

## II-106 – ADECUACION DEL EFLUENTE DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN PARA SU USO COMO AGUA DE PROCESO EN PLANTAS TERMoeLECTRICAS

### **Pamela Mejías<sup>(1)</sup>**

Ingeniera Química (2011) Universidad del Zulia (LUZ). Participación en Eventos (5). Participación en Proyectos (2). Cursante del segundo semestre de la maestría de Ingeniería Ambiental (LUZ). Asistente de Investigación de la Dra. Nibis Bracho.

### **Lenin Herrera**

Ingeniero Químico (1973) Universidad del Zulia (LUZ). Master of Science of Engineering. 1983 -(University Texas Austin). Especialista en el área de ingeniería ambiental. Profesor del Zulia y la universidad Rafael Urdaneta. Presidente de la empresa INESPA.

### **Paola Flores:**

Ingeniera Química (2011) Universidad del Zulia (LUZ). Cursante del primer semestre de la maestría de Ingeniería Química (LUZ).

### **Carmen Cárdenas**

Ingeniera Química (1977) Universidad del Zulia (LUZ). Maestría en Ingeniería Ambiental 1990-(LUZ). Especialista en el área de tratamiento de aguas residuales. Profesora titular de la escuela de ingeniería química de LUZ. Directora del Centro de Investigación del Agua de la Universidad del Zulia.

**Dirección<sup>(1)</sup>:** Av. Goajira, Ciudad Universitaria, Centro de Investigación del agua (CIA) frente a la Fac. de Agronomía. Universidad del Zulia. Maracaibo-Edo Zulia. 4001 Venezuela. Tel. +58+261+7597182-83. FAX. 58+261+7597182. e-mail: [pamelamejias12@gmail.com](mailto:pamelamejias12@gmail.com).

## **RESUMEN**

La actual limitación en cuanto a la disposición y suministro de energía en el país, ha hecho necesaria la instalación de plantas termoeléctricas. Estas utilizan agua potable como una de sus materias primas, pudiendo generar un déficit de este recurso. En este trabajo se propuso y se evaluó un proceso de adecuación del agua residual tratada proveniente de las lagunas de estabilización de la Planta de Tratamiento Maracaibo Sur, como una fuente alternativa de suministro de agua. El agua residual tratada se caracterizó por la presencia de un alto contenido de algas; reportando valores de color 898 Pt-Co, turbidez 154 NTU, DQO 179 mg/l, nitrógeno amoniacal 1,9 mg/l, fósforo total 4,5 mg/l, SST 97 mg/l y SSV 76 mg/l. El proceso de adecuación estuvo compuesto por una unidad piloto de flotación con aire disuelto (FAD) y un filtro para la remoción de algas y sólidos suspendidos y una posterior cloración para la eliminación del nitrógeno amoniacal. Se realizaron ensayos considerando la adición de coagulantes, variando las condiciones de operación del FAD: presión 207, 276 y 345 KPa, reciclos 20, 25, 30 y 35% de agua presurizada, y en la cloración a partir de la concentración teórica correspondiente al punto de ruptura se disminuyó la dosis de cloro en un 20, 30 y 40%. Con los resultados obtenidos, se seleccionó al Policloruro de Aluminio como coagulante, y a la Poliácridamida Catiónica como ayudante de coagulación con una dosis óptima de 8 y 2 mg/l, respectivamente. Las mejores condiciones de operación del FAD fueron presión 276 KPa y reciclo 20%. Se determinó una relación cloro/nitrógeno amoniacal de 7:1. Se alcanzaron remociones globales de color y turbidez 95%, DQO 76%, nitrógeno amoniacal 43%, fósforo total 26% y SST y SSV 98%, indicando que la reutilización de aguas residuales tratadas es una alternativa viable para la generación de energía eléctrica.

