

# Remoción de Sustancias Húmicas por Coagulación con Alumbre

Miller Camargo Valero\* - Luis Eduardo Cruz Torres\*\*

## RESUMEN

**En la búsqueda de mejores condiciones para remover material precursor en la formación de subproductos de desinfección con cloro libre, se encontró que la absorbancia al ultravioleta a 254 nm (AUV 254 nm) es un parámetro que puede ser usado como medida no específica para estimar concentraciones de material precursor, específicamente sustancias húmicas, y además, como instrumento de control en las operaciones y procesos previos a la desinfección con cloro libre. El estudio plantea la importancia para que en los ensayos de tratabilidad de agua para potabilización se incluya la AUV 254 nm como parámetro de control, ya que en ensayos de coagulación con alumbre se encontró que la remoción de estas sustancias depende de la dosis de coagulante y el pH de coagulación.**

## INTRODUCCIÓN

La presencia de sustancias orgánicas halogenadas en aguas para consumo, como trihalometanos y ácidos haloacéticos entre otros, es consecuencia del tratamiento no apropiado de aguas con contenidos considerables de materia orgánica, mediante procesos de desinfección con cloro libre. Con miras a reducir el peligro potencial al que estarían expuestas las poblaciones abastecidas con este tipo de aguas, dado que las sustancias formadas son reconocidas como agentes cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos, se plantea como alternativa realizar estudios orientados a mejorar la eficiencia de remoción de precursores de sustancias orgánicas halogenadas, en etapas previas a la desinfección con cloro libre.

El ensayo de jarras es una prueba realizada por operadores de plantas de tratamiento en la búsqueda de las mejores condiciones de operación para las etapas de coagulación – floculación. Empleando el ensayo de jarras como herramienta, el presente estudio propone una metodología que permite encontrar los valores óptimos de parámetros como: dosis de coagulante, gradiente de floculación, tiempo de floculación y pH de coagulación, con el fin

de encontrar la máxima remoción de material precursor de subproductos en la desinfección con cloro libre.

En los ensayos de jarras, la AUV 254 nm se plantea como un parámetro alternativo en la determinación de material precursor; esta medida no reemplaza otros métodos como el Carbono Orgánico Total (COT) o mediciones de materia orgánica, pero debido a su rapidez, economía y sencillez puede convertirse en un parámetro de interés en el monitoreo y control de material precursor en plantas de tratamiento.

## I. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de exponer en forma clara y concisa las diferentes técnicas empleadas en cada una de las tres etapas de la fase experimental, se presenta a continuación una descripción de la metodología utilizada. Esta descripción incluye los pasos metodológicos, materiales, equipos y reactivos.

### A. CURVA DE CALIBRACIÓN

En la realización de una curva de calibración para establecer la relación entre la concentración de sustancias húmicas (SH) y la absorbancia al ultravioleta, se desarrollaron las siguientes etapas:

#### 1. BARRIDO ESPECTRAL EN EL ULTRAVIOLETA

Con miras a determinar la longitud de onda en el espectro de radiación ultravioleta, para la cual se presenta una mayor absorbancia, se emplearon muestras de agua con concentraciones fijas de material húmico y una que contenía fenol. Este último de interés por ser un grupo funcional característico en la composición de las sustancias húmicas.

La absorbancia fue medida en un espectrofotómetro Spectronic® 21 DUV en celdas de cuarzo de 1 cm. El barrido

\*Ingeniero Químico, Magíster en Ingeniería Ambiental, Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia

\*\*Químico, Magíster en Sanitaria, Profesor Asociado (R), Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia

se hizo para longitudes de onda entre 200 y 300 nm y como blanco para la calibración del equipo se usó agua destilada. En la preparación de las soluciones con material húmico se emplearon dos diferentes fuentes: una correspondiente a un reactivo de referencia de la casa ALDRICH (sal de sodio de ácidos húmicos, catálogo H1,675-2 sólida) y la otra, HUMITA15, que es una solución comercial que contiene 10% de ácidos húmicos y 5% de ácidos fúlvicos en medio alcalino. Las concentraciones manejadas fueron de 35 mg/L de SH ALDRICH, 10 mg/L de SH HUMITA15 y 1 mg/L de fenol preparado a partir de reactivo analítico MERCK.

