

Tratamiento de aguas residuales domésticas para su potencial reutilización industrial

Lenín Herrera, Paola Flores, Pamela Mejías, Luis Vargas,
Carmen Cárdenas, Ismenia Araujo, Nilian Del Villar y José Delgado

Centro de Investigación del Agua, Facultad de Ingeniería, Núcleo Técnico,
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. leninherre@gmail.com

Resumen

El objetivo de esta investigación fue proponer un esquema de tratamiento del efluente doméstico de una laguna de estabilización para su potencial reutilización como agua de servicios industriales. Se realizaron ensayos de coagulación, mediante Pruebas de Jarra, para la selección y dosificación del coagulante. Una vez seleccionado el coagulante, se sometió la muestra al proceso de flotación con aire disuelto y a filtración con arena. Los ensayos realizados permitieron proponer el siguiente esquema de tratamiento: coagulación, con 8 mg/L de policloruro y 2 mg/L de poliacrilamida catiónica, seguida de flotación con aire disuelto a 276 KPa con una relación de reciclo del 20%. Finalmente, filtración con arena de diámetro efectivo 0,4 mm y un coeficiente de uniformidad de 1,4. Las características del agua al final de la serie de procesos fueron: color 46 UC Pt-Co, turbidez 9 NTU, demanda química de oxígeno (DQO) 35 mg/L, nitrógeno amoniacal 1,42 mg/L y sólidos suspendidos totales (SST) 1,4 mg/L. Los resultados evidenciaron que el proceso de tratamiento propuesto es una alternativa de pulimento eficaz para la reutilización del agua residual tratada como insumo en determinados procesos industriales.

Palabras clave: Reutilización de efluentes domésticos, coagulación, flotación con aire disuelto, filtración.

Treatment of Domestic Wastewater for Potential Industrial Reuse

Abstract

The objective of this research was to propose a treatment scheme for domestic effluents in a stabilization pond in order to reuse them as industrial service waters. Coagulation assays were performed by jar tests to select the type and doses of coagulant. Once the coagulant had been selected, the water sample was subjected to a flotation process with dissolved air and sand filtration. Tests results made it possible to propose the following treatment scheme: coagulation with 8 mg/L of polychloride and 2 mg/L of cationic polyacrylamide, followed by dissolved air flotation under the following conditions: 276 KPa with a recycle ratio of 20%. Finally, filtration using sand of an effective diameter of 0.4 mm and a uniformity coefficient of 1.4 was performed. Characteristics of the water at the end of the series of processes were: color 46 UC Pt-Co, turbidity 9 NTU, chemical oxygen demand (COD) 35 mg/L, ammonia nitrogen 1.42 mg/L and total suspended solids (TSS) 1.4 mg/L, demonstrating that the proposed treatment processes are an alternative to effectively polish the effluent and reuse treated wastewater as an input for certain industrial processes.

Keywords: Domestic wastewater reuse, coagulation, dissolved air flotation, filtration.

Introducción

El manejo integral del recurso hídrico requiere de una gestión eficaz basada en el ahorro, la reutilización y la preservación de la calidad del agua; así como también la implementación de tecnologías e infraestructura multipropósito, una planificación sostenible del territorio y una gestión integrada de las cuencas hidrográficas (Morató et al. 2006, O'Connor et al. 2010).

La creciente escasez de agua potable, la necesidad de proteger el ambiente y el deseo de alcanzar un mejor aprovechamiento de las aguas, ha promovido la utilización de las aguas residuales tratadas para el riego (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente 2002).

Estos efluentes poseen un alto contenido de nutrientes lo cual determina que aumente el rendimiento de los cultivos sin necesidad de utilizar fertilizantes (Hidalgo e Irusta 2004). Sin embargo, los efluentes pueden contener metales pesados, compuestos orgánicos e inorgánicos y una amplia gama de patógenos que tienen un impacto negativo en el ambiente y en la salud humana; por lo cual es necesario evaluar siempre su uso, cuantificando su efecto sobre el suelo (Zamora *et al.* 2009).