**PALABRAS CLAVES:** Coagulación, flotación con aire disuelto, filtración, cloración.

## **ABSTRACT**

The current limitation on the provision and supply of energy in the country has made necessary the installation of thermoelectric plants. These use drinkable water as one of their raw materials, potentially leading to a deficit of this resource. This work proposed and evaluated a process of adequacy of treated wastewater from the stabilization ponds at the Treatment Plant Maracaibo Sur as an alternative source of water supply. The treated wastewater was characterized by the presence of a high content of algae, reporting values of 898 Pt-Co color, 154 NTU turbidity, 179 mg/l of DQO, 1,9 mg/l of ammonia nitrogen, 4,5 mg/l of total phosphorus, 97 mg/l of SST and 76 mg/l SSV. The process of adequacy was composed by a pilot unit of dissolved air flotation (DAF)

and a filter for the removal of algae and suspended solids and subsequent chlorination for the elimination of ammonia nitrogen. Assays were performed considering the addition of coagulants, varying operating conditions of FAD: pressure of 207, 276 and 345 KPa, with recycles of 20, 25, 30 and 35% of pressurized water and at the chlorination from the theoretical concentration corresponding to the break point of the dose of chlorine was diminished a 20, 30 and 40%. With the obtained results, the Polychloride of Aluminium was selected as coagulant, and Cationic Polyacrylamide as assistant of coagulation with an optimal dose of 8 and 2 mg/l, respectively. The best operating conditions of the DAF were 276 KPa pressure and 20% recycling. A relation of chlorine to ammonia nitrogen of 7:1 was determined. There were achieved global removals of 95% of color and turbidity, 76% of DQO, 43% of ammonia nitrogen, 26% of total phosphorus and 98% of SST and SSV, indicating that the reuse of treated wastewater is a viable alternative for the generation of electric power.

**KEYWORDS:** Coagulation, Dissolved Air Flotation (DAF), Filtration, chlorination.

## INTRODUCCIÓN

Una de las mayores preocupaciones de los ambientalistas en Venezuela, es el avanzado estado de contaminación del Lago de Maracaibo, desarrollándose el proceso de eutrofización por el vertido de aguas residuales tratadas o no, las que además causan algunos efectos indeseables como malos olores, impacto visual, o la propia contaminación directa de otros cuerpos agua.

La actual limitación en cuanto a la disposición y suministro de energía en el país, y a la creciente demanda de energía específicamente en la región zuliana, ha hecho necesaria la instalación de plantas termoeléctricas; las cuales utilizan agua potable como una de sus materias primas, consumiendo gran cantidad de dicho recurso, lo cual genera escasez del mismo en las zonas aledañas a las plantas.

En este tipo de plantas, el agua, es necesaria para el control de emisiones gaseosas en turbinas, alimentación para calderas, sistemas de enfriamiento, disminución de la temperatura de combustión, evitar la producción de óxidos de nitrógeno, consumo humano, mantenimiento de áreas verdes y sistemas contra incendio, lo cual implica que se debe disponer de una o varias fuentes que, combinadas, garanticen el suministro oportuno, seguro y continuo del caudal necesario.

Considerar utilizar agua del embalse, en la cantidad que se requiere, ciertamente llevaría a una escasez de la misma en la zona, y, que el uso de aguas de pozos subterráneos implica un alto costo económico y un estudio más complejo de la factibilidad de su explotación, así como también utilizar agua del Lago, la cual por su alto contenido de sales y algas, es mucho más complicada y costosa de tratar, dentro de este orden de ideas, la reutilización de aguas residuales tratadas en procesos industriales como lo es la generación de energía eléctrica, resulta una alternativa viable.

Para el tratamiento de aguas residuales se han utilizado procedimientos como Lagunas de Estabilización, las cuales son fundamentalmente reservorios artificiales, en donde dependiendo de la carga orgánica presente y de la temperatura, suelen desarrollarse diversas poblaciones de algas [1]. Debido a las exigencias de la elevada calidad del agua demandada por las plantas termoeléctricas y a que las lagunas de estabilización presentan grandes contenidos de algas, la utilización de sus efluentes requiere tratamientos físicos y químicos posteriores para hacer el agua apta para este ámbito de la industria.