## 2. VARIACIÓN DEL pH

Debido al efecto que tiene el pH sobre la concentración de las SH, fue necesario realizar ensayos para establecer un intervalo de pH en el que la variación de la absorbancia al ultravioleta, a una determinada longitud de onda, fuera mínima para una misma solución de SH de concentración determinada.

Las lecturas de absorbancia fueron realizadas para una longitud de onda de 254 nm empleando tres réplicas sobre muestras de agua con SH preparadas con ácidos húmicos ALDRICH en una concentración de 10 mg/L. El pH de la muestra inicial se modificó con soluciones de ácido clorhídrico 0,1 N e hidróxido de sodio 0,1 N, para un intervalo de pH entre 2,0 y 11,5; las mediciones de pH fueron realizadas en un medidor de pH, 340 pHmeter TOLEDO a 25°C como temperatura de referencia.

## 3. CURVA DE CALIBRACIÓN

La necesidad de determinar la concentración de SH en muestras de agua de una forma sencilla y rápida, requirió la elaboración de una curva de calibración basada en la absorbancia al ultravioleta. Para ello se prepararon soluciones de ácidos húmicos ALDRICH en agua destilada para concentraciones entre 0,05 y 50 mg/L; las lecturas de absorbancia al ultravioleta a 254 nm (AUV 254 nm) fueron realizadas con nueve réplicas por cada concentración y los datos resultantes fueron tratados bajo una distribución normal y aplicada simultáneamente una prueba de rechazo de datos para un nivel de significancia del 5%. Los valores promedio de AUV 254 nm de cada concentración se ajustaron mediante una regresión lineal de mínimos cuadrados para así establecer la linealidad entre la concentración de SH y la AUV 254 nm como variable de respuesta.

## B. PREPARACIÓN DEL AGUA SINTÉTICA

La muestra de agua empleada para los ensayos de jarras fue preparada artificialmente con el fin de reducir las variables y los parámetros de interferencia, así como también para asegurar

en cierta medida la replicabilidad en los ensayos al no variar en forma significativa las condiciones iniciales de los mismos.

La preparación consistió en modificar las características del agua destilada agregando arcilla para introducirle turbiedad al agua; esta arcilla malla 40 colectada en muestras de suelo de la Ciudad Universitaria y preparada en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ensayos e Investigación, IEI, fue elegida por provenir de un suelo natural y para darle un grado de heterogeneidad a la muestra, ya que si se empleara Bentonita u otra arcilla comercial, la turbiedad resultante sería de carácter homogéneo y menos representativa de un agua natural. Para modificar la alcalinidad e impartir propiedades buffer en la muestra se adicionó bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ , grado técnico) y ácidos húmicos ALDRICH como material húmico.

Las cantidades empleadas en la preparación de la muestra de agua fueron:

Agua destilada: 20 litros  
Sustancias húmicas : 0,4000 g  
Arcilla: 5,0000 g  
Bicarbonato de sodio: 1,7000 g

## C. ENSAYOS DE JARRAS

La programación de diferentes ensayos de jarras con miras a encontrar las condiciones óptimas bajo las cuales la concentración de material húmico en el agua tratada fuera mínima, contempló las siguientes etapas:

### 1. DOSIS ÓPTIMA DE ALUMBRE

En esta serie de ensayos se utilizó la siguiente secuencia:

- **Preparación de la muestra de agua**
- **Mezcla rápida:** realizada durante un tiempo de 30 segundos mediante agitación manual, las dosis de coagulante variaron entre 10 y 120 mg/L de alumbre tipo A. Para cada dosis fueron realizadas tres réplicas.
- **Mezcla lenta:** las condiciones de la mezcla lenta se mantuvieron constantes para las diferentes dosis estudiadas. La floculación se llevó a cabo a 34 RPM (que corresponde a un gradiente de velocidad  $G=36 \text{ s}^{-1}$ ) durante 20 min.
- **Sedimentación:** una vez culminada la floculación, los vasos fueron retirados del equipo de jarras y puestos a sedimentar durante 3 minutos. La muestra de agua se tomó con ayuda de un sifón para garantizar la extracción a un mismo nivel.
- **Medición de turbiedad:** la turbiedad remanente en las muestras de agua sedimentada se determinó en un turbidímetro HACH 2100 A.

