

EFECTO DE TURBIEDADES BAJAS SOBRE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE PUERTO MALLARINO - CALI

M. Cristina León-Salazar¹, Luis Darío Muñoz², Gonzalo Tabora³, Luis Germán Delgado⁴, Milton Rosero-Moreano^{3*}

¹Departamento de Química, Universidad del Quindío, Carrera 15 Calle 12 Norte, Armenia-Colombia.

²Grupo Abastecimiento de agua, Instituto CINARA, Universidad del Valle, Ciudad Universitaria Meléndez, Cali-Colombia.

³Departamento de Química, Universidad de Caldas, Calle 65 # 26-10 AA 275, Manizales-Colombia.

⁴Dirección de Operaciones EMCALI Planta río Cauca, Cali-Colombia.

*E-mail: milton.rosero@ucaldas.edu.co

Recibido em: 14/02/2014

Aceito em: 15/07/2014

RESUMEN

Esta investigación evalúa a escala de laboratorio el efecto de baja turbiedad del agua almacenada en el reservorio (80000 m³) que almacena agua decantada y que posteriormente alimenta las unidades de la planta de tratamiento de agua de Puerto Mallarino en la ciudad de Cali, cuando no sea posible la operación del sistema de tratamiento con agua cruda. Las variables de control son: tipo y dosis de coagulante a diferentes valores de pH, evaluadas con el equipo de jar test. Los diagramas de coagulación elaborados permitieron la identificación de las zonas de máxima eficiencia de remoción de turbiedad y color. El estudio se desarrolló en tres fases: Fase I: se empleó agua decantada por la planta Puerto Mallarino al emplear los coagulantes habituales de trabajo, cloruro férrico y sulfato de aluminio, estas dos muestras fueron almacenadas por separado, durante 40 días en tanques de 1000 cm³. Fase II: se recogió agua decantada, sin ser de interés el coagulante que se había empleado en la planta Puerto Mallarino en el momento de la recolección, ésta fue almacenada en un tanque de 1000 cm³ de capacidad, realizando pruebas para el día 1, 3, 8, y 15 de almacenada empleando como coagulante cloruro férrico en un rango de dosis entre 3 – 15 mg L⁻¹. Fase III: se emplearon dos coagulantes de trabajo para encontrar el mayor porcentaje de remoción de color y turbiedad a través del uso de diagramas de coagulación y establecer la relación entre la calidad del agua y la dosis óptima de coagulante. Finalmente se muestra con apoyo de diagramas de coagulación que la remoción de turbiedad con sulfato de aluminio alcanza un 85% a un pH de 6,8, con una dosis de coagulante de 15 mg L⁻¹, mientras que se consigue una eficiencia de 90% de remoción de color a un pH entre 6,0 y 6,5, y dosis menores de coagulante (10 y 12 mg L⁻¹).

Palabras claves: coagulación-floculación, diagramas de coagulación, jar test, reservorio, turbiedad, color.

1 Introducción

Las actuales características fisicoquímicas del agua del río Cauca, principal fuente de abastecimiento de la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino en la ciudad de Cali, hace que sea difícil su tratamiento debido principalmente a picos de turbiedad que superan la capacidad máxima de la planta (reportes históricos mayores a 3000 UNT) o picos de materia orgánica que obligan a parar la producción de agua potable y se producen suspensiones del servicio.

Una de las soluciones planteadas es la posibilidad de almacenar el agua efluente de los floculadores de mantos de lodos, para luego ser enviada nuevamente a la planta antes de la dosificación de sustancias químicas; sin embargo, la turbiedad que no se supera al 50% del tiempo en 5 UNT genera preocupación por parte de Emcali (Empresa encargada de la potabilización en la ciudad de Cali) por la posible fluidificación del manto.

Por lo tanto se hace necesario evaluar el efecto de turbiedades bajas sobre los procesos de coagulación – floculación en la planta de potabilización de agua Puerto Mallarino en la ciudad de Cali, empleando factores de control como: dosis, tipo de coagulante y pH, los cuales jugarán un papel importante para obtener agua tratada con las condiciones óptimas para el consumo humano regulado por la Resolución 2115 de 2007 de la República de Colombia, para lo cual serán la remoción de color y turbiedad los factores de respuesta en este estudio. La evaluación se realizará a nivel de laboratorio, simulando los procesos de coagulación y floculación.

