
Combinación de procesos de oxidación avanzada y procesos anaerobios para tratamiento de aguas residuales hospitalarias

Carlos Eduardo Muñoz Ortiz, Tatiana R. Chaparro*

Programa de Ingeniería Civil, Laboratorio de Saneamiento Ambiental, Universidad Militar Nueva Granada, Cra 11 No 101-80, Bogotá-Colombia

Combination of advanced oxidation process and anaerobic process for hospital wastewater treatment

Combinació de processos d'oxidació avançada i processos anaerobis pel tractament d'aigües residuals hospitalàries

Recibido: 4 de febrero de 2013; revisado: 5 de diciembre de 2013; aceptado: 9 de diciembre de 2013

RESUMEN

Las aguas residuales hospitalarias son una de las principales fuentes de contaminantes emergentes (e.g. antibióticos, antiepilépticos, hormonas). Debido a la baja eficiencia de los procesos convencionales usados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, para eliminar la materia orgánica de este origen, combinar procesos de oxidación avanzada con tratamientos biológicos, surge como una alternativa para reducir el impacto en el ambiente de estas aguas residuales. Con base en lo anterior el objetivo de este trabajo consistió en evaluar el desempeño de un reactor anaerobio horizontal de lecho fijo (RAHLF) tratando aguas residuales hospitalarias previamente ozonizadas. La eliminación de materia orgánica medida a partir de la DQO en el tratamiento combinado fue $93\% \pm 4\%$ y la UV_{254} fue $74\% \pm 6\%$. El aumento de la biodegradabilidad medida con el valor de la relación DQO/DBO₅ luego de la aplicación del ozono fue 51%. Los resultados muestran que tratar aguas residuales hospitalarias combinando