- **Medición de AUV 254 nm:** para realizar la medición de AUV 254 nm en condiciones similares a las que fue elaborada la curva de calibración, fue necesario remover la turbiedad remanente de las muestras a analizar, por medio de centrifugación en una centrífuga IEC-Centra MP4 a 3.500 RPM durante 10 minutos. Al sobrenadante se le ajustó el pH, en los casos en que lo ameritaba, para leer AUV 254 nm en el intervalo de pH recomendado.

## 2. GRADIENTE ÓPTIMO DE MEZCLA LENTA

La secuencia empleada en esta serie de ensayos fue:

- **Preparación de la muestra de agua**
- **Mezcla rápida:** manual durante 30 segundos con la dosis de coagulante óptima encontrada en la etapa anterior.
- **Mezcla lenta:** el tiempo de floculación fue de 20 minutos para los diferentes ensayos en que se modificó la velocidad de agitación de las paletas entre 10 y 46 RPM ( $6 < G < 56 \text{ s}^{-1}$ ). Estos ensayos fueron realizados por triplicado.
- **Sedimentación.**
- **Medición de turbiedad.**
- **Medición de AUV 254 nm.**

## 3. TIEMPO ÓPTIMO DE MEZCLA LENTA

Los pasos involucrados en el desarrollo de esta etapa de la fase experimental fueron:

- **Preparación de la muestra de agua**
- **Mezcla rápida:** realizada durante un tiempo de 30 segundos mediante agitación manual empleando la dosis óptima encontrada.
- **Mezcla lenta:** el gradiente óptimo encontrado, fue empleado para los ensayos en que se modificó el tiempo de floculación entre 5 y 30 minutos, así como también para las tres réplicas realizadas.
- **Sedimentación.**
- **Medición de turbiedad.**
- **Medición de AUV 254 nm.**

## 4. pH ÓPTIMO DE COAGULACIÓN

En esta serie de ensayos se estableció el pH de coagulación, como el pH del agua cruda antes de la adición de coagulante. La secuencia involucrada fue:

- **Preparación de la muestra de agua**
- **Toma de muestra y ajuste de pH** al valor del ensayo, empleando soluciones 0,1 N de HCl o NaOH según el caso. El intervalo de pH estudiado fue entre 3 y 11, cada ensayo con tres réplicas.
- **Mezcla rápida:** empleando condiciones ya ajustadas.
- **Mezcla lenta:** empleando condiciones ya ajustadas.
- **Sedimentación.**
- **Medición de turbiedad.**
- **Medición de AUV 254 nm.**

El equipo empleado para esta serie de ensayos fue un Peterson Laboratory Floculator de cuatro agitadores y vasos de sección circular con capacidad de un litro.

## II. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. CURVA DE CALIBRACIÓN

#### 1. BARRIDO ESPECTRAL EN EL ULTRAVIOLETA

Los resultados del ensayo que involucró la medición de absorbancia de diferentes muestras que contenían SH ALDRICH, SH HUMITA15 y fenol, a diferentes longitudes de onda, se resumen en la figura 1.

Se observa que en la región del ultravioleta las SH presentan absorción de radiación. La intensidad con que estas sustancias absorben la radiación ultravioleta va decreciendo en la medida en que aumenta la longitud de onda, manteniendo comportamientos similares en forma independiente de la naturaleza del material húmico, tal y como se aprecia para las SH ALDRICH Y SH HUMITA 15.

Este comportamiento es similar al reportado por Doobs *et al.*[5] para efluentes de plantas municipales en donde se buscaba el uso de AUV 254 nm como parámetro sustituto del COT. En cuanto a la respuesta de absorbancia a diferentes longitudes de onda para la muestra con fenol, es clara la presencia de longitudes de máxima absorbancia, lo cual indica que a pesar de que este grupo funcional es característico de las SH, no es el de mayor incidencia sobre la absorbancia al ultravioleta.

Para continuar con los demás ensayos fue elegida una longitud de onda de 254 nm. A pesar de que no es la de mayor absorbancia para las SH, su elección se realizó dado que disminuye las interferencias que puedan aportar sustancias inorgánicas como nitritos, nitratos y bromuros, que tienen fuertes bandas de absorción en el ultravioleta; además, fue elegida con el ánimo de comparar con los resultados de otros investigadores que emplearon esta longitud de onda en sus trabajos (Doobs *et al*, [5], Edzwald *et al*, [7] entre otros).