El objetivo de la siguiente investigación fue evaluar el proceso de adecuación del agua residual proveniente de las lagunas de estabilización de Planta Sur, para su utilización como agua de proceso en plantas termoeléctricas, donde se caracterizó el efluente de dicha planta, posteriormente se propuso un tratamiento para su adecuación, el cual se llevó a cabo a partir de un proceso que combina la flotación con aire disuelto, la filtración eliminando específicamente las algas presentes en las aguas, y por último la cloración para la remoción del nitrógeno amoniacal remanente.

Cabe destacar, que en este caso, la Planta de Tratamiento Sur de Maracaibo, se encuentra cercana a las áreas de la Planta Termoeléctrica Ramón Laguna, lo que facilita y disminuye a su vez los gastos implícitos al transporte de grandes volúmenes de agua.

## METODOLOGIA

Las muestras para el desarrollo de esta investigación, fueron captadas en la salida de la Planta de Tratamiento Maracaibo Sur (Planta Sur) operada por HIDROLAGO, ubicada en el municipio San Francisco, Edo. Zulia. Específicamente, las muestras se tomaron en el punto de descarga final de la planta de modo de obtener el agua ya estabilizada por el tratamiento biológico implementado en la planta en cuestión. La caracterización de las muestras, se realizó siguiendo las especificaciones y procedimientos presentados en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” [2].

Posteriormente se propuso un tratamiento para su adecuación, el cual se llevó a cabo a partir de un proceso que combina la flotación con aire disuelto (con coagulación), la filtración eliminando específicamente las algas presentes en las aguas, y por último la cloración para la remoción del nitrógeno amoniacal remanente.

Como complemento del estudio experimental realizado a manera de validar de forma estadística los resultados, se realizaron los cálculos necesarios para dicho fin. Para comprobar la validez de los resultados obtenidos en la selección de la dosis óptima del coagulante y del ayudante de coagulación que se empleó en el proceso se utilizó el análisis de la varianza. [3]

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización del efluente de las lagunas de Planta Sur

En la Tabla 1, se presentan los valores referentes a la caracterización realizada al agua residual tratada, proveniente del efluente de las Lagunas de Planta Sur, con el propósito de conocer la calidad del agua a procesar. De los diversos parámetros mostrados en esta tabla, algunos serán más significativos que otros en cuanto a concentración y definirán el potencial de afectación a los equipos utilizados en las plantas termoelectricas.

La calidad de los parámetros analizados como la demanda química de oxígeno, el nitrógeno total, sólidos suspendidos totales y volátiles, y a su vez, color y turbidez, no es la requerida para ser reutilizada como agua de proceso en Plantas Termoelectricas, ya que presenta un alto contenido de algas. Es importante señalar que el valor del pH fue de 9,4 lo que indica que es básico; condición que es favorable en procesos de generación de vapor a presiones bajas, intermedias y altas, en donde se requiere que el agua tenga un pH entre 7-10 para bajas presiones y 8,2-10 para altas e intermedias presiones para garantizar que no se generen reacciones indeseadas que a largo plazo puedan traer problemas operacionales, no obstante, en torres de enfriamiento, se necesita que el pH del agua se encuentre entre 5-8,3. Sumado a esto, la medición del pH es importante ya que éste determina la eficiencia y efectividad de los productos químicos de coagulación que serán ensayados en el proceso. [4]

Por otro lado debe señalarse, que los valores de los parámetros obtenidos en la caracterización del agua cruda cumplen con los rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que son descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses publicados en el artículo 10. Decreto 883, [5] resultados esperados ya que el agua ha pasado por tratamientos primario, secundario y terciario en la planta de tratamiento Sur de Maracaibo, no obstante para hacer reutilizable esta agua en la generación de energía eléctrica se requiere implementar un tratamiento de pulimento para llegar a las especificaciones establecidas por la empresa.