Cárdenas *et al.* (1995), en un trabajo sobre el tratamiento de efluentes de las lagunas de estabilización de la Universidad del Zulia, con la técnica de flotación con aire disuelto, reportaron valores de remoción de 92% de sólidos suspendidos totales (SST), 88% de color, 85% de turbidez y 62% de demanda química de oxígeno (DQO). Rojas *et al.* (2008), evaluaron un sistema de flotación con aire disuelto para el tratamiento de aguas aceitosas de producción, con el que obtuvieron porcentajes de remoción de 90% de aceites y grasas, 72% de sólidos suspendidos y un 70% de clarificación del efluente. Cardozo *et al.* 2009 realizaron el tratamiento fisicoquímico del efluente de una planta en la comunidad de Bachaquero, estado Zulia, para adaptarlos a los requerimientos de calidad necesarios en procesos industriales, el cual involucró coagulación, floculación, sedimentación y filtración. En este caso se describieron remociones de 82% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y DQO, 89% de los SST, 86% del color y 81% de turbidez. De Turrís *et al.* (2011), evaluaron un sistema de flotación con aire disuelto para el tratamiento de aguas de producción, utilizando coagulante, y obtuvieron remociones de 90% de aceites y grasas, 72% de sólidos suspendidos y clarificación del efluente de 70%.

El objetivo de la investigación fue proponer un esquema de adecuación del efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para su potencial reutilización en procesos industriales.

Materiales y métodos

Origen del efluente

Se utilizó el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Maracaibo Sur, operada por Hidrológica del Lago (HIDROLAGO) ubicada en el municipio San Francisco, estado Zulia.

Caracterización del efluente

Se determinaron los parámetros fisicoquímicos del efluente de la planta siguiendo lo establecido por el Standard Methods (APHA et al. 2000): Demanda Química de Oxígeno (SM 5220-D), Temperatura (SM 2550), Nitrógeno Amoniacal (SM 4500-NH₃-E), Conductividad (SM 2510-B), Fósforo Total (SM 4500-P.B,E), Color (SM 2120-C), Sólidos Suspendidos Totales (SM 2540-D), Turbidez (SM 2130-B), Sólidos Suspendidos Volátiles (SM 2540-E), Cloro Residual (SM 4500Cl-G) y pH (SM 4500-H+).

Selección y dosificación del coagulante

La selección y dosis del coagulante se realizó mediante la Prueba de Jarra. Los coagulantes evaluados fueron sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, polímero aniónico AN934 SH SNF Floerger y polímero catiónico FO4440 SSH SNF Floerger, Tabla 1.

La Prueba de Jarra se efectuó en recipientes de 1 L de capacidad con 1 minuto de mezcla rápida (100 rpm) al aplicar los coagulantes combinados y 5 minutos de mezcla lenta (20 rpm). Luego se decantó el agua y se determinaron los parámetros de pH, color aparente, turbidez, conductividad, DQO y SST. Cabe destacar, que para llevar a cabo el tratamiento aplicado de manera continua, los coagulantes seleccionados, a partir de las pruebas de jarra, fueron dosificados en el cilindro de flotación.

Tabla 1. Descripción de los coagulantes

Sustancias Químicas	Descripción
Sulfato de Aluminio ^{*1,2}	Sal metálica sólida de color blanco Formula química: Al ₂ (SO ₄) ₃ 14 H ₂ O Rango de pH: 6-8 Gravedad específica : 2,7 a 20° C
Policloruro de Aluminio ^{*1,2}	Polímero líquido cristalino, incoloro e inodoro Fórmula química: Al _m (OH) _n Cl _{n*2m} Gravedad específica: 1,30 a 1,34 a 20° C Rango de pH: 4-10
Poliacrilamida Aniónica ^{*3}	Alto peso molecular Serie AN 934, grado SH
Poliacrilamida Catiónica ^{*3}	Alto peso molecular Serie FO 4440, grado SSH

Fuente: (¹Metcalf y Eddy 1996a; ²Arboleda 2000; ³ANIQ C.A. 2011)

Flotación con aire disuelto

El equipo para evaluar la flotación con aire disuelto estuvo integrado por una cámara de presurización (recipiente de acero inoxidable de 11,5 cm de diámetro externo y 33 cm de altura) que tenía instalada a la salida una válvula reductora de presión para permitir la liberación del líquido presurizado y conexiones flexibles. La unidad tenía en el tope una empaadura, una válvula para la alimentación del reciclo y un medidor de presión de 0-690 KPa.