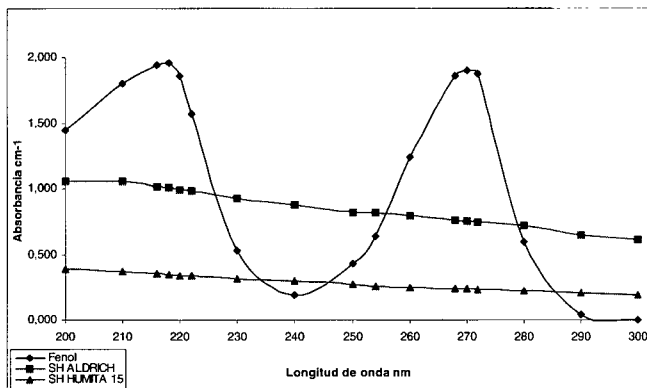


Figura 1. Barrido en el espectro de luz ultravioleta

## 2. VARIACIÓN DEL pH

El efecto del pH sobre la AUV 254 nm de muestras que contenían 10 mg/L SH ALDRICH se presenta en la figura 2. Como se observa, la disminución del pH en muestras que contienen material húmico provoca una disminución en la absorción de luz ultravioleta, debido básicamente al efecto que tiene el pH sobre la concentración de las sustancias húmicas.

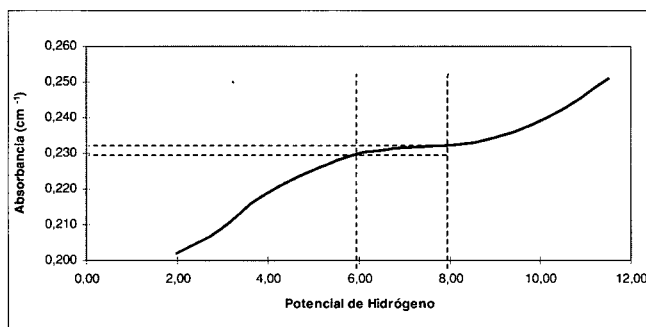


Figura 2. Efecto del pH sobre la AUV 254 nm

Sin embargo, se aprecia que para el intervalo de pH entre 6 y 8, la curva de absorbancia en función del pH para una misma concentración de SH presenta un aplanamiento que indica un menor efecto. Por tal motivo, fue elegido este intervalo de pH, como el más indicado para la medición de AUV 254 nm en los ensayos siguientes; así, antes de realizar la medición de absorbancia de cualquier muestra, el pH del agua se ajustó dentro del intervalo en mención.

## 3. CURVA DE CALIBRACIÓN

El tratamiento estadístico de los datos resultantes del ensayo realizado para la elaboración de una curva de calibración de AUV 254 nm, como una función de la concentración de SH en muestras de agua, generó como síntesis la figura 3.

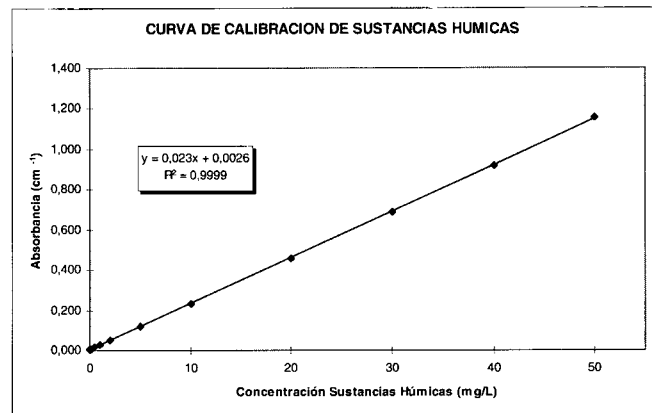


Figura 3. Curva de calibración para SH ALDRICH a 254 nm

El excelente coeficiente de correlación obtenido ( $R^2 = 0,9999$ ) para concentraciones entre 0,05 y 50 mg/L de SH ALDRICH indica la linealidad entre la AUV 254 nm y la concentración de SH. Sin embargo, se recomienda el uso de la curva de calibración para concentraciones entre 0,1 y 50 mg/L debido a las características del equipo y la superposición de las probabilidades de lectura para concentraciones menores.

