

## Remoción de algas con cloruro férrico

Ing. Sandra Y. Piñeros S.\* e Ing. Jairo A. Romero Rojas\*\*

\* Magister en Ingeniería Ambiental, Ing. de Control Ambiental CPF-BP.  
\*\* I.C., MEEE., profesor asociado Universidad Nacional de Colombia, profesor Escuela Colombiana de Ingeniería.

### INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales mediante lagunas o estanques de estabilización es de uso muy corriente, ya que sus bajos costos de operación y mantenimiento ofrecen una ventaja económica notoria sobre otros métodos de tratamiento. En los efluentes de lagunas de estabilización, la presencia de algas puede incrementar la concentración de sólidos suspendidos a valores que sobrepasan los límites exigidos, en ocasiones, para afluentes a ríos, lagos o embalses. En esas circunstancias, la remoción adicional de algas puede ser necesaria, para lo cual se han utilizado métodos como la coagulación, la filtración, la flotación, la centrifugación, la precipitación, el intercambio iónico y la vibración ultrasónica.

Autores como Shindala y Stewart, Tenney, Golueke, Oswald, McGarry, Al-Layla y Middlebrooks, Dryden y Stern, entre otros, han estudiado el tratamiento químico de efluentes de lagunas de estabilización con alumbre, polielectrolitos y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Aunque el uso del cloruro férrico como coagulante se remonta a 1910, no se conocen experiencias suficientes de su efectividad para depuración de efluentes de aguas residuales tratadas mediante lagunas de estabilización<sup>1</sup>.

En este artículo se presentan los resultados de un estudio experimental adelantado para valorar y evaluar la

eficiencia del cloruro férrico como coagulante de la biomasa algal y de los sólidos del efluente de una laguna de estabilización.

### METODOLOGÍA

La evaluación se adelantó mediante 41 ensayos de jarras realizados sobre 25 muestras del efluente de la laguna de estabilización del municipio de Zipaquirá, Zipa 1, en el período de junio a septiembre de 1994.

Todos los ensayos se ejecutaron de acuerdo con los procedimientos recomendados en el *Standard Methods*<sup>2</sup>. Los ensayos de jarras se realizaron para encontrar la dosis óptima de cloruro férrico, el pH óptimo de coagulación y las condiciones más

apropiadas de mezcla y sedimentación. Para las condiciones óptimas de tratamiento se determinó la eficiencia de remoción en cada uno de los parámetros de interés, así como la calidad del agua tratada. La valoración del contenido de algas se hizo con base en la determinación de clorofila a, suponiendo que la clorofila a constituye un 1.5% de la masa seca orgánica de las algas y calculando la concentración por la expresión:

$$\text{Biomasa algal (mg/m}^3\text{)} = \text{clorofila a (mg/m}^3\text{)} \times 67$$

### RESULTADOS

#### Características del efluente

Los resultados de la caracterización del efluente de la laguna de estabilización se presentan en la Tabla 1. Los promedios son de 35 análisis de turbiedad, color, pH, sólidos suspendidos, alcalinidad y clorofila a, así

Tabla 1  
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL EFLUENTE DE LA LAGUNA FACULTATIVA ZIPA 1

Parámetro	Valores promedio	Intervalo observado	Desviación estándar
Alcalinidad (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )	94	90 - 100	4
pH	8	7.0 - 10.5	1
Turbiedad (UNT)	64	35 - 85	16
Color aparente (UC)	83	60 - 100	9
Sólidos suspendidos (mg/L)	89	56 - 122	18
Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	303	98 - 392	59
Biomasa algal (g/m <sup>3</sup> )	20	7 - 26	4
DQOT (mg/L)	123	104 - 146	16
DQOS (mg/L)	68	24 - 99	27
NTK (mg/L)	9	8 - 11	1.5
P <sub>total</sub> (mg/L)	12	11 - 13	10
Coliformes totales (NMP/100mL)	4.28x10 <sup>5</sup>	1.36x10 <sup>5</sup> - 1.2x10 <sup>6</sup>	3.9x10 <sup>5</sup>