El cilindro de flotación era un recipiente graduado de plexiglass, con un volumen de 5 L, diámetro externo de 15,6 cm y 30 cm de altura; además contenía una lámina circular de plexiglass uniformemente perforada que actuó como difusor del agua saturada con aire.

El procedimiento se realizó tomando 4 L como volumen total de agua a tratar. El volumen de agua a agregar en el cilindro de flotación, correspondiente a cada ensayo, se determinó según la siguiente ecuación:

$$V_a = (100 - \text{Porcentaje de Reciclo}) \times V_c \quad (\text{Ec. 1})$$

donde:

V_a : Volumen a agregar en el cilindro de flotación

V_c : Volumen total de agua a tratar = 4 L

Porcentaje de Reciclo: Fracción de agua saturada con aire que se adiciona una vez iniciado el ensayo de flotación

Se evaluaron diferentes porcentajes de reciclo de 20, 25, 30 y 35% del volumen total, para determinar el porcentaje óptimo de la relación de reciclo.

Se hizo vacío en la cámara de presurización y se agregó el volumen de agua proveniente de la etapa de coagulación y decantación a la cámara de presurización, correspondiente a cada porcentaje de reciclo. Se suministró aire comprimido a la cámara de presurización a las presiones de 207, 276, 345 KPa para determinar la presión óptima de operación.

Se agitó la cámara de presurización durante 1 minuto y luego se dejó reposar por 3 minutos para lograr la saturación del agua con aire. Se adicionó la dosis óptima de coagulante y del ayudante de coagulación y se agitó por 1 minuto a 100 rpm.

Se transfirió el agua saturada con aire hacia el cilindro de flotación, abriendo completamente la válvula de salida del agua presurizada. El paso del agua al cilindro de flotación se reguló a través de la válvula de control de agua presurizada, para evitar que la turbulencia rompiera los floculos aglomerados (Eckenfelder 1980, Ross y Valentine 2008, Wiley et al. 2009).

Filtración

El agua clarificada proveniente de la etapa de flotación con aire disuelto fue filtrada en un filtro de arena integrado por un tubo de plexiglass, en el cual se colocó gasa quirúrgica, como material de soporte, para evitar que la arena pasara a la salida del filtro y en la parte superior arena de diámetro efectivo de 0,4 mm y un coeficiente de uniformidad de 1,4; con un lecho de 50 cm de longitud y un diámetro de interno de 6 cm.

Para la distribución de tamaño del medio filtrante se pesó la arena, se tamizó en una sucesión de tamices normalizados y se obtuvo el porcentaje del peso retenido en cada tamiz con relación al total. Luego se graficó el porcentaje acumulado en peso en función del tamaño del grano en un papel semilogarítmico para determinar las características de diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad del medio filtrante (Metcalf y Eddy 1996a, EPA 1995, Tao y Mancl 2008).

Resultados y discusión

En la Tabla 2 se presentan los parámetros fisicoquímicos del efluente. Estos resultados revelan que la calidad del agua no permite su utilización como agua de servicio y proceso en plantas termoeléctricas. Sin embargo, cumple con los rangos y límites establecidos por la normativa legal vigente de Venezuela para vertidos en ríos, estuarios, lagos y embalses (Gaceta Oficial 1995).

Para lograr que esta agua pueda ser usada como agua de servicio en una planta termoeléctrica, se requiere que sea sometida a procesos de tratamiento adicionales para alcanzar los niveles de calidad que permita cumplir con las especificaciones establecidas por la empresa para sus usos, y más específicamente para alimentar unidades de osmosis inversa (García 2010).