La elección de SH ALDRICH para la realización de la curva de calibración, y no de SH HUMITA 15, fue debido a la facilidad y disminución de error al momento de tomar la muestra de SH ya que las primeras son sólidas y se pueden pesar con exactitud, mientras que la HUMITA 15 es una solución al 15% que hace engorrosa la preparación de soluciones de concentración definida.

## B. PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA

La preparación de la muestra de agua a tratar se convirtió en el primer paso dentro de la metodología de los ensayos de jarras. Para garantizar reproducibilidad en los ensayos se empleaba muestra recién preparada según metodología descrita en el apartado B. del numeral I y las propiedades medias para diferentes muestras de agua cruda fueron:

Turbiedad	: 140 UNT
pH	: 7,5
Alcalinidad Total	: 60 mg/L CaCO <sub>3</sub>
AUV 254 nm	: 0,769 cm <sup>-1</sup>

La cantidad de SH ALDRICH proporcionaría al agua una concentración de 20 mg/L; sin embargo, una vez preparada la

muestra de agua el valor de AUV 254 nm coincide, según la curva de calibración, con una concentración de 33 mg/L de SH ALDRICH. Este hecho se explica por el empleo de arcilla proveniente de un suelo natural que puede contener material húmico susceptible de pasar a la solución aumentando la medida de AUV 254 nm.

### C. ENSAYOS DE JARRAS

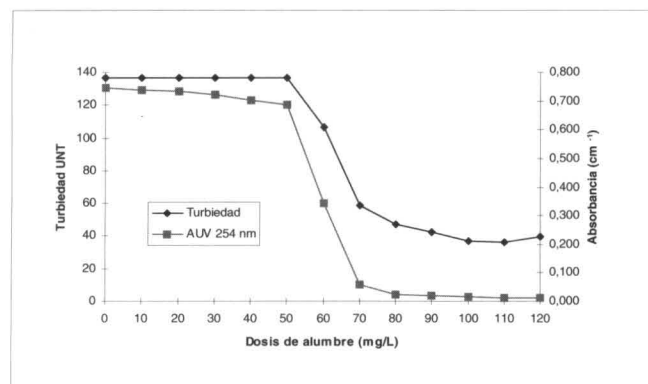
Como podrá observarse posteriormente, la AUV 254 nm resultó ser mal indicador para la optimización de algunos parámetros en la prueba de jarras, por tal motivo los ensayos desarrollados y la optimización de los parámetros elegidos, se basaron en la búsqueda de una máxima remoción de material húmico empleando la combinación de parámetros como turbiedad y AUV 254 nm en la toma de decisión.

#### 1. DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

En la figura 4 se presentan los resultados de los diferentes ensayos realizados para encontrar la dosis óptima de coagulante.

##### • Remoción de turbiedad

Con respecto a la turbiedad, no se presenta ningún cambio en relación con el agua cruda para dosis de coagulante entre 10 y 50 mg/L, debido a que esas dosis no alcanzan a desestabilizar el coloide formado por el material en suspensión. La turbiedad remanente para dosis de coagulante superiores a 50 mg/L disminuye notablemente hasta alcanzar un valor mínimo de 36 UNT para una dosis de 110 mg/L de alumbre; a partir de esta dosis se observa un ligero incremento de turbiedad remanente con la dosis de coagulante.



Gráfica 4. Dosis óptima de coagulante

##### • Remoción de AUV 254 nm

Al establecer una relación entre la cantidad de SH removidas y la dosis de alumbre (mg SH ALDRICH/ mg alumbre) se tiene como resultado los datos del cuadro 1. Al

combinar los datos del cuadro 1 y la figura 4, se establecen tres etapas bien definidas; la primera para dosis entre 10 y 50 mg/L de alumbre con una relación de remoción media de 0,039 mg SH/mg alumbre, en donde la acción del coagulante promueve muy seguramente la formación de complejos entre especies hidratadas del alumbre y el material húmico para su remoción.