Este estudio pretende aportar herramientas como los diagramas de coagulación [1], para establecer la relación entre la calidad del agua y la dosis óptima de coagulante (sulfato de aluminio y/o cloruro férrico), en respuesta al estudio del efecto de la tratabilidad de aguas con baja turbiedad [2] y su impacto en las condiciones de operación y mantenimiento, revisando las respectivas recomendaciones.

2 Parte Experimental

El estudio realizado en términos de pasantía, fue en la Estación de Investigación de Cinara, ubicada en la planta de tratamiento de agua potable de Puerto Mallarino, Cali-Colombia.

2.1 Equipos

Se utilizó un jar test marca Nova Etica, modelo 218 LDB, el cual tiene la posibilidad de adición de reactivos de modo simultáneo a cada una de las seis jarras. Las jarras con capacidad de 2 L, son cuadradas y cuentan con un sistema de recolección de muestras localizado a 7,5 cm del nivel superior del agua.

2.2 Parámetros operacionales del equipo de jar test

Los parámetros operacionales del equipo de jar test consignados en la tabla 1, son los empleados en todas las pruebas de jar test, para ambos coagulantes aplicados (cloruro férrico y sulfato de aluminio), hay que destacar que estos valores son los habituales de trabajo en el laboratorio de la planta de Puerto Mallarino y se han mantenido constantes durante todo el estudio. Por otro lado la dosis de cada coagulante (mg L^{-1}), se varió en función de conseguir las mejores eficiencias de turbiedad y color en el agua sedimentada, criterio que adoptaremos para la elección del mejor tratamiento.

Tabla 1. Parámetros operacionales jar test

Parámetros operacionales jar test	
Gradiente de mezcla rápida	200 rpm
Tiempo mezcla rápida	1 minuto
Gradiente de mezcla lenta	50 rpm
Tiempo mezcla lenta	20 minutos
Tiempo de sedimentación	20 minutos

2.3 Parámetros de control

Independiente del coagulante aplicado y del tiempo de almacenamiento del agua decantada, antes de iniciar cada jar test, se realizaron los siguientes parámetros de control: pH, turbiedad, alcalinidad, color y temperatura. Además durante el desarrollo de la prueba y en el agua tratada se midieron: pH de coagulación, pH de sedimentación, turbiedad de sedimentación y color de sedimentación. Análisis todos realizados según el Standard Methods de la AWWA APHA WPFC [3].

3. Resultados y Discusión

3.1 Fase I

3.1.1. Características del agua decantada

Los resultados de las características iniciales: pH, turbiedad, alcalinidad y color del agua con 40 días de almacenamiento, arrojó valores tan elevados de pH entre 9,08 – 9,40, valores altos de alcalinidad, entre 41,07 – 43,38, debido a que se ha aumentado su contenido de biomasa, además de la pérdida en el contenido de CO_2 que se genera al cabo de 40 días de almacenamiento y expuesto a los cambios climáticos. El mayor inconveniente de estos pH tan alcalinos es el favorable ambiente para la formación de subproductos de la desinfección, (THMs.), pues el agua que entra al reservorio es agua preclorada, por lo tanto no es recomendable en este el almacenamiento prolongado de aguas [4].

Sin embargo, es necesario aclarar que las variaciones de pH dependen del área superficial y del volumen del estanque, por lo tanto no es preciso hacer una analogía de esta variación entre el tanque de 1000 cm^3 y el reservorio. Por lo tanto, el reservorio debe contar con sensores de pH a tres profundidades diferentes, dependiendo hasta donde llegue la luz.

3.1.2 Parámetros de control

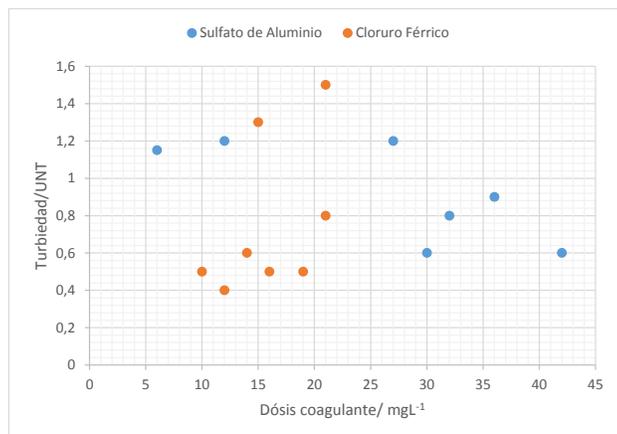
Las características iniciales del agua muestra que todos los valores de turbiedad se encuentran por debajo de 5 UNT, para lo cual es necesario encontrar la dosis óptima para tratar aguas con tan bajos valores de turbiedad.

