,87	0,35	0,61
Color Residual (UPtCO)	6,0	6,0	1,0	0,0	0,0	0,0
Ph	7,54	7,53	7,45	7,43	7,50	7,50
Ef. Rem. Turbiedad (%)	69,0	69,5	75,9	78,4	91,4	85,0
Ef. Rem. Color (%)	66,7	66,7	94,4	100	100	100

## ANEXO 5. REGISTRO DE CÁLCULOS

### ANEXO 5.1 Cálculo de Gradientes de Velocidad para Mezcla Lenta

Para el cálculo de gradientes de velocidad se empleó la siguiente ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{g * h_f}{\nu * t_d}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

G = gradiente de velocidad (seg<sup>-1</sup>)

g = 980 cm/seg<sup>2</sup>

hf = pérdidas de carga en el floculador

$\nu$  = viscosidad cinemática

td = tiempo de retención hidráulico

Para determinar el tiempo de detención, es necesario conocer el volumen del floculador. Para ello, fue necesario conocer las dimensiones de cada una de las cámaras, para luego calcular el volumen de cada una de ellas y finalmente sumarlos para tener el volumen total del floculador. Estas fueron realizadas el día 16/06/2006.

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo tipo del gradiente de velocidad para la cámara 1.

El caudal de ingreso a la planta medido el día 16/06/2006 correspondió a 180 LPS (0.18 m<sup>3</sup>/s) para el cual se calcularon las pérdidas de carga. Como son dos unidades de floculación, se asume una distribución uniforme de caudales.

Para medir las pérdidas de carga se utilizó una manguera de niveles.

Los cálculos se hacen de la siguiente forma:

Cámara	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Perdidas (cm)
1	0.09	1.945	2.74	3.47	1.8

Efectuando el producto de las dimensiones de la cámara, obtenemos el volumen de la misma

Volumen cámara: 1.945m\*2.74m\*3.47m

Volumen cámara: 18.49 m<sup>3</sup>

Con el volumen y el caudal, obtenemos el tiempo de detención teórico para la cámara 1:

$$tiempode\ det\ ención = \frac{volumen\ camara}{caudal\ entrada\ floculador} \text{ Ecuación (2)}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (2) tenemos:

$$tiempode\ det\ ención = \frac{18.49\ m^3}{0.09\ m^3 / seg} = 205.5\ seg$$

Con el tiempo de detención, las pérdidas de carga, nos vamos a la ecuación (1); teniendo en cuenta que la viscosidad cinemática para una temperatura de 25 °C corresponde a 0.00898 cm<sup>2</sup>/s. (Arboleda, 2000)

$$G = \sqrt{\frac{980\ cm / s^2 * 1.8\ cm}{0.00898\ cm^2 / s * 205.5\ s}}$$

$$G = 29.15\ s^{-1}$$

De manera análoga se hace para las demás cámaras, cuyos resultados se presentan a continuación:

Cámara	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Tiempo de detención (s)	Perdidas (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Gradiente de velocidad(S <sup>-1</sup> )
1	1.945	2.74	3.47	205.5	1.8	18.49	29.15
2	1.905	2.74	3.45	200	1.6	18.00	27.86
3	1.940	2.74	3.45	203.8	0.9	18.34	20.70
4	1.650	2.74	3.42	171.8	1.8	15.46	31.88
5	1.920	2.74	3.07*	179.4	0.8	16.15	20.8
6	1.850	2.74	2.74	154.3	0.5	13.89	17.73
7	2.080	2.74	2.81	178.22	0.5	16.04	16.49
8	1.790	2.74	2.79	152	1.0	13.68	25.26
9	1.755	2.74	2.77	147.6	0.3	13.28	14.04
				<b>Total</b>	9.2	143.33	

\* Promedio (la cámara 5 tiene 2 profundidades: 2.73 m y 3.41 m)