La segunda etapa se identificó para dosis de coagulante entre 50 y 90 mg/L, en donde además de presentarse reacciones de acomplejamiento entre el material húmico y los productos de hidrólisis del alumbre, se establece un efecto adicional de remoción promovido por la formación de flocúlos; esto ocurre ya que a partir de 50 mg / L de alumbre dosificado se presenta disminución de turbiedad debido a la desestabilización del coloide formado por las partículas en suspensión. Se presume un efecto de adsorción del material húmico sobre los flocúlos formados; este comportamiento se corrobora con el aumento considerable en la relación de remoción (0,366 mg SH/mg alumbre) comparada con el valor de la primera etapa ya analizada.

Cuadro 1 Relación entre SH removidas y dosis de alumbre

DOSIS DE COAGULANTE mg/L	SH REMOVIDAS mg/L	RELACION DE REMOCION mg SH/mg alumbre
0	0	0
10	0,34	0,035
20	0,52	0,026
30	1,07	0,036
40	1,87	0,047
50	2,65	0,053
60	17,57	0,293
70	29,87	0,427
80	31,43	0,393
90	31,56	0,351
100	31,78	0,318
110	31,78	0,290
120	31,78	0,266

En la etapa final de la curva, para dosis de coagulante mayores a 90 mg/L, se observa que la AUV 254 nm remanente tiende a un valor constante de 0,012 cm<sup>-1</sup> y la relación de remoción comienza a disminuir debido a que la cantidad de alumbre dosificado se encuentra en exceso con respecto al material húmico contenido en el agua a tratar, ya que la remoción de éste permanece constante. Con base en los resultados obtenidos fue elegida la dosis de 90 mg/L de alumbre como la óptima.

#### 2. GRADIENTE ÓPTIMO DE MEZCLA LENTA

El efecto del gradiente sobre la remoción de la AUV 254nm no es significativo, como se aprecia en la figura 5, no presenta mayores modificaciones ante la variación del gradiente de floculación. La elección del gradiente óptimo de mezcla lenta

se baso entonces, en la búsqueda de turbiedad remanente mínima y ausencia de sedimentación en la floculación. Estas condiciones las cumplió el gradiente de  $11,6 \text{ s}^{-1}$ , para los valores menores empiezan a sedimentar los flóculos formados.

### 3. TIEMPO ÓPTIMO DE MEZCLA LENTA

Al igual que en los ensayos para la elección de gradiente óptimo de floculación, la remoción de AUV 254 nm no presenta una fuerte dependencia con el tiempo de floculación; para los ensayos realizados la remoción de AUV 254 nm permaneció ligeramente constante. Vale la pena anotar que se aprecia una leve disminución de la AUV 254 nm con el incremento del tiempo de floculación (ver figura 6). El tiempo óptimo de floculación se eligió con base en la búsqueda de la mínima turbiedad remanente, es por eso que se escogió como tiempo óptimo de mezcla lenta 15 minutos.

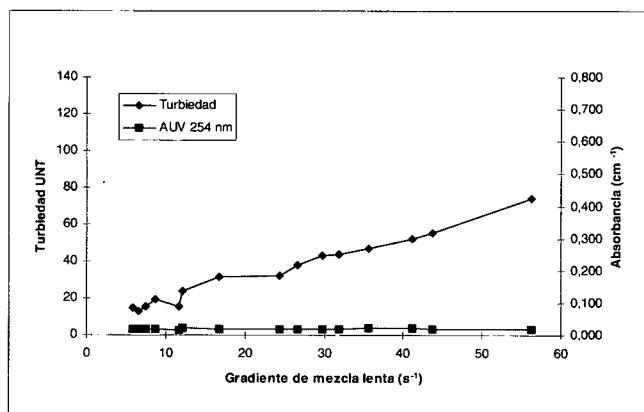


Figura 5. Gradiente óptimo de floculación

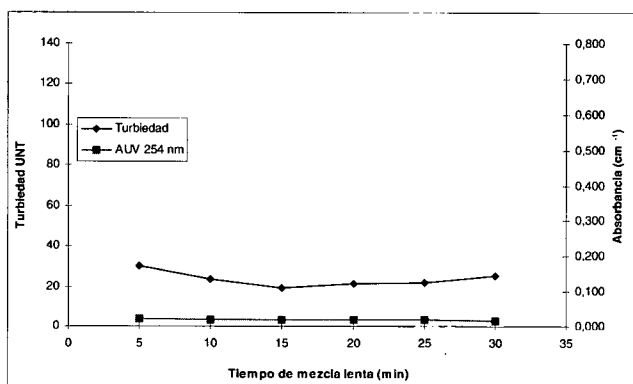


Figura 6. Tiempo óptimo de floculación

### 4. pH ÓPTIMO DE COAGULACIÓN

En la figura 7 se presentan los resultados de los diferentes ensayos realizados para encontrar el pH óptimo de coagulación.