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del efluente sin tratamiento

Parámetro	Valor	Decreto 883
Color Aparente (UC Pt-Co)	898	500
Turbidez (NTU)	154	n/a
pH	9,4	6-9
Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	756	n/a
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	23,1	n/a
DQO (mg/L)	179	350
Nitrógeno Total (mg/L)	2,8	40
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	1,9	n/a
Fósforo Total (mg/L)	4,5	10
Cloruros (mg/L)	105	1000
SST (mg/L)	95	n/a
SSV (mg/L)	76	n/a

n/a: No son requeridos por la normativa vigente.

Las aguas residuales domésticas tratadas por la Planta de Tratamiento Maracaibo Sur, presentaron un alto contenido de sólidos suspendidos (aportados en gran parte por la presencia de microalgas), así como altos niveles de turbidez (154 UNT) y color (898 UC Pt/Co), Tabla 2. Las microalgas son las encargadas, en sistemas de tratamiento basados en lagunas de estabilización, de proveer el oxígeno para que se lleve a cabo el proceso de biodegradación de la materia orgánica; por tanto la presencia masiva de estos organismos fotosintéticos le proveen al agua tratada altos niveles de sólidos en suspensión, color y turbidez.

El sulfato de aluminio, de los cuatro coagulantes evaluados, Tablas 3a y 3b, requirió de dosis considerablemente altas para las remociones alcanzadas; por lo cual su utilización no mostró ser económicamente factible. Por su parte la poliacrilamida aniónica, reflejó porcentajes de remoción negativos, lo cual indica que al ser agregado, no ocurre el proceso de desestabilización de las cargas de los coloides, impidiendo así la formación de los conglomerados y produciendo un incremento de color y turbidez en el agua por la dispersión del polímero (Arboleda 2000).

Los mayores porcentajes de remoción de turbidez y color se alcanzaron con el policloruro de aluminio (PAC) y la poliacrilamida catiónica (PA catiónica), por lo que se procedió a ensayar con ambos coagulantes, Tablas 3a y 3b.

Tabla 3a. Porcentajes de remoción obtenidos en las pruebas de Jarra utilizando diferentes productos químicos coagulantes

% Remoción				
Sulfato de Aluminio			Policloruro de Aluminio	
Concentración del Coagulante (mg/L)	Color Aparente (UC Pt-Co)	Turbidez (NTU)	Color Aparente (UC Pt-Co)	Turbidez (NTU)
20	5,1	7,7	32,4	57,2
30	9,9	8,5	51,3	68,1
40	15,9	14,1	52,6	47,6
50	24,6	19	61,7	51,2
60	25	17,6	71,7	50
80	24,8	29,6	86,4	62,7
100	26,5	37,3	79,1	83,1
120	26,7	35,9	81,4	82,4
140	28,2	36,6	88,1	88,7
160	38,7	45,8	91,7	91,5
180	53,8	61,3	---	---

Tabla 3b. Porcentajes de remoción obtenidos en las pruebas de jarra utilizando diferentes productos químicos coagulantes

% Remoción					
Poliacrilamida Aniónica			Poliacrilamida Catiónica		
Concentración del Coagulante (mg/L)	Color Aparente (UC Pt-Co)	Turbidez (NTU)	Concentración del Coagulante (mg/L)	Color Aparente (UC Pt-Co)	Turbidez (NTU)
1	-0,3	-0,7	1	81,2	83,8
2	0	-0,7	2	83,8	86
5	-0,3	-0,7	3	87,1	90,4
10	-0,3	-0,7	4	88,3	89,4
20	-0,8	-0,7	4,5	89,7	90,4

Por otra parte, las Figuras 1 y 2 permiten apreciar que la remoción de turbidez y color presentaron el mismo comportamiento para las dos concentraciones de poliacrilamida catiónica, 2 y 2,5 mg/L a medida que incrementa la dosis de policloruro de aluminio (8, 10 y 12 mg/L). El análisis de varianza (ANOVA) indicó que no hubo diferencias significativas entre las dosis evaluadas para las dos concentraciones de poliacrilamida catiónica a las distintas concentraciones de policloruro de aluminio ($p < 0,05$), Figs.1 y 2.