Para el cálculo del gradiente de todo el floculador, se emplea la misma ecuación (2), pero con el volumen total, que se obtiene con la suma de todas las cámaras, y con la pérdida de carga total que se obtiene sumando las pérdidas de cada cámara. El tiempo de detención se determina con la ecuación (7), usando el mismo caudal y el volumen total; de esa manera:

$$tiempode\ det\ ención = \frac{143.33m^3}{0.09m^3/seg} = 1592.6\ seg = 26.54\ min.$$

$$G = \sqrt{\frac{980\ cm/s^2 * 9.2\ cm}{0.0898\ cm/s^2 * 1592.6\ s}}$$

$$G = 25.11\ s^{-1}$$

## **ANEXO 5.2 Cálculos de eficiencias de remoción de turbiedad mediante el empleo de curvas de sedimentabilidad. Estudio de tratabilidad.**

Para el cálculo de la remoción de turbiedad igual al 95% se procedió de la siguiente manera:

Se graficaron los datos obtenidos; de fracción remanente de turbiedad y velocidad de sedimentación, para cada punto de toma de muestra. De ahí se asume una velocidad crítica de sedimentación y un coeficiente C, que genere una RT (remoción total) de 0.95. Para el cálculo se emplea la ecuación de remoción total, (ecuación 1)

$$\int_0^c V_s dc \quad RT = 1 - C + \frac{1}{V_{sc}} \int_0^c V_s dc \quad \text{Ecuación (3)}$$

Se asume una velocidad crítica de sedimentación ( $V_{sc}$ ) la cual genera un valor de C. La parte de la integral ( $\int_0^c V_s dc$ ) se calcula por el método geométrico. Se emplearon figuras rectangulares y triangulares para hallar el área bajo la curva.

**FUENTE: Río Quilichao**

Para una turbiedad de 2.01 se asumió un coeficiente C de 0.10 al cual le corresponde una velocidad de sedimentación de 0.10 cm/min

$\Delta C$	0.1
$V_{s1-2}$	0   0.1
$\Delta C * (V_{s1} + V_{s2}) / 2$	0.005
$\Sigma \Delta C * (V_{s1} + V_{s2}) / 2$	<b>0.005</b>

Reemplazando estos valores en la ecuación 3, se obtiene:

$$RT = (1 - 0.1) + (1/0.10) * 0.005$$

$$RT = 0.95 = 95\%$$

De manera análoga se calcula para las demás curvas de sedimentación. Los resultados son presentados a continuación:

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN $V_{sc}$ (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
5.91	0.24	0.1

$\Delta C$	0.1	
$V_{S1-2}$	0	0.24
$\Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	0.012	
$\Sigma \Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	<b>0.012</b>	

$$RT = (1 - 0.1) + (1/0.24)*0.012$$

$$RT = 0.95 = 95\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN Vsc (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
48.2	1.84	0.1

$\Delta C$	0.030		0.020		0.020		0.010		0.005		0.015	
$V_{S1-2}$	0	0.28	0.68	0.88	0.88	1.20	1.20	1.40	1.40	1.52	1.52	1.84
$\Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	0.0042		0.0156		0.0208		0.013		0.0073		0.0252	
$\Sigma \Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	<b>0.0861</b>											

$$RT = (1 - 0.1) + (1/1.84)*0.0861$$

$$RT = 0.9467 = 94.67\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN Vsc (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
109	2.00	0.06

$\Delta C$	0.032		0.006		0.024	
$V_{S1-2}$	0	0.68	0.68	1.00	1.00	2.00
$\Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	0.01088		0.00504		0.012	
$\Sigma \Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	<b>0.02792</b>					

$$RT = (1 - 0.06) + (1/2.00)*0.02792$$

$$RT = 0.9535 = 95.35\%$$

**Fuente: Río Mondomo**

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN Vsc (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
3.00	0.16	0.1