como para 6 análisis de demanda química de oxígeno total, DQOT, demanda química de oxígeno soluble, DQOS, nitrógeno total Kjeldhal, NTK, fósforo total,  $P_{total}$ , y coliformes totales. Dichos resultados se encuentran dentro de los valores típicos para este tipo de efluentes, con una concentración relativamente alta de sólidos suspendidos, 89 mg/L en promedio, valor superior al límite, generalmente exigible en tratamiento mediante lagunas, de 65 mg/L<sup>3</sup>. Lo anterior se debe a la presencia de biomasa algal, la cual se refleja principalmente en los 20 g/m de algas y en el contenido de turbiedad del agua, 64 UNT. El agua efluente de la laguna facultativa es alcalina, con pH igual a 8 en promedio, turbia, coloreada, con concentración de DQOS menor de 99 mg/L y relación DQOT/NTK/ $P_{total}$  igual a 10/0,75/1.

## Condiciones óptimas de tratamiento

Las concentraciones promedio de turbiedad, color, sólidos suspendidos y biomasa algal del agua tratada, por diferentes dosis de cloruro férrico, se pueden observar en las figuras 1 y 2. Los resultados, resumidos en estas figuras, indican que una dosis de 85 mg/L de cloruro férrico permite obtener concentraciones mínimas de turbiedad, color, sólidos suspendidos y biomasa algal en el agua tratada.

La influencia de la velocidad de mezcla lenta, en términos del gradiente de velocidad para la dosis óptima de 85 mg/L de cloruro férrico, sobre la turbiedad, el color, los sólidos suspendidos y la biomasa algal, se visualiza en las figuras 3 y 4, las cuales indican que el gradiente óptimo de velocidad, para floculación, es de 27s<sup>-1</sup>. Con

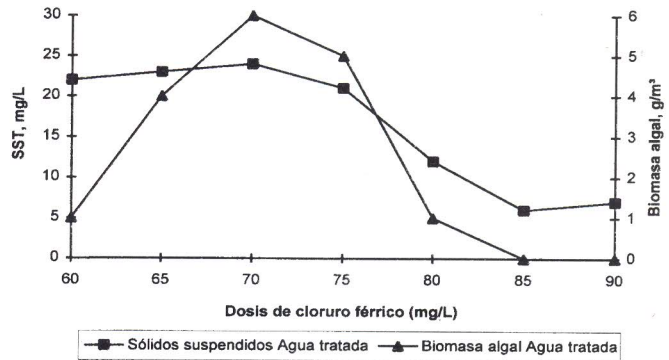


Figura 2. Sólidos suspendidos y biomasa algal contra dosis de cloruro férrico para el agua tratada. Período de sedimentación = 30 minutos

este gradiente se obtienen valores mínimos de turbiedad, color, sólidos suspendidos y biomasa algal.

Finalmente, en las figuras 5 y 6, se presentan los resultados del tratamiento con una dosis de 85 mg/L de cloruro férrico, gradiente de velocidad de 27s<sup>-1</sup> y diferentes condiciones de pH. Mediante estos ensayos, como se deduce de las figuras 5 y 6, se concluye que el pH óptimo de coagulación es igual a 7,0 y que se obtienen resultados aceptables ampliamente en el intervalo de pH de 7,0 a 7,5.

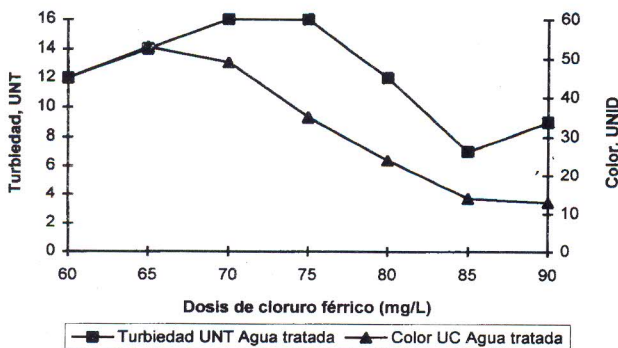


Figura 1. Turbiedad y color contra dosis de cloruro férrico para el agua tratada. Período de sedimentación = 30 minutos