De esta forma, 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, con la cual se alcanzaron remociones de 85% de turbidez y 83% de color, para las cuales corresponden valores absolutos de 21 NTU y 129 UC Pt-Co, respectivamente, Figs. 1 y 2.

Seguidamente, se sometió el agua en tratamiento a la etapa de flotación con aire disuelto, el cual fue evaluado a 207 KPa, 276 KPa y a 345 KPa, con variaciones de reciclo de 20%, 25%, 30% y 35% para cada presión.

Con el propósito de hallar las condiciones óptimas de operación y debido a que los valores de turbidez, color y DQO obtenidos para las distintas presiones aplicadas fueron similares entre sí, 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

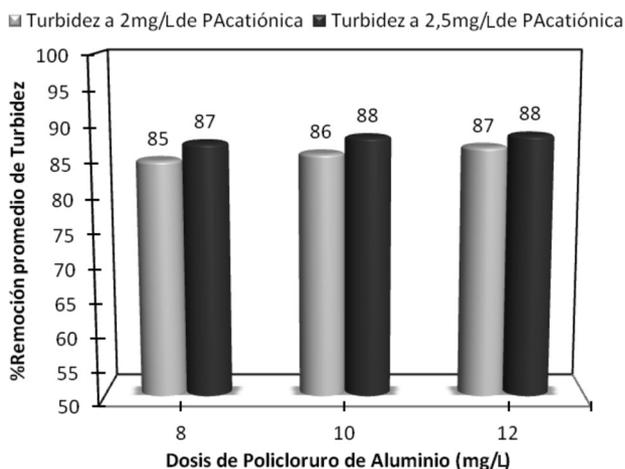


Figura 1. Variación de los porcentajes de remoción de Turbidez

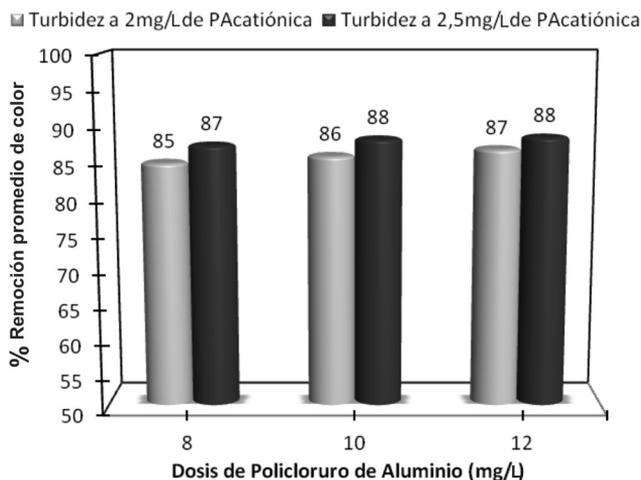


Figura 2. Variación de los porcentajes de remoción de Color

de flotación. Atendiendo estas consideraciones, la mejor condición de trabajo para el proceso fue a 276 KPa y 20% de reciclo. Una vez seleccionadas dichas condiciones, se procedió a la caracterización del efluente del sistema de flotación con aire disuelto a través del análisis de los parámetros físicoquímicos (Tabla 4). Las altas remociones logradas, como son el 88% de color, 89% de turbidez, 67%, de DQO, 87% de sólidos suspendidos totales y 90% de volátiles, confirman 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 en el efluente del sistema de lagunas.

Posteriormente, se procedió al tratamiento mediante filtración, donde el principal objetivo era conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión y, por lo tanto, la remoción de color y turbidez (Metcalf y Eddy 1996a). La Tabla 5 muestra que en esta etapa se logró un porcentaje de remoción promedio para el color y la turbidez de 48% y 43%, respectivamente mientras que para los sólidos suspendidos totales se obtuvieron valores de 1,43 mg/L y para los volátiles 0,95 mg/L, con remoción del 84% en ambos casos; estos resultados demostraron que el objetivo del proceso fue alcanzado, obteniendo un desempeño eficiente del filtro construido.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos del efluente en la etapa de flotación con aire disuelto