$\Delta C$	0.1	
$V_{S1-2}$	0	0.16
$\Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	0.012	
$\Sigma \Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	<b>0.008</b>	

$$RT = (1 - 0.1) + (1/0.16)*0.008$$

$$RT = 0.95 = 95.00\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN Vsc (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
6.44	0.36	0.1

$\Delta C$	0.1
$V_{S1-2}$	0   0.36
$\Delta C*(V_{S1}+V_{S2})/2$	0.018
$\Sigma \Delta C*(V_{S1}+V_{S2})/2$	<b>0.018</b>

$$RT = (1 - 0.1) + (1/0.36)*0.018$$

$$RT = 0.95 = 95.00\%$$

**Fuente: mezcla 50% – 50 % ríos Quilichao y Mondomo**

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN Vsc (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
4.84	0.18	0.085

$\Delta C$	0.085
$V_{S1-2}$	0   0.18
$\Delta C*(V_{S1}+V_{S2})/2$	0.0085
$\Sigma \Delta C*(V_{S1}+V_{S2})/2$	<b>0.00765</b>

$$RT = (1 - 0.085) + (1/0.18)*0.00765$$

$$RT = 0.9575 = 95.75\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN Vsc (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
6.44	0.2	0.1

$\Delta C$	0.1
$V_{S1-2}$	0   0.2
$\Delta C*(V_{S1}+V_{S2})/2$	0.01
$\Sigma \Delta C*(V_{S1}+V_{S2})/2$	<b>0.01</b>

$$RT = (1 - 0.1) + (1/0.2)*0.01$$

$$RT = 0.95 = 95.00\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN V <sub>sc</sub> (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
7.23	0.12	0.1

$\Delta C$	0.1
$V_{s1-2}$	0   0.12
$\Delta C * (V_{s1} + V_{s2}) / 2$	0.01
$\Sigma \Delta C * (V_{s1} + V_{s2}) / 2$	<b>0.006</b>

$$RT = (1 - 0.1) + (1/0.12) * 0.006$$

$$RT = 0.95 = 95.00\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN V <sub>sc</sub> (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
8.52	0.2	0.1

$\Delta C$	0.1
$V_{s1-2}$	0   0.2
$\Delta C * (V_{s1} + V_{s2}) / 2$	0.01
$\Sigma \Delta C * (V_{s1} + V_{s2}) / 2$	<b>0.01</b>

$$RT = (1 - 0.1) + (1/0.2) * 0.01$$

$$RT = 0.95 = 95.00\%$$

### ANEXO 5.3 Cálculo de eficiencias de remoción de turbiedad mediante el empleo de curvas de sedimentabilidad. Planta “El Arroyo”

Los cálculos que se presentan a continuación son realizados mediante el uso de la velocidad crítica de sedimentación estimada para las unidades de sedimentación ubicadas en la planta de tratamiento “El Arrollo”; el procedimiento de cálculo para dicha velocidad se hace de la siguiente manera:

La velocidad crítica de sedimentación se calcula mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$V_{sc} = \frac{V_{fc}}{\cos \theta * \left( \frac{L}{e} - 0.058 * NR \right) + \text{sen} \theta} \quad \text{Ecuación (4)*}$$

Donde:  $V_{sc}$  = velocidad crítica de sedimentación

$V_{fc}$  = velocidad de flujo en el canal

$L$  = longitud de la placa (m)

$e$  = distancia entre placas (m)

$NR$  = número de reynolds

$\theta$  = inclinación de las placas.