En el caso del jar test realizado con cloruro férrico para tratar el agua decantada con este mismo coagulante, se produjeron los valores más bajos de turbiedad 0,4 UNT, con 12 mg L^{-1} de dosis de cloruro férrico, al compararlos con los valores de turbiedad producidos con el otro coagulante, 0,6 UNT, con 30 mg L^{-1} de dosis de sulfato de aluminio.

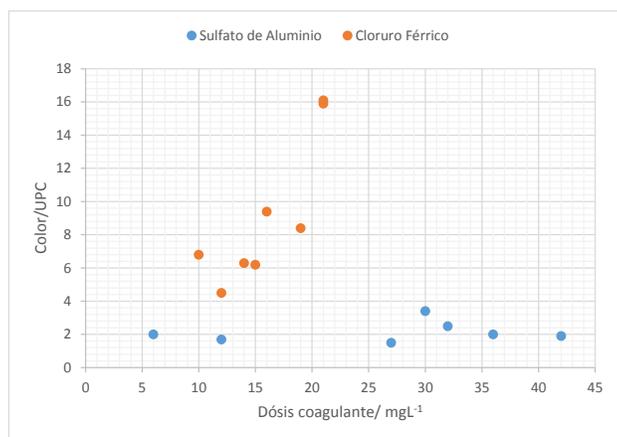
Las dosis óptimas con cada uno de los coagulantes las podemos visualizar con más claridad en los gráficos de turbiedad vs dosis (gráfico 1) y color vs dosis (gráfico 2) de cada uno de los coagulantes. En el caso de cuando se empleó como coagulante sulfato de aluminio, la dosis óptima está en 27 mg L^{-1} , y para el cloruro férrico el valor óptimo alcanza los 12 mg L^{-1} . A estas respectivas dosis se consiguieron los valores más bajos de turbiedad y color en cada caso, resultando diferencias poco significativas para la remoción de turbiedad (gráfico 1) pero con altos contrastes cuando la variable de respuesta fue color (gráfico

2), con menores valores de concentración de color para el caso del coagulante sulfato de aluminio. Los mayores valores de color obtenidos con cloruro férrico resultan normales debido al aporte propio que hace el coagulante al color del agua.

Gráfica 1. Turbiedad versus dosis de coagulante



Gráfica 2. Color versus dosis de coagulante



3.2 Fase II

3.2.1 Características del agua decantada

En esta segunda fase se trabajó con el agua adicionando cloro y carbón activado, simulando el agua que en escala real entra a los procesos de coagulación, floculación y desinfección a una concentración de 3 mg L⁻¹ para cloro y 1,5 mg L⁻¹ para carbón activado. En la tabla 2 se recopilan los resultados de los promedios de las características iniciales del agua con 1, 3, 8 y 15 días de recolección, respectivamente. Esta agua fue decantada en

la planta Puerto Mallarino empleando cloruro férrico en su tratamiento [5], cuya dosis de trabajo en el momento de recolección era de 16 mg L⁻¹, para un agua cruda del río Cauca con 60 UNT.

Al observar los datos de pH del agua decantada, con 1, 3, 8 y 15 días de recolección, se tiene valores máximos y mínimos así, 6,77 – 7,2, 7,58 – 9,75, 8,24 (único valor) y 9,25 – 9,37, correspondientes a los días 1, 3, 8, y 15, respectivamente. Esta variación creciente de los valores se relaciona directamente con la edad del agua almacenada, lo cual implica un aumento del riesgo químico por la estrecha relación entre el pH y la formación de THMs a través del tiempo[6]. Por lo anterior, se debe considerar muy cuidadosamente el tener o no en el reservorio agua con más de tres días de almacenamiento.

Tabla 2. Promedios características iniciales del agua decantada en los días 1, 3, 8 y 15.