#### • Remoción de turbiedad

La remoción de turbiedad aumenta en la medida en que se incrementa el pH; la mayor remoción se presenta para valores de pH entre 7 y 9. Cuando el pH del agua a tratar supera 9 unidades, la turbiedad remanente se dispara hasta alcanzar los valores iniciales del agua cruda.

Según el diagrama de operación para la coagulación con alumbre elaborado por Amirtharajha y Mills [2], el empleo de una dosis de  $90 \text{ mg/L}$  de alumbre promueve la coagulación por barrido en un intervalo de pH entre 5,7 y 9,0, lo cual coincide con las condiciones favorables de remoción de turbiedad en los ensayos realizados; para valores de pH por encima de 9,0, el alumbre se encuentra fuera de su intervalo de operación, con ello se explica el aumento súbito de turbiedad. Por otra parte, para valores de pH por debajo de 5,7 la desestabilización promovida por el alumbre no es tan efectiva, y por eso la leve disminución de turbiedad presente en los ensayos para este intervalo de pH.

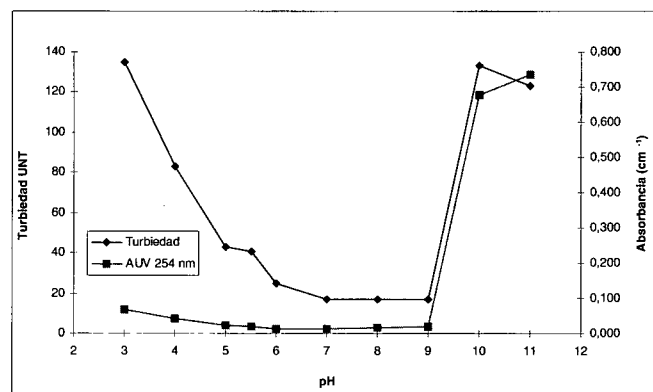


Figura 7. pH óptimo de coagulación

#### • Remoción de AUV 254 nm

La AUV 254 nm remanente disminuye con el aumento del pH hasta un valor de pH igual a 6; la máxima remoción de AUV 254 nm se presenta para el intervalo de pH entre 6 y 9, para valores de pH mayores a 9 se produce un incremento súbito en la AUV 254 nm remanente.

En estudios realizados por Semmens y Field, [12] se encontró que el pH óptimo para la remoción de AUV era de 5,5 para muestras que contenían una turbiedad inicial de 5 UNT; como el agua empleada para esta investigación posee una turbiedad inicial de 140 UNT, implica que la remoción de AUV 254 nm es más sensible a cambios en el pH cuando la remoción se da por la formación de complejos entre coagulante y el material húmico; mientras que cuando se forman flóculos pesados parte del material húmico es adsorbido en éstos, aumentando la remoción de sustancias que absorben en la región del ultravioleta y ampliando el intervalo de pH óptimo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la región de radiación ultravioleta, la absorbancia por parte de las sustancias húmicas decrece con el aumento de la longitud de onda, descartando la posibilidad de encontrar una banda de máxima absorbancia en esta parte del espectro electromagnético.

Debido al efecto que tiene el pH sobre la concentración de las sustancias húmicas se sugiere como intervalo apropiado para la medición de absorbancia al ultravioleta valores de pH entre 6 y 8.

La absorbancia al ultravioleta a una longitud de onda de 254 nm bajo las condiciones de la investigación, resultó ser un buen parámetro alterno para ser empleado en el monitoreo y control de la presencia de sustancias húmicas en muestras de agua, dada la excelente correlación encontrada para una curva de calibración basada en esta técnica.