**Tabla 1. Características físico-químicas del efluente a tratar**

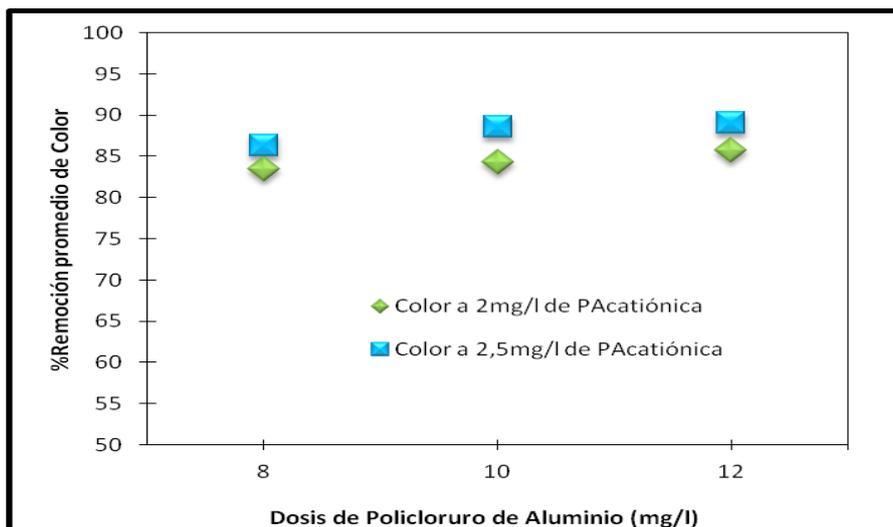
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Color Aparente (UC Pt-Co)	898
Turbidez (NTU)	154
Ph	9,4
Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	756
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	23,1
DQO (mg/l)	179
Nitrógeno Total (mg/l)	2,8
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	1,9
Fósforo Total (mg/l)	4,5
Cloruros (mg/l)	105
Sólidos Suspendidos Totales, SST (mg/l)	95
Sólidos Suspendidos Volátiles, SSV (mg/l)	76

#### **Selección de coagulante y determinación de la dosis óptima**

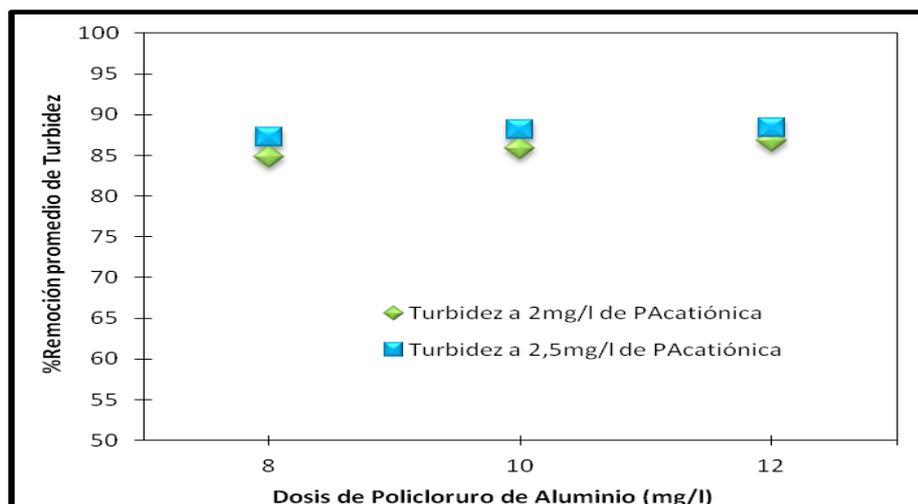
Para el desarrollo de esta etapa, se contó con cuatro coagulantes diferentes, los cuales fueron Sulfato de Aluminio, Policloruro de Aluminio, Poliacrilamida Aniónica y Poliacrilamida Catiónica [6]. Los mayores porcentajes de remoción de color y turbidez se obtuvieron con el Policloruro de Aluminio y el polímero catiónico. Luego se decidió evaluar la unión de ambos coagulantes.