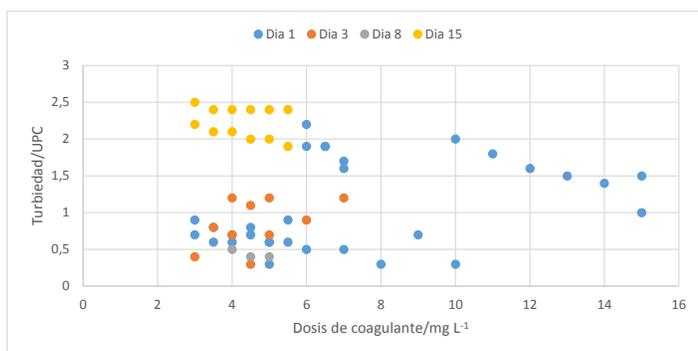
Parámetro	DIA			
	1	3	8	15
pH	7,08	8,42	8,24	9,31
Turbiedad	2,2	1,3	0,6	2,7
Color	3,9	4,37	2,8	3,0

3.2.2 Parámetros de control

Los datos de turbiedad de sedimentación y color de sedimentación, generados en diversas pruebas para los días 1, 3, 8 y 15, se observan en las gráficas 3 y 4, se muestra la relación de estos valores de turbiedad de sedimentación frente a la dosis de coagulante (cloruro férrico) adicionada a las pruebas en esta segunda fase del estudio, produciendo los siguientes resultados de dosis óptima en la que se produce la menor turbiedad, a través del tiempo.

En el día 1, (ver gráfico 3), el menor valor de turbiedad fue 0.6 UNT, el cual coincidió para tres dosis de coagulante, siendo 3,5 mg L⁻¹ la menor dosis, para un agua de turbiedad inicial de 2,5 y pH inicial de 6,77 unidades. En el día 3, (ver gráfico 3), se obtuvo una turbiedad de 0,4 UNT con 3 mg L⁻¹ de dosis de cloruro férrico, para un agua de turbiedad inicial de 0,9 y pH inicial de 7,92 unidades.

Gráfico 3. Turbiedad versus dosis cloruro férrico. Días 1, 3, 8 y 15



Para el día 8, (ver gráfico 3), se removió turbiedad hasta 0,4 UNT, con una dosis de 4,5 mg L⁻¹, cuyas características del agua inicial eran 0,6 UNT y pH 8,24, para remover turbiedad en un 33,3% y se observa cómo para el día 15 el pH inicial ya ha aumentado su valor a 9,37 unidades y su turbiedad a 2,6 UNT, se logra una turbiedad de sedimentación de 2,2 UNT con una dosis de 3 mg L⁻¹, (ver gráfico 3).

Es decir que para aguas que entran con bajas turbiedades a los procesos de coagulación y floculación, se obtienen buenas remociones de turbiedad en un rango de dosis de cloruro férrico entre 3 y 4,5 mg L⁻¹, cuyos porcentajes de remoción corresponden para cada día (1, 3, 8 y 15 días): 76, 55,6, 33,3 y 18,5 % respectivamente.

3.3 Fase III

3.3.1 Características del agua

Para el desarrollo de los diagramas de coagulación fue necesario generar datos donde se correlacionará dosis de coagulante a diferentes pH. El pH inicial del agua fue de 6,05, y se empleó modificador de pH para alcanzar los valores de 6,5, 6,8, 7,2 y 7,5. En la tabla 3 se muestra los promedios de las características iniciales del agua para cuando se trabajó con cloruro férrico en el día 1, sulfato de aluminio en el día 1 y cloruro férrico en el día 3, respectivamente.

Tabla 3. Promedios Características iniciales del agua decantada con los dos coagulantes

Parámetro	FeCl ₃ (día 1)	Al ₂ (SO ₄) ₃ (día 1)	FeCl ₃ (día 3)
pH	6,81	6,8	6,83
Turbiedad	1,6	1,6	1,4
Color	3,88	3,88	3,12

3.3.2 Parámetros de control

En las tablas 4, 5, y 6, se muestran los pH alcanzados por las muestras después de la adición de las soluciones de carbón activado, cloro y cada una de las dosis de trabajo, entre 3,0 y 8,5 mg L⁻¹ de coagulante aplicado con lo cual se realizó el estudio del día 1 para ambos coagulantes y el día 3 para cloruro férrico. Específicamente en la tabla 4, se recopila la información de las pruebas del día 1 con cloruro férrico, se observa que la tendencia para valores más altos de porcentajes de remoción de turbiedad se alcanzó a pH 6,8 en las diferentes dosis aplicadas. Sin embargo, es a pH 7,0, en el cual se alcanzaron los porcentajes de remoción de color más altos.