Parámetro	Valor promedio	%Remoción	Rango	DS
Color Aparente (UC Pt-Co)	88	88,0	70-122	70,0
Turbidez (NTU)	13	89,1	11-19	11,0
pH	8,7	n/a	8,0-9,7	8,0
Conductividad (μ s/cm)	835	n/a	754-880	754,0
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	1,55	24,5	0,6-2,0	0,6
Fósforo Total (mg/L)	4,0	16,4	3,0-5,2	3,0
SST (mg/L)	8,9	87,3	4,8-12,8	4,8
SSV (mg/L)	6,0	90,1	1,6-12,0	1,6
DQO (mg/L)	45	66,7	34-59	34,0

n= 8; n: Número de corridas; n/a: No aplica.

Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos del efluente después de la etapa de filtración

Parámetro	Color (UC Pt-Co)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	SSV (mg/l)
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					

La Tabla 6 permite apreciar que los valores de remoción para los sólidos suspendidos totales y volátiles se encuentran alrededor de un 98%, con valores absolutos de 1,4 y 1 mg/L respectivamente; comportamiento esperado, dado que la finalidad de la flotación con aire disuelto en combinación con la filtración, fue eliminar el contenido de algas presentes en el agua como sólidos suspendidos. Estos parámetros están vinculados a su vez con el color y la turbidez alcanzando una remoción integral del 95% en ambos casos, con valores de 46 UC Pt-Co de color y 8 NTU de turbidez. La demanda química de oxígeno, por su parte, fue de 35 mg/L, con una remoción de la materia orgánica del 74%.

Tabla 6. Eficiencia de remoción del tratamiento global implementado

Parámetros	Agua Cruda	Agua Tratada	% Remoción Global
Color (UC Pt-Co)	898	46	95
Turbidez (NTU)	126	8	95
pH	9,49	8,4	n/a
Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	844	866	n/a
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	2,01	1,15	43
Fósforo Total (mg/l)	4,74	3,51	26
SST (mg/l)	70	1,4	98
SSV (mg/l)	61	1	98
DQO (mg/l)	135	35	74

n/a: No aplica.

El agua residual tratada, luego del tratamiento de pulimento aplicado, presentó valores de conductividad de 866 $\mu\text{s}/\text{cm}$, Tabla 6, lo cual indica la presencia de iones tales como calcio, magnesio, bicarbonato, cloruros, sulfatos, entre otros y crea la necesidad de aplicar un tratamiento posterior al propuesto en este trabajo para lograr que pueda ser reutilizada como agua de proceso para la alimentación directa de unidades de ósmosis inversa; que es una alternativa válida para la eliminación de gran parte de las sales disueltas, requerimiento exigido si va ser usada para el control de NOX en las turbinas de gas o diesel, o para el uso en las turbinas durante la generación de vapor (Metcalf y Eddy 1996b).

Conclusiones

La secuencia de procesos de tratamiento del efluente de Planta Sur propuesta (coagulación-flotación con aire disuelto-filtración) permitió obtener un agua de adecuada calidad, constituyendo así una alternativa de pulimento eficaz para la reutilización del agua residual tratada como insumo en determinados procesos industriales, como agua de enfriamiento, agua de servicios, agua contra incendio, entre otros.

Las concentraciones residuales de nitrógeno amoniacal sugieren considerar procesos de remoción de nitrógeno adicionales como cloración en el punto de ruptura para reducir al mínimo la posibilidad de

crecimiento de películas bacterianas en algunos equipos como intercambiadores de calor.

La presencia de sales inorgánicas, DQO y turbidez también pueden limitar el uso de esta agua en procesos donde se requiera agua de alta pureza, como es el caso de calderas que trabajen a altas presiones, síntesis de productos químicos, control de NO_x en turbogeneradores, y otros procesos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES) por el apoyo financiero a través del proyecto CC-0584-11 y al Centro de Investigación del Agua por el cofinanciamiento.