En las Figuras 1 y 2, se puede observar que al igual que el porcentaje de remoción de color, el porcentaje de remoción de la turbidez sigue la misma tendencia para 2 y 2,5 mg/l de Poliacrilamida Catiónica, en donde a pesar de ir aumentando la dosis de Policloruro de Aluminio agregado, no se evidenció un incremento significativo de la remoción de dichos parámetros, por lo que se aplicó el análisis de varianza de un solo factor (ANOVA), con el cual se obtuvo, que no existió diferencia significativa entre las dosis evaluadas de Policloruro de Aluminio para las dos concentraciones de Poliacrilamida Catiónica fijadas.

Se determinó como dosis óptima de coagulante 8 mg/l de Policloruro de Aluminio y como ayudante de coagulación 2 mg/l de Poliacrilamida Catiónica, alcanzando remociones de 84 % de color y 85% de turbidez, los valores absolutos fueron 129 UC Pt-Co y 21 NTU. Demostrándose, que la utilización de la combinación del coagulante y el ayudante de coagulación, arrojó remociones de aproximadamente un 10 % mayores, que cuando se empleó solo el coagulante.



**Figura 1. Variación de los porcentajes de remoción del color utilizando distintas dosis de coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) y del ayudante de coagulación Poliacrilamida Catiónica (PACatiónica).**



**Figura 2. Variación de los porcentajes de remoción de la turbidez utilizando distintas dosis de coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) y del ayudante de coagulación Poliacrilamida Catiónica (PACatiónica).**

#### **Evaluación de la unidad de flotación con aire disuelto (FAD)**

Se sometió al agua en tratamiento a la etapa de flotación con aire disuelto, dicho proceso fue evaluado a 207 KPa, 276 KPa y a 345 KPa, con variaciones de reciclo de 20, 25, 30, 35 % para cada presión, con la finalidad de seleccionar la mejor condición de trabajo. Es importante señalar que dichas condiciones de operación fueron seleccionadas en base al estudio de De Turrís y col en el 2011. [7]

Los valores de color, turbidez y DQO obtenidos para las distintas presiones aplicadas fueron similares entre sí, por lo que la selección de la presión y el porcentaje de reciclo estuvo enfocado en obtener ventajas operacionales tales como, la uniformidad en la difusión del aire en el cilindro de flotación, mejoramiento de la velocidad de flotación de los flocúlos formados y un mejor control en la válvula de entrada al cilindro de flotación. Atendiendo a estas consideraciones, la mejor condición de trabajo para el proceso fue a 276 KPa y 20 % de reciclo, donde se obtuvieron valores de 79 UC Pt-Co de color, 11 NTU de turbidez y 30 mg/l de DQO, que corresponden a remociones del 90 %, 92 % y 81 %, respectivamente. Las condiciones de operación óptimas del proceso de flotación con aire disuelto, han sido evaluadas en trabajos realizados anteriormente, los cuales obtuvieron resultados similares a los presentados en el desarrollo de esta investigación. Cárdenas en 1995 [8] y López en el 2000 [9].

Una vez seleccionadas dichas condiciones, se procedió a la caracterización tanto de los sólidos suspendidos totales como de los volátiles, obteniéndose remociones del 87% y 90%, respectivamente. La afirmación anterior, indica que el proceso de flotación con aire disuelto es una excelente alternativa para el tratamiento de aguas con un alto contenido de sólidos en suspensión.