Tabla 4. Datos jar test fase III, empleando agua decantada con cloruro férrico. Día 1.

Dosis (mg L ⁻¹)	pH coagulada	Remoción turbiedad %	Remoción Color %
3	6.59	80,0	66,7
3	7.08	50,0	92,0
3,5	6,51	85,7	76,3
3,5	6,98	33,3	92,0
4	6,41	92,0	72,2
4	6,94	75,0	92,0
4,5	6,31	92,0	69,4
4,5	6,93	83,3	92,0
5	6,22	96,0	61,1
5	6,82	66,7	92,0
5,5	6,03	88,0	63,9
5,5	6,77	75,0	92,0
6	6,06	84,0	91,7
6	6,59	75,0	60,0
6,5	5,86	84,0	83,3
6,5	6,45	75,0	56,0
7	6,04	92,9	52,6
7	5,73	92,0	91,7
7,5	5,74	84,0	83,3
7,5	6,33	91,7	60,0
8	5,5	88,0	47,2
8	6,24	91,7	52,0
8,5	5,41	88,0	41,7
8,5	6,25	91,7	48,0

Para la muestra de agua decantada del día 1, se obtuvieron remociones de color muy altas alcanzando valores del 92% en casi todas las dosis de coagulante adicionado, sin embargo, es importante considerar la menor dosis de coagulante, se seleccionó como dosis óptima de cloruro férrico 3 mg L⁻¹, trabajándose a un pH de 7,5 para alcanzar una remoción de color del 92%, la cual tenía como características iniciales: turbiedad de 1,2 y color de 2,5. En cuanto la mayor remoción de turbiedad 85,7%, se requiere una dosis de 3,5 mg L⁻¹ de coagulante a un pH

de 6 unidades, para cuando las característica iníciales del agua son, 1,4 de turbiedad y 3,8 de color.

En la tabla 5, se consignan los datos para la muestra del día 1, que es tratada en jar test con sulfato de aluminio como coagulante, allí se observa que los porcentajes de remoción de turbiedad más altos se alcanzaron a pH 6,44 en las dosis de 15 mg L⁻¹. Mientras que los porcentajes de remoción de color más altos se alcanzaron a pH 6,19 y 6,32 a unas dosis de 11 y 12 mg L⁻¹.

Para la muestra de agua decantada del día 1, cuyas características iníciales son, turbiedad de 2,5 y color de 3,6, se seleccionó como dosis óptima de sulfato de aluminio, 11 mg L⁻¹, trabajándose a un pH de 6,8 para alcanzar una remoción de color del 96,5%. Sin embargo con los datos arrojados por las pruebas la mayor remoción de turbiedad se logró a muy baja eficiencia, 83,3%, la cual a la dosis de 15 mg L⁻¹ de coagulante a un pH de 7,2 unidades, para cuando las característica iníciales del agua son, 1,7 de turbiedad y 5,7 de color.

Tabla 5. Datos jar test fase III, empleando agua decantada con Sulfato de Aluminio. Día 1.

Dosis (mg L ⁻¹)	pH coagulada	Remoción turbiedad %	Remoción Color %
10	6,27	7,1	94,7
10	6,01	28,0	94,4
11	6,31	21,4	94,7
11	6,32	29,4	96,5
12	5,69	12,0	94,4
12	6,19	23,5	96,5
13	5,67	16,0	66,7
14	5,72	20,0	94,4
14	6	23,5	91,2
15	5,34	20,0	94,4
15	6,44	83,3	48,0
16	5,16	35,7	36,8
17	4,85	21,4	18,4
17	6,14	25,0	92,0
18	6,08	50,0	92,0
19	6,04	33,3	80,0
20	4,89	21,4	21,1
20	5,94	16,7	68,0
21	4,78	42,9	0,0
21	5,82	16,7	56,0

Al observar los datos del día 3, (tabla 6), se encontraron los mejores porcentajes de remoción de turbiedad a pH 7,2 a las

diferentes dosis aplicadas, mientras que los porcentajes de remoción de color más altos se produjeron a pH 7,5.