La inclinación de las placas se determinó mediante mediciones hechas en campo, la cual fue estimada en  $51.57^\circ$

La distancia entre placas ( $e$ ) es igual a  $0.05 \text{ m}$

Las dimensiones de la placa son:  $L = 1.202 \text{ m}$  \*  $A = 2.35 \text{ m}$  \*  $e = 0.007 \text{ m}$

El número de reynolds es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$NR = \frac{V_{fc} * e}{\nu} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:  $\nu$  viscosidad cinemática ( $\text{m}^2/\text{seg}$ ) =  $1.004\text{E}-6$  ( $\text{m}^2/\text{seg}$ )

Para el cálculo de  $V_{fc}$  determinamos el área de flujo ( $A_{fc}$ ), con el uso de del caudal de entrada de la planta:

$$Q_p = 180 \text{ LPS}$$

---

\* El coeficiente 0.058 de la ecuación es el recomendado por Yao (Tomado de CEPIS, 1973) para el cálculo de la distancia en donde se presenta flujo laminar en placas inclinadas; sin embargo, Arboleda (2000) recomienda el uso de 0.013 que es para tubos inclinados, ya que los cambios en los resultados finales no son tan significativos.

Para cada unidad de sedimentación - y asumiendo distribución uniforme del caudal en cada una de las cuatro unidades-, se obtendría: ( $Q_{sed}$ ) = 45 LPS (0.045 m<sup>3</sup>/seg).

Asumiendo que la distribución del flujo es uniforme en todos los canales, se determina el caudal de cada canal ( $Q_{fc}$ ) de la siguiente manera:

*Número de placas ( $N_p$ ): 210 (contadas en planta)*

*Número de canales ( $N_c$ ):  $N_p - 1$  (210 - 1) = 209*

*Caudal de cada canal ( $Q_{fc}$ )*

$$Q_{fc} = \frac{Q_{sed}}{N_c} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Reemplazando en la ecuación 6 tenemos:

$$Q_{fc} = \frac{0.045m^3 / seg}{209}$$

$$Q_{fc} = 0.000215m^3 / seg$$

El  $A_{fc}$  es igual al producto de la separación entre placas ( $e$ ) y el ancho de la placa ( $A$ ):

$$A_{fc} = 0.05m * 2.35m$$

$$A_{fc} = 0.118m^2$$

Entonces, usando la ecuación (7) obtenemos:

$$V_{fc} = \frac{Q_{fc}}{A_{fc}} \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$V_{fc} = \frac{0.000215m^3 / seg}{0.118m^2}$$

$$V_{fc} = 0.00182m / seg$$

$$V_{fc} = 0.00182m / seg * 86400seg / dia$$

$$V_{fc} = 157.25m / dia$$

Reemplazando valores en la ecuación (5) obtenemos el número de Reynolds

$$NR = \frac{0.00182m/seg * 0.05m}{1.004E - 6m^2/seg}$$

$$NR = 90.63$$

Usando todos los valores obtenidos anteriormente en la ecuación (4) tenemos:

$$V_{sc} = \frac{157.25m/dia}{\cos 51.57 * \left( \frac{1.202m}{0.05m} - 0.058 * 90.63 \right) + \sin 51.57}$$

$$V_{sc} = 12.62m/dia$$

$$V_{sc} = 12.62 \frac{m}{dia} * \frac{100cm}{m} * \frac{1dia}{1440min}$$

$$V_{sc} = 0.88cm/min$$

Una vez determinada la  $V_{sc}$ , se calcula la eficiencia de remoción de turbiedad en un proceso análogo al cálculo de eficiencias del 95%. A continuación se presentan los resultados para las tres fuentes estudiadas.

**Fuente: río Quilichao**

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN $V_{sc}$ (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
2.01	0.88	0.76

$\Delta C$	0.24	0.04	0.04	0.16	0.08	0.16	0.04
$V_{s1-2}$	0   0.24	0.24   0.32	0.44   0.52	0.52   0.68	0.68   0.72	0.72   0.84	0.84   0.88
$\Delta C * (V_{s1} + V_{s2}) / 2$	0.00288	0.0112	0.0192	0.096	0.056	0.1248	0.034
$\Sigma \Delta C * (V_{s1} + V_{s2}) / 2$	<b>0.3704</b>						

$$RT = (1 - 0.76) + (1/0.88) * 0.3704$$

$$RT = 0.661 = 66.1\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN $V_{sc}$ (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
5.91	0.88	0.23