### **Evaluación del proceso de filtración**

El filtro empleado en el desarrollo de la presente investigación presentó parámetros típicos para su construcción con un coeficiente de uniformidad de 1,4, un tamaño efectivo de 0,45 mm y una profundidad del lecho de 50 cm, correspondiendo a un filtro convencional estratificado de medio único. [10]

Como se puede observar en la Tabla 2, en las ocho corridas desarrolladas del proceso de filtración, se logró un porcentaje de remoción promedio para el color y la turbidez de 48 y 43 % respectivamente, y con respecto a los sólidos suspendidos se llegaron a valores de 1,43 mg/l para los totales y 0,95 mg/l en cuanto a los volátiles con remoción de 84% en ambos casos; resultados estos que demuestran que el objetivo del proceso fue alcanzado, obteniendo un desempeño eficiente del mismo. [10]

**Tabla 2. Evaluación del Proceso de Filtración**

<b>Parámetro</b>	<b>Color (UC Pt-Co)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>SST (mg/l)</b>	<b>SSV (mg/l)</b>
Entrada Promedio	88	14	45	8,88	6,03
Salida Promedio	46	8	36	1,43	0,95
% Remoción	48%	43%	20%	84%	84%
Rango	38-55	6-10	31-40	0,60-2,40	0-1,80
DS	5,30	1,39	3,49	0,73	0,57

n=8

### **Evaluación del proceso de cloración**

La etapa de cloración consistió en la adición de cloro al agua residual para oxidar el nitrógeno amoniacal de la solución a nitrógeno gas y otros compuestos estables. Teóricamente la relación ponderal entre el cloro y el nitrógeno amoniacal en el punto de quiebre es de 7,6:1. [4,10] En el desarrollo de esta etapa se utilizó una dosis teórica de cloro de 7 mg/l por cada 1 mg/l de nitrógeno amoniacal presente en el agua, se realizaron ensayos disminuyendo la dosis de cloro en un 20, 30 y 40% de la dosis teórica. En la Figura 1, se muestra el comportamiento de la concentración de cloro residual así como también el nitrógeno amoniacal por dosis de cloro aplicada.

En las Figuras 3 y 4, se observa que a medida que se incrementa la dosis de cloro, aumenta la concentración de cloro residual, obteniéndose un consumo de la concentración de cloro de un 60% aproximadamente; lo que hace pensar que se formaba un equilibrio que detenía la demanda de cloro a pesar de que quedaban concentraciones de cloro residual de 5 mg/l y estas no fueron consumidas ni por la materia orgánica, ni por el nitrógeno amoniacal.