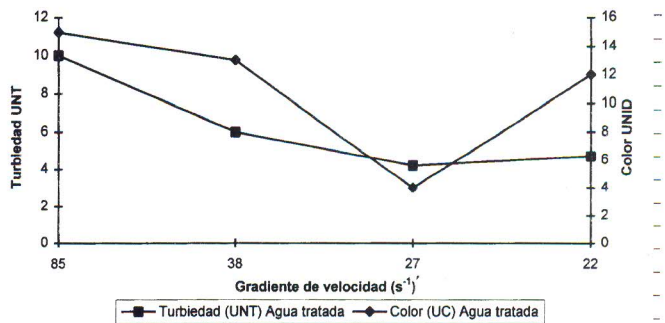
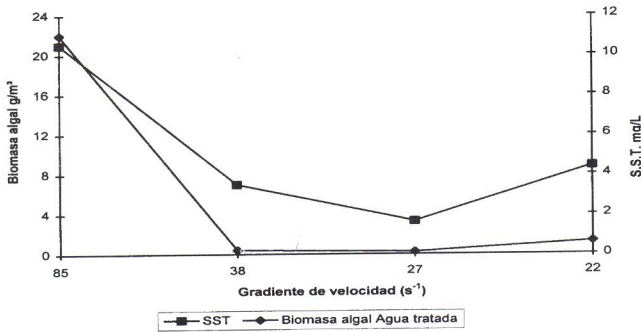
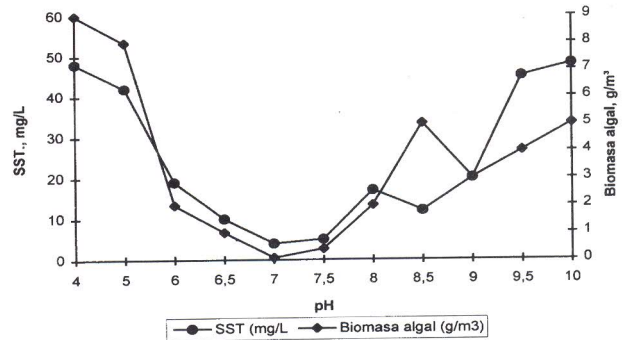


Figura 3. Turbiedad y color contra gradientes de velocidad para el agua tratada. Período de sedimentación = 30 minutos - Dosis de cloruro férrico = 85 mg/L



**Figura 4.** Sólidos suspendidos y biomasa algal contra gradientes de velocidad para el agua tratada. Período de sedimentación = 30 minutos - Dosis de cloruro férrico = 85 mg/L

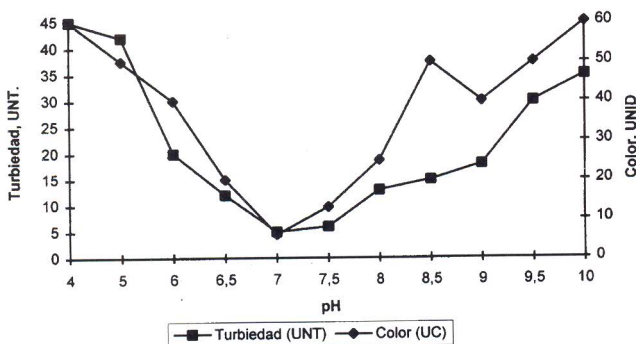


**Figura 6.** Sólidos suspendidos y biomasa algal contra pH para el agua tratada. Período de sedimentación = 30 minutos - Dosis de cloruro férrico = 85 mg/L - Gradiente de velocidad = 27 s<sup>-1</sup>

En los resultados se incluye, además, un período óptimo de sedimentación porque durante la experimentación se observó que por lapsos de asentamiento mayores de una hora ocurre resuspensión y flotación del *floc* formado. La cantidad producida de lodo, en promedio, fue aproximadamente igual al 10%, en volumen, del agua tratada.