$\Delta C$	0.1		0.03		0.04		0.03		0.03		
$V_{S_{1-2}}$	0	0.24	0.24	0.34	0.34	0.50	0.50	0.72	0.72	0.88	
$\Delta C^*(V_{S_1}+V_{S_2})/2$	0.012		0.0087		0.0168		0.0183		0.024		
$\Sigma \Delta C^*(V_{S_1}+V_{S_2})/2$	<b>0.0798</b>										

$$RT = (1 - 0.2) + (1/0.88)*0.0798$$

$$RT = 0.861 = 86.1\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN Vsc (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
48.2	0.88	0.05

$\Delta C$	0.030		0.005		0.015	
$V_{S_{1-2}}$	0	0.28	0.68	0.72	0.72	0.88
$\Delta C^*(V_{S_1}+V_{S_2})/2$	0.0042		0.0035		0.012	
$\Sigma \Delta C^*(V_{S_1}+V_{S_2})/2$	<b>0.0197</b>					

$$RT = (1 - 0.05) + (1/0.88)*0.0197$$

$$RT = 0.9723 = 97.23\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN Vsc (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
109	0.88	0.034

$\Delta C$	0.030		0.001		0.002	
$V_{S_{1-2}}$	0	0.68	0.68	0.72	0.72	0.88
$\Delta C^*(V_{S_1}+V_{S_2})/2$	0.0102		0.0007		0.004	
$\Sigma \Delta C^*(V_{S_1}+V_{S_2})/2$	<b>0.0149</b>					

$$RT = (1 - 0.034) + (1/0.88)*0.0149$$

$$RT = 0.9829 = 98.29\%$$

**Fuente: Río Mondomo**

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN Vsc (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
3.00	0.88	0.36

$\Delta C$	0.28		0.05		0.01		0.02	
$V_{S1-2}$	0	0.56	0.56	0.68	0.68	0.72	0.72	0.88
$\Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	0.0784		0.031		0.007		0.016	
$\Sigma\Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	<b>0.1324</b>							

$$RT = (1 - 0.36) + (1/0.88)*0.1324$$

$$RT = 0.7905 = 79.05\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN Vsc (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
6.44	0.88	0.17

$\Delta C$	0.06		0.04		0.02		0.015		0.015		0.02	
$V_{S1-2}$	0	0.2	0.28	0.36	0.36	0.42	0.42	0.5	0.5	0.72	0.72	0.88
$\Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	0.006		0.0128		0.0078		0.0069		0.00915		0.016	
$\Sigma\Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	<b>0.05865</b>											

$$RT = (1 - 0.17) + (1/0.88)*0.05865$$

$$RT = 0.8966 = 89.66\%$$

**Fuente: mezcla 50 – 50 %**

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN Vsc (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
4.84	0.88	0.27

$\Delta C$	0.09		0.045		0.06		0.04		0.03	
$V_{S1-2}$	0	0.16	0.26	0.28	0.34	0.40	0.5	0.72	0.72	0.88
$\Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	0,072		0,01215		0,0222		0,0244		0.024	
$\Sigma\Delta C^*(V_{S1}+V_{S2})/2$	<b>0,15475</b>									

$$RT = (1 - 0.27) + (1/0.88)*0.15475$$

$$RT = 0,9059 = 90.59\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN Vsc (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
6.44	0.88	0.24

$\Delta C$	0.1	0.03	0.02	0.05	0.01	0.03
------------	-----	------	------	------	------	------

$V_{S_{1-2}}$	0	0.2	0.2	0.28	0.28	0.40	0.5	0.66	0.66	0.72	0.72	0.88
$\Delta C^*(V_{S_1}+V_{S_2})/2$	0,01		0,0072		0,0068		0,029		0,0069		0.024	
$\Sigma\Delta C^*(V_{S_1}+V_{S_2})/2$	<b>0.0839</b>											

$$RT = (1 - 0.24) + (1/0.88)*0.0839$$

$$RT = 0.8553 = 85.53\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN $V_{sc}$ (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
7.23	0.88	0.6