Para la muestra de agua decantada del día 3, cuyas características iníciales son, turbiedad de 1,7 y color de 3,2, se seleccionó como dosis óptima de cloruro férrico 4 mg L⁻¹, trabajándose a un pH de 7,5 para alcanzar una remoción de color del 59,4%. Pero si lo que se requiere es alcanzar la mayor remoción de turbiedad 83,3%, se requiere una dosis de 3,5 mg L⁻¹ de coagulante a un pH de 6,5 unidades, para cuando las característica iníciales del agua son, 1,3 de turbiedad y 2,3 de color. Sin embargo, una selección más acertada la podemos visualizar en los diagramas de coagulación (Gráficos 4-9). Los diagramas de coagulación permitieron establecer una relación directa existente entre la calidad del agua y la dosis del coagulante y modificador de pH para su tratamiento.

Tabla 6. Datos jar test fase III, empleando agua decantada con cloruro férrico. Día 3.

Dosis (mg L ⁻¹)	pH coagulada	Remoción turbiedad %	Remoción Color %
3	7,05	77,8	31,4
3	6,93	76,5	40,6
3,5	6,85	83,3	25,7
3,5	6,77	52,9	40,6
4	6,66	94,4	20,0
4	6,65	70,6	59,4
4,5	6,54	83,3	22,9
4,5	6,53	70,6	56,3
5	6,46	88,9	25,7
5	6,28	70,6	40,6
5,5	6,92	88,9	28,6
5,5	6,26	70,6	40,6

3.3.3 Diagramas de coagulación

En el diagrama para remoción de turbiedad con cloruro férrico para el día 1, (gráfico 4), se muestra una buena eficiencia en la remoción de turbiedad a pH entre 5,5 y 6,5, para dosis de cloruro férrico entre 3,5 y 7,5 mg L⁻¹, sin embargo realizando el análisis del costo beneficio se optará por la menor dosis de coagulante, mientras que se muestra una buena eficiencia de remoción de color a pH de 6, la cual está en el rango ideal para la remoción de turbiedad, sin embargo, la dosis en este caso aumenta a 6 mg L⁻¹ para remover color, (gráfico 5) en comparación a lo requerido a la remoción de turbiedad.

Gráfico 4. Diagrama para remoción de turbiedad con cloruro férrico (día 1).

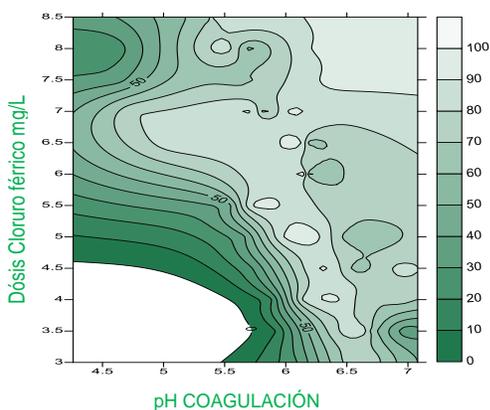


Gráfico 5. Diagrama para remoción de color con cloruro férrico (día 1).

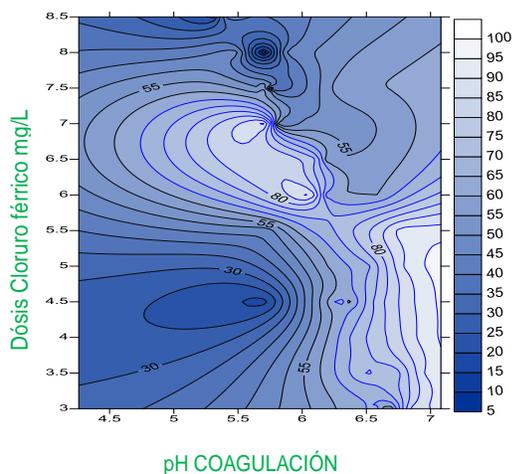


Gráfico 6. Diagrama para remoción de turbiedad con cloruro férrico (día 3).

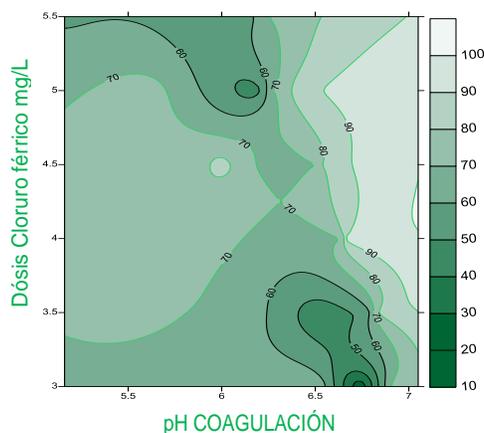


Gráfico 7. Diagrama para remoción de color con cloruro férrico (día 3).