La remoción de material húmico bajo las condiciones de los ensayos realizados se comportó netamente como una reacción de tipo químico instantánea en donde los parámetros más incidentes fueron la dosis de coagulante y el pH de coagulación. Con respecto a los parámetros de floculación como gradiente y tiempo de contacto, no resultaron de mayor incidencia en la remoción de sustancias húmicas debido a que estos promueven la aglutinación del material producto de la desestabilización del coloide formado por las partículas en suspensión contenidas en la muestra de agua.

El mecanismo de remoción de material húmico se presenta por dos causas. La primera por la acción directa del coagulante, probablemente por la formación de especies complejas entre los productos de hidrólisis del alumbre y las sustancias húmicas; la segunda se atribuye a la formación de flóculos que ayudaron a aumentar la relación de remoción entre el material removido y el alumbre.

El empleo conjunto de la absorbancia al ultravioleta a una longitud de onda de 254 nm y la medición de turbiedad, se plantea como una herramienta que puede ser de valiosa ayuda en los ensayos de tratabilidad de aguas que presenten gran contenido de materia orgánica; máxime cuando se esté en la búsqueda de una mínima concentración de material precursor de sustancias orgánicas halogenadas, al inicio del proceso de desinfección con cloro.

Con el ánimo de profundizar en esta línea de investigación, se plantea la alternativa de realizar pruebas de tratabilidad de aguas naturales basadas en el ensayo de jarras que emplee las mediciones de AUV a 254 nm y turbiedad; y para comprobar la efectividad del método pueden realizarse ensayos de cloración con cloro libre al agua tratada y determinar en éstas sustancias orgánicas cloradas como trihalometanos o ácidos haloacéticos mediante técnicas cromatográficas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ADIIN A., KATZHENDLER J., ALKASLASSY D. y RAV-ACHA Ch. "Trihalomethane formation in chlorinated drinking water: a kinetic model". *Water Research*. Vol 25, No. 7, p 797-805.1991
2. AMIRTHARAJA, A. y MILLS K, J. "Rapid mix design for mechanisms of alum coagulation". *Journal American Water Works Association*. Vol 74, No 2, p 210.1982.
3. BABCOCK D, C. y SINGER, P. C. Coagulation process for removal of humic substances from drinking water. *Journal of American Water Works Association*. Vol 71, No 3, p 148. 1979
4. CASAS J, V. Coagulación Floculación. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Santafé de Bogotá. 1993.
5. DOOBS, R. A., WISE, R. H. y DEAN, R. B. "The use of ultraviolet absorbance for monitoring the total organic carbon content of water and wastewater". *Water Research*. Vol 6, No 10, p 1173 - 1180. 1972.
6. EDWARDS *et al.* "Removing Color Caused By Humic Acids". *Journal of American Water Works Association*. Vol 77, No 3, p 50. 1985
7. EDZWALD, J.K., BECKER W.C. y WATTIER K. L. "Surrogate Parameters for Monitoring Organic Matter and THM Precursors". *Journal of American Water Works Association*. Vol 77, No 4, p 122 - 132. 1985.
8. EDZWALD, J.K. "Coagulation in Drinking Water Treatment: Particles, Organics and Coagulants". *Water Science Technology*. Vol 27, No 11, p 21 - 35. 1993.
9. METODOS NORMALIZADOS PARA EL ANALISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES. APHA - AWWA - WPCF. Diaz de Santos S.A Ediciones, Madrid España. Sección 1010B Estadística. 1992.
10. NAJM, I. N. *et al.*, "Evaluation surrogates for disinfection by products". *Journal of American Water Works Association*. Vol 86, No 6, p 98 - 106.1992.
11. POURMOGHADDAS, H. "Effects of bromide ion on formation of HAA's during chlorination". *Journal of American Water Works Association*. Vol 85, No 1, p 82 - 87. 1993.
12. SEMMENS, M. y FIELD, T.K. "Coagulation: Experiences in Organics Removal". *Journal of American Water Works Association*. Vol 72, No 8, p 476. 1980.
13. SIDDIQUI, M. S., AMY, G. L. y RICE, R. G. "Bromate ion formation: a critical review". *Journal American Water Works Association*. Vol 87, No 10, p 58 - 70. 1995.
14. WEBER, W.J y JODELLAH, A.M. "Removing Humic Substances by Chemical Treatment and Adsorption". *Journal American Water Works Association*. Vol 77, No 4, p 132. 1985.