$\Delta C$	0.2	0.16	0.05	0.05	0.02	0.1						
$V_{S_{1-2}}$	0	0.26	0.26	0.36	0.36	0.5	0.5	0.68	0.68	0.72	0.72	0.88
$\Delta C^*(V_{S_1}+V_{S_2})/2$	0,026		0.0498		0.0215		0.0295		0.014		0.08	
$\Sigma\Delta C^*(V_{S_1}+V_{S_2})/2$	<b>0.2208</b>											

$$RT = (1 - 0.6) + (1/0.88)*0.2208$$

$$RT = 0.651 = 65.1\%$$

TURBIEDAD (UNT)	VELOCIDAD CRITICA DE SEDIMENTACIÓN $V_{sc}$ (cm/min)	FRACCIÓN REMANENTE (C)
8.52	0.88	0.2

$\Delta C$	0.11	0.02	0.03	0.02	0.02						
$V_{S_{1-2}}$	0	0.22	0.22	0.26	0.28	0.5	0.5	0.72	0.72	0.88	
$\Delta C^*(V_{S_1}+V_{S_2})/2$	0.0121		0.0048		0.0117		0.0122		0.016		
$\Sigma\Delta C^*(V_{S_1}+V_{S_2})/2$	<b>0.0568</b>										

$$RT = (1 - 0.2) + (1/0.88)*0.0568$$

$$RT = 0.8645 = 86.45\%$$

**ANEXO 5.4 Cálculo de eficiencias de remoción mínimas de turbiedad mediante el empleo de curvas de sedimentabilidad con velocidad crítica definida. Estudio de tratabilidad**

Para la realización de los cálculos de las eficiencias mínimas de remoción de turbiedad, se utilizó una velocidad de sedimentación crítica determinada en los estudios de tratabilidad para cada fuente, la cual correspondió a 2.0 cm/min. Se procedió de la misma manera que en el Anexo 4.2, a través de las curvas de sedimentabilidad de cada fuente, sustituyendo únicamente la velocidad de sedimentación crítica para la planta (0.88cm/min) por la del estudio (2.0 cm/min). Los resultados se presentan a continuación para cada fuente:

**Fuente: río Quilichao**

Eficiencias de remoción mínimas para diferentes turbiedades de agua cruda con una velocidad de sedimentación crítica definida.

Turbiedad del agua cruda (NTU)	Velocidad de Sedimentación crítica. Vsc (cm/min)	Fracción Remanente	Turbiedad del agua sedimentada (NTU)	Eficiencia mínima de Remoción (%)
2.01	2.0	0.92	1.30	35.24
5.91	2.0	0.47	1.81	69.42
48.2	2.0	0.11	2.77	94.25
109	2.0	0.06	3.99	96.34

**Fuente: río Mondomo**

Eficiencias de remoción mínimas para diferentes turbiedades de agua cruda con una velocidad de sedimentación crítica definida.

Turbiedad del agua cruda (NTU)	Velocidad de Sedimentación crítica. Vsc (cm/min)	Fracción Remanente	Turbiedad del agua sedimentada (NTU)	Eficiencia mínima de Remoción (%)
3.00	2.0	0.38	0.91	69.64
6.44	2.0	0.23	1.13	82.50

**Fuente: Mezcla Río Mondomo – Río Quilichao Proporción 50% - 50%**

Eficiencias de remoción mínimas para diferentes turbiedades de agua cruda de mezcla con una velocidad de sedimentación crítica definida.