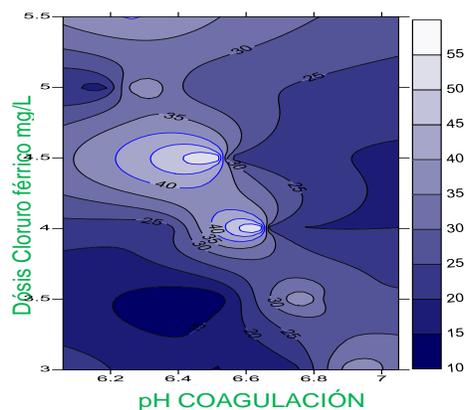


Gráfico 8. Diagrama para remoción de turbiedad con sulfato de aluminio (día 1).

Para la muestra de agua decantada del día 3, los diagramas de coagulación de remoción de turbiedad y color, (gráficos 6 y 7) nos muestran que a pH alrededor de 6,8, aplicando una dosis de cloruro férrico de 4 mg L^{-1} , a una muestra de agua cuyas características iníciales son, turbiedad de 1,7 y color de 3,2, se produce la mayor remoción de turbiedad. En esta misma dosis y pH, se puede obtener buena remoción de color según nos muestra el diagrama de remoción de color para el día 3 con cloruro férrico.

Al comparar los diagramas de remoción de color y turbiedad empleando como coagulante cloruro férrico, con los diagramas para cuando se emplea sulfato de aluminio, se observa que el uso de sulfato de aluminio requiere dosis más altas que las de cloruro férrico y un estrecho rango de pH. Sin embargo, la planta debe realizar una selección de coagulante considerando el costo de cada uno.

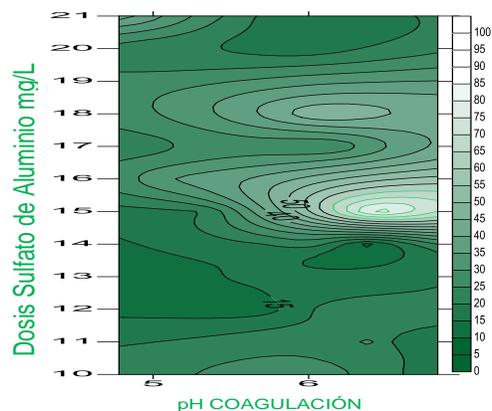
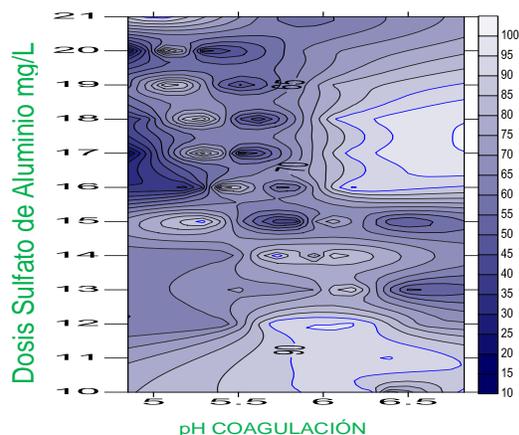


Gráfico 9. Diagrama para remoción de color con sulfato de aluminio (día 1).



En el diagrama para remoción de turbiedad con sulfato de aluminio para el día 1, (gráfico 8), se muestra una buena eficiencia en la remoción de turbiedad a pH de 6,8, para dosis de coagulante de 15 mg L^{-1} , mientras que se muestra una buena eficiencia de remoción de color a pH entre 6,0 y 6,5, el cual esta similar para la remoción de turbiedad, sin embargo, la dosis en este caso rebaja a un rango entre 10 y 12 mg L^{-1} para remover color, (gráfico 9) en comparación a lo requerido a la remoción de turbiedad.

4. Conclusiones

Al comparar el color del agua de entrada a las pruebas, que eran valores entre 2,5 y 6, en los valores se salida del agua ya tratada, en ocasiones, estos últimos valores sobrepasaban a los ratament, lo cual generaba porcentajes de remoción de color negativos. Em esto se indica em el caso del cloruro férrico em aumento del color a causa de sobre dosis de coagulante y em el caso del sulfato de ratamen, su menor ratamento para remover ratame ratamen.