Literatura citada

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION AND WATER ENVIRONMENT FEDERATION (Apha-Awwa-Wef). 2000. Standard methods for the examination of water and wastewater. Vigésima Primera Edición. American Public Health Assoc. Washington, D.C. 1427 p.
- ANIQ A. C. Asociación Nacional de La Industria Química. Productos Químicos para el tratamiento de aguas. Consultado el 14 de Abril de 2011. Disponible en: <http://www.aniq.org.mx/pqta/productos.asp?id>
- ARBOLEDA, J. 2000. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. Tomo I. Tercera Edición. Mc-Graw Hill. Colombia.
- CÁRDENAS, C. 1995. Remoción de algas mediante flotación con aire disuelto. Trabajo especial de ascenso. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- CARDOZO, O. 2009. Adecuación del agua residual doméstica de Bachaquero, Edo. Zulia, para su reúso como agua de procesos industriales. Trabajo especial de grado. Universidad del Zulia. Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela.
- DE TURRIS, A., S. YABROUDI, B. VALBUENA, C. GUTIÉRREZ, C. CÁRDENAS, L. HERRERA Y C. ROJAS. 2011. Tratamiento de aguas de producción por flotación con aire disuelto. *Interciencia* 36: (3) 211-218.
- ECKENFELDER, W, JR. 1980. Principles of Water Quality Management. CBI. Publishing Company, Inc. Boston USA. pp. 165-178.
- EPA. 1995. Water Treatment Manuals Filtration. Irland. pp.80.

- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA N° 5021. 1995. Decreto 883. Normas para la Clasificación y Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertido o Efluentes Líquidos.
- GARCÍA, R. 2010. Centrales Eléctricas. Centrales Termoeléctricas Clásicas. Consultado en Agosto 2010. Disponible en: <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo7.html>.
- HIDALGO, M. Y R. IRUSTA. 2004. Reutilización de agua residual tratada de origen municipal en agricultura. Cumbre de desarrollo sostenible, CONAMA VII del 22 al 26 de Noviembre.
- METCALF Y EDDY. 1996a. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tomo I. Volumen I. Tercera edición. Mc-Graw Hill. México.
- METCALF Y EDDY. 1996b. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tomo II. Volumen II. Tercera edición. Mc-Graw Hill. México.
- MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE. 2002. Elementos metodológicos para la introducción de prácticas de producción más limpia. Alternativas para el aprovechamiento económico de residuales. Centro de Información, Divulgación y Educación Ambiental. Cuba.
- MORATÓ, J., A. SUBIRANA, A. GRIS, A. CARNEIRO Y R. PASTOR. 2006. Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. Rev. Lasallista Invest. 3:19-29.
- O'CONNOR, T., D. RODRIGO Y A. CANNAN. 2010. Total water management: The new paradigm for urban water resources planning. World Environm. And Water Res. Congress. Challenges of Change-Proc. the World Environm. Water Res. Congr. 3251-3260.
- ROJAS, C., N. RINCÓN, A. DÍAZ, G. COLINA, E. BEHLING, E. CHACÍN Y N. FERNÁNDEZ. 2008. Evaluación de una unidad de flotación con aire disuelto para el tratamiento de aguas aceitosas. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia 31(1):50-57.
- ROSS, C. Y E. VALENTINE. 2008. Use of coupled biological/dissolved air flotation processes for treatment of food and dairy processing wastewaters. Environmental Treatment Systems, Inc. 1500 Wilson Way, Suite 100. Smyrna, GA 30082 North Carolina AWWA-WEA Annual Conference.
- TAO, J. Y K. MANCL. 2008. Sand Size Analysis for Onsite Wastewater Treatment Systems determination of Sand Effective Size and Uniformity Coefficient. The Ohio State University. Fact Sheet Agriculture and Natural Resources. AEX-757-08.
- WILEY, P., K. BRENNEMAN Y A. JACOBSON. 2009. Improved Algal Harvesting Using Suspended Air Flotation. WER. 81(7):702-708.
- ZAMORA, F., N. RODRÍGUEZ, D. TORRES Y H. YENDIS. 2009. Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela. Agric. Téc. Méx. 35(2) 211-218.