Las condiciones óptimas de tratamiento encontradas, con base en los 41 ensayos de jarras realizados, fueron las siguientes:

Período de mezcla rápida	=	1 minuto
Dosis de cloruro férrico	=	85 mg/L
Período de mezcla lenta	=	10 minutos
Gradiente de velocidad	=	27 s <sup>-1</sup>
Número de Camp	=	16.200
pH	=	7.0
Período de sedimentación	=	30 minutos



**Figura 5.** Turbiedad y color contra pH para el agua tratada. Período de sedimentación = 30 minutos - Dosis de cloruro férrico = 85 mg/L - Gradiente de velocidad = 27 s<sup>-1</sup>

## Características del agua tratada

Las características promedio del agua tratada con cloruro férrico se resumen en la Tabla 2. Como puede deducirse de la observación de dichos valores, el agua tratada es de calidad superior a la de cualquier efluente secundario convencional, con excepción del contenido de coliformes totales.

Los porcentajes obtenidos de remoción promedio, en los parámetros evaluados, en el tratamiento por coagulación mediante cloruro férrico, del efluente de la laguna facultativa de Zipaquirá, Zipa 1, fueron:

Biomasa algal	=	98%
Sólidos suspendidos	=	94%
Color	=	92%
Turbiedad	=	91%
DQOT	=	75%
DQOS	=	87%
NTK	=	55%
Fósforo total	=	77%
Coliformes totales	=	78%

**Tabla 2**  
CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DEL AGUA TRATADA

Parámetro	Valores promedio	Intervalo observado	Desviación estándar
Alcalinidad (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )	37	16 - 50	10
Turbiedad (UNT)	6	2 - 25	4
Color aparente (UC)	7	0 - 40	9
Sólidos suspendidos (mg/L)	6	0 - 26	5
Clorofila a (mg/m <sup>3</sup> )	5	0 - 46.4	12
Biomasa algal (g/m <sup>3</sup> )	0.34	0 - 3.1	1
DQOT (mg/L)	31	14 - 70	19
DQOS (mg/L)	8.4	4 - 13	2
NTK (mg/L)	4.0	3 - 5	0.4
P <sub>total</sub> (mg/L)	123.0	2 - 4	0.8
Coliformes totales (NMP/100mL)	1.66x10 <sup>5</sup>	1.3x10 <sup>4</sup> - 5.1x10 <sup>5</sup>	2.0x10 <sup>5</sup>

Las eficiencias de remoción logradas indican la efectividad del tratamiento por coagulación seleccionado, en este tipo de efluente, y su aplicabilidad para la obtención de una calidad mucho mejor que la alcanzada por los procesos de tratamiento secundario convencionales.

## CONCLUSIONES

La remoción de biomasa algal y sólidos suspendidos, turbiedad, color, DQO, NTK, fósforo total y coliformes totales del efluente de la laguna facultativa de Zipaquirá, Zipa 1, mediante coagulación con cloruro férrico,

co, floculación y sedimentación, es eficiente a nivel de laboratorio y permite adaptar el agua a exigencias de calidad que sobrepasan los requerimientos convencionales para efluentes típicos de lagunas de estabilización como los de la planta de tratamiento mencionada.

## REFERENCIAS

<sup>1</sup> PIÑEROS S. Y., *Optimización de efluentes de lagunas de estabilización mediante remoción de algas con cloruro férrico*, tesis para Magister en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1995.

<sup>2</sup> APHA, AWWA, WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 17<sup>a</sup> ed., 1989.

<sup>3</sup> ROMERO R. J. A., *Acuitratamiento por lagunas de estabilización*, 2da. edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, julio de 1995.



**Ferretería**

**PEGASO'S 170 LTDA**

**CEMENTO**  
**GRAVILLA**  
**ARENA**  
**BLOQUE**  
**HIERRO**

**FERRETERIA EN GENERAL**

Autopista Norte 167 A - 55  
Tels: 6705041- 6741162  
Fax: 6717232

## CONSTRUCTORES CIVILES INGENIEROS LTDA C.C.I. Ltda.

- › OBRAS CIVILES
- › CARRETERAS
- › MONTAJES
- › ESTRUCTURAS
- › URBANISMO

Cra. 31 No. 95 - 99  
Tels.: 226 87 12 - 611 17 85  
Fax: (91) 618 17 05 Santafé de Bogotá