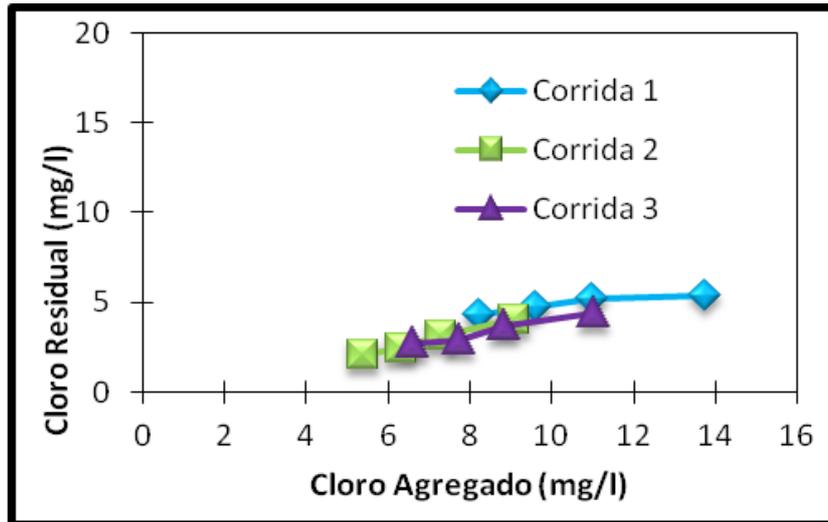


Figura 3. Concentración de Cloro Residual después del proceso de cloración

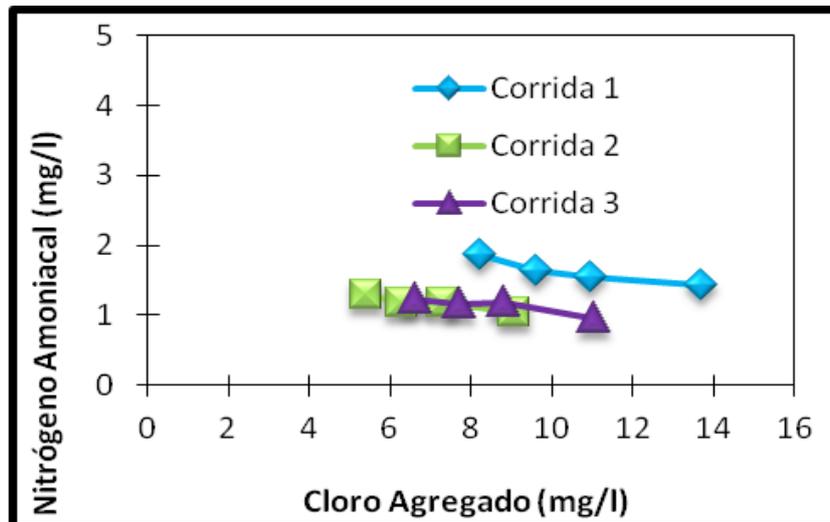


Figura 4. Concentración del Nitrógeno Amoniacal después del proceso de cloración

Además, se observa que el nitrógeno amoniacal fue disminuyendo a medida que se incrementaba la dosis de cloro, comportamiento esperado, ya que el cloro reacciona con el nitrógeno amoniacal para formar cloraminas; es importante señalar que no se logró la eliminación completa del nitrógeno amoniacal, debido a que el pH del agua se encontraba en 8,6 el cual es un pH elevado, ya que teóricamente para la eliminación del nitrógeno amoniacal, el agua debe poseer un pH menor a 7,5 para garantizar la conversión completa del nitrógeno amoniacal a nitrógeno gas. Sin embargo, en promedio, se obtuvo un valor de 1,15 mg/l de nitrógeno amoniacal, alcanzando remociones del 19 % aproximadamente para una dosis de cloro de 7 mg/l por cada 1 mg/l de nitrógeno amoniacal.

### Resultados del tratamiento global

La tendencia de todos los parámetros evaluados en el desarrollo del proceso de adecuación propuesto, presentan comportamientos similares, donde se observa un descenso notable de los parámetros analizados del agua cruda al pasar por la etapa de flotación con aire disuelto, posteriormente una leve disminución en las etapas de filtración y desinfección. (Figura 3). Se obtuvieron excelentes remociones del 98 % para los sólidos suspendidos totales y volátiles, 95% para el color y turbidez, 43% en cuanto a nitrógeno amoniacal, 26 % de fósforo total y un 74 % de DQO. (Tabla 2).

**Tabla 2. Eficiencia de remoción del tratamiento global implementado al efluente de las lagunas de estabilización de Planta Sur**

Parámetros	Agua Cruda	Agua Tratada	% Remoción Global
Color (UC Pt-Co)	734	35	95
Turbidez (NTU)	126	6	95
pH	9,49	8,4	---
Conductividad (µs/cm)	844	866	---
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	2,01	1,15	43
Fósforo Total (mg/l)	4,74	3,51	26
SST (mg/l)	70	1,3	98
SSV (mg/l)	61	0,8	98
DQO (mg/l)	135	35	74