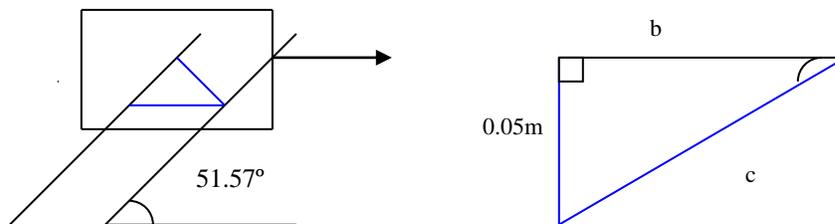
Turbiedad del agua cruda (NTU)	Velocidad de Sedimentación crítica. Vsc (cm/min)	Fracción Remanente	Turbiedad del agua sedimentada (NTU)	Eficiencia mínima de Remoción (%)
4.84	2.0	0.39	1.26	73.89
6.44	2.0	0.55	1.89	71.74
7.23	2.0	0.74	4.23	41.47
8.52	2.0	0.45	2.05	75.94

### ANEXO 5.5 Cálculo de carga superficial del sedimentador de la planta “El Arroyo”

La carga superficial ( $C_s$ ) es el cociente entre el caudal de entrada al sedimentador y el área superficial ( $A_s$ ) del mismo:

$$C_s = \frac{\text{caudal entrada sedimentador}}{A_s} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Como se necesita la distancia horizontal entre placas, es necesario usar una relación de triángulos para su cálculo:



Con la figura anterior tenemos:

$$\text{sen}51.57^\circ = \left( \frac{0.05}{c} \right)$$

despejando  $c$  obtenemos:

$$c = \frac{0.05}{\text{sen}51.57}$$

$$c = 0.064$$

Con esta separación y el número de canales, calculamos la longitud superficial:

*longitud superficial = número de canales \* distancia horizontal entre placas*

$$\text{longitud superficial} = 209 * 0.064\text{m}$$

$$\text{longitud superficial} = 13.376\text{m}$$

Con la longitud superficial y el ancho de placas, se determina el área superficial ( $A_s$ ) del sedimentador:

$$A_s = L_s * \text{ancho de placa}$$

$$A_s = 13.376\text{m} * 2.358\text{m}$$

$$A_s = 31.54\text{m}^2$$

Entonces, usando la ecuación (8) obtenemos:

$$C_s = \frac{\text{caudal entrado sedimentador}}{A_s}$$

$$C_s = \frac{0.045\text{m}^3 / \text{s}}{31.54\text{m}^2}$$

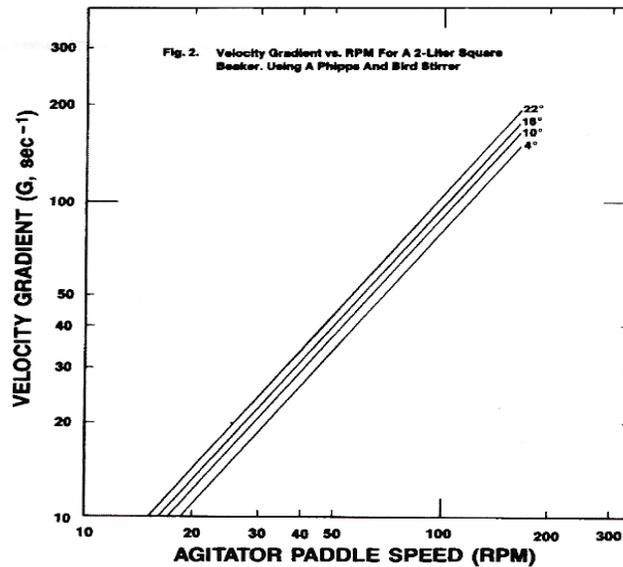
$$C_s = 0.00143 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{s}}$$

$$C_s = 0.00143 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{s}} * 86400 \frac{\text{s}}{\text{dia}}$$

$$C_s = 123.27 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{dia}}$$

## ANEXO 5.6 Relación gradiente de velocidad en s<sup>-1</sup>. Vs Velocidad de Agitación.

Con la gráfica que se presenta a continuación, se realizó la conversión de la velocidad de agitación (R.P.M) en los gradientes de velocidad (s<sup>-1</sup>) utilizados en el desarrollo del estudio.



Fuente: Operating Instructions For Wagner Floc Jar, Hach Company, 2006

## ANEXO 5.7 Preparación de soluciones madre de coagulante

Para la preparación de soluciones madre se empleó sulfato de aluminio líquido con una concentración de 50% v/v; a partir de esta solución se prepararon las soluciones madre con concentraciones de 1, 2, 3, 5, 7, y 10% usando la siguiente expresión:

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

Donde:

- V<sub>1</sub> = volumen solución 1
- C<sub>1</sub> = concentración solución 1
- V<sub>2</sub> = volumen solución 2

$C_2 =$  concentración solución 2

Usando la expresión anterior, para la preparación de una solución del 1% en un balón volumétrico de 100 ml tenemos que;

$$100ml * 1\% = V_2 * 50\%$$

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

$$V_2 = 2ml$$

2 ml sería el volumen de solución de 50% 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 50% (ml)	Cantidad a preparar (ml)	Volumen solución 50% (ml)
1%	50	1	100	2
2%		2		4
3%		3		6
5%		5		10
7%		7		14
10%		10		20

### ANEXO 5.8. Cálculo de las pérdidas de carga en los floculadores.

Para realizar las proyecciones de funcionamiento, como aun la planta no aumenta su capacidad nominal, es necesario realizar un estimativo de las perdidas de carga para así calcular los diferentes gradientes que se generan con un cambio de caudal; para ello se empleó la siguiente expresión:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{hf_1^2}{hf_2^2}$$

Por ejemplo, si tenemos un caudal de 180 L/s con unas pérdidas de carga de 9.2 cm (determinadas en planta) y se quiere determinar las pérdidas para un caudal de 150 L/s se procede de la siguiente manera:

$$\frac{90L/s}{75L/s} = \frac{(9.2cm)^2}{hf_2^2}$$

$$hf_2^2 = \frac{(9.2cm)^2 * 75L/s}{90L/s}$$

$$hf_2 = 8.40cm$$

8.40 cm es la pérdida de carga en el floculador para un caudal de 150 L/s. los demás resultados se calculan de manera similar y se presentan a continuación:

Nota: el caudal de entrada para el cálculo de las pérdidas debe dividirse por dos, debido a que son dos unidades de floculación.

Caudal entrada (L/s)	Caudal de cada unidad floculador (L/s)	Pérdida de carga hf (cm)
150	75	8,40
155	78	8,54
160	80	8,67
165	83	8,81
170	85	8,94
175	88	9,07
180	90	9,20
185	93	9,33
190	95	9,45
195	98	9,58
200	100	9,70
205	103	9,82
210	105	9,94
215	108	10,05
220	110	10,17
225	113	10,29
230	115	10,40
235	118	10,51
240	120	10,62
245	123	10,73
250	125	10,84

## ANEXO 5. REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Fotografía 1. Vista general Planta “El Arroyo”**



**Fotografía 2. Detalle entrada a canaleta Parshall (Punto de muestreo)**



**Fotografía 3. Detalle Canaleta Parshall**



**Fotografía 4. Detalle Mezcla Rápida**



**Fotografía 5. Detalle Floculador**



**Fotografía 6. Detalle Sedimentador**



**Fotografía 7. Detalle Canal de Agua Decantada**



**Fotografía 8. Detalle Filtro**



**Fotografía 9. Detalle Fondo del Filtro**



**Fotografía 10. Detalle Tanque de preparación de solución de coagulante**



**Fotografía 11. Detalle dosificador de solución de Cal**



**Fotografía 12. Detalle Prueba de jarras**



Fotografía 13. Equipo de Jarras



Fotografía 14. Detalle Turbidímetro



**Fotografía 15. Detalle Espectrofotómetro**



**Fotografía 16. Detalle Río Quilichao (Bocatoma)**