Debido a que las mejores ratamento de remoción de turbiedad y color se realizaron em las pruebas bajo los mismos ratamento operacionales para el ratamento mediante los dos coagulantes, se facilita el cambio de em coagulante por em sin requerir la adecuación de infraestructura física, em em cuidado especial em el pH para los casos de adición de cloruro férrico como coagulante.

Se pudo ver em este ratame preliminar que la selección de coagulante em el ratamento de agua del reservorio sería indiferente al coagulante empleado em la planta, debido a que no se presentaron diferencia em los resultados a cuando se empleo el mismo coagulante empleado em el agua decantada, a cuando se empleó uno diferente.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las Empresas Municipales de Cali EMCALI y al Instituto Cinara por la acogida durante la pasantia de investigación em su centro de experimentación em la Planta de Puerto Mallarino, Cali –Colombia.

LOW TURBIDITIES EFFECT ON THE COAGULATION-FLOCCULATION PROCESSES IN THE POTABILIZATION PLANT OF PUERTO MALLARINO-CALI

ABSTRACT: This investigation evaluated, in laboratory scale, the effect of low turbidity of the decanted water stored in the reservoir ($80,000 \text{ m}^3$) which thereafter supplies the units of the Puerto Mallarino- treatment plant in Cali, when the operation of the system is not possible with crude water. The control variables are: coagulant type and doses at different pH values, assessed with the jar test equipment. The coagulation diagrams developed allowed the identification of the maximum efficiency zones regarding turbidity removal and color. The study was done in three phases: Phase I: decanted water from the Puerto Mallarino plant was used utilizing the usual working coagulants: ferric chloride and aluminum sulfate; these two samples were stored separately, during 40 days, in $1,000 \text{ cm}^3$ tanks. Phase II: decanted water was recollected in the Puerto Mallarino plant, regardless of the coagulant used in the moment of the collection. This water was stored in a $1,000 \text{ cm}^3$ tank, performing tests during days 1, 3, 8 and 15 using ferric chloride as a coagulant in $3 - 15 \text{ mg L}^{-1}$ dosage range. Phase III: the two working coagulants were used in order to find the highest color and turbidity removal percentage through the use of coagulation diagrams and to stablish the relationship between water quality and optimal coagulant doses. Finally, with the aid of coagulation diagrams, it is shown the turbidity removal with aluminum sulfate reaches 85% at 6.8 pH with a coagulant dose of 15 mg L^{-1} , while a 90% efficiency of color removal is achieved at 6.0 and 6.5 pH with coagulant lower dosage (10 and 12 mg L^{-1}).

Keywords: coagulation-flocculation, coagulation diagrams, jar test, reservoir, turbidity, color

Referencias

[1] YANG, Z.L.; GAO, B.Y.; YUE, Q.Y.; WANG, Y. Effect of pH on the coagulation performance of Al-based coagulants and residual aluminum speciation during the treatment of humic acid-kaolin synthetic water. Journal of Hazardous Materials, Vol. 178, p.596-603, 2010.

[2] GREGOR, J.E; NOKES, C.J.; FENTON, E.. Optimising Natural Organic Matter Removal From Low Turbidity Waters by Controlled pH Adjustment of Aluminium Coagulation. Pergamon. War. Res., Vol. 31, No. 12, p.2949-2958, 1997.

[3] Standard Methods for the examination of water and wastewater. Twenty second edition. Denver: APHA AWWA WEF, 2012, p.1496.

[4] HEAD, R.; HART, J.; GRAHAM, N. Simulating the effect of blanket characteristics on the floc blanket clarification process. Water Sci. Technol., Vol. 36 (4), p.77-84, 1997.

[5] SIÉLIÉCHI J. M. et al. Changes in humic acid conformation during coagulation with ferric chloride: Implications for drinking water treatment. Water Research, Vol. 42, p.2111-2123, 2008.

[6] MONCAYO, A.; PULGARIN, C.; BENITEZ, N. Degradation of DBPs' precursors in river water before and after slow sand filtration by photo-Fenton process at pH 5 in a solar CPC reactor. Water Research, Vol. 42, p.4125-4132, 2008.