## CONCLUSIONES

1. Se caracterizó el agua residual tratada procedente de las lagunas de estabilización de Planta Sur, la cual presentó valores de 898 UC Pt-Co de color, 154 NTU de turbidez, 179 mg/l de DQO, y 97 y 76 mg/l de sólidos suspendidos totales y volátiles respectivamente, evidenciándose un alto contenido de algas y de materia orgánica.
2. Se seleccionó el Policloruro de Aluminio como el coagulante ideal con una dosis óptima de 8 mg/l y a la Poliácridamida Catiónica como ayudante de coagulación a una dosis de 2 mg/l, las cuales fueron validadas estadísticamente, llegando a valores de 129 UC Pt-Co de color y 21 NTU de turbidez, con remociones de 84 % y 85 %, respectivamente.
3. Se evaluó la unidad de flotación con aire disuelto obteniéndose una presión de 276 KPa y 20 % de reciclo como la mejor condición de trabajo para el proceso, donde se registraron remociones del 90% de color, 92% de turbidez, 81% de DQO, 87 % de SST y 90 % SSV.
4. Se demostró la eficiencia del filtro convencional estratificado construido obteniéndose remociones de color y turbidez de 48 y 43 % respectivamente, y con respecto a los sólidos suspendidos.
5. Se desarrolló la etapa de cloración, lográndose disminuir la cantidad de nitrógeno amoniacal remanente en el agua residual tratada a 1,15 mg/l, las mayores remociones obtenidas en promedio fueron de 19 % aproximadamente, para una dosis de cloro de 7 mg/l por cada 1 mg/l de nitrógeno amoniacal.
6. Se determinó la eficiencia del tratamiento de adecuación del efluente de las lagunas de estabilización de Planta Sur planteado, el cual consistió en tres etapas, flotación con aire disuelto, filtración y cloración, alcanzado valores y remociones globales de 35 UC Pt-Co (95 %) de color, 6 NTU (95 %) de turbidez, 1,15 mg/l (43 %) de nitrógeno amoniacal, 3,51 mg/l (26 %) de fósforo total, 1,3 mg/l (98 %) de SST, 0,8 mg/l (98 %) de SSV y 35 mg/l (74 %) de DQO, evidenciándose que el proceso de tratamiento propuesto, resultó ser una alternativa eficaz, para la reutilización del agua residual tratada como agua de proceso en plantas termoeléctricas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. RIVAS MIJARES, G. 1978. Tratamiento de Aguas Residuales. Segunda Edición. Ediciones Veja.
2. GREENBERG, A.; CRESCERI, L.; EATON, A. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th Edition. American Public Health Association. Washington. 1999.
3. Miller, J.C; Miller J.N. 1998. "Estadística para Química Analítica". Segunda Edición. Addison-Wesley Iberoamericana Hornillos. 20-63pp
4. METCALF Y EDDY. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tomo I. Volumen I. Tercera edición. Mc-Graw Hill. México. pp 752. 1996.
5. Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertido o Efluentes Líquidos. Gaceta Oficial de la República de Venezuela. No 5021. Decreto 883. Diciembre 18. 1995.
6. SNF FLOERGER. Products. Disponible en el World Wide Web <http://www.snf-group.com/Flocculants.html> Consultado en Mayo 2011.
7. DE TURRIS, A., YABROUDI, S., VALBUENA, B., GUTIERREZ, C., CÁRDENAS, C., HERRERA, L.; ROJAS, C. "Tratamiento de aguas de producción por flotación con aire disuelto". Interciencia. Vol. 36, No 3. pp 211-218. 2011.
8. CÁRDENAS, C. Remoción de algas mediante flotación con aire disuelto. Trabajo especial de ascenso. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. 1995.
9. LÓPEZ, E. Y ORTEGA, W. Pulimento de los efluentes de las lagunas de estabilización de la Universidad del Zulia mediante flotación con aire disuelto. Trabajo especial de grado. Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela. 2000.
10. ARBOLEDA, J. 2000. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Tomo I. Tercera Edición. Mc-Graw Hill. Colombia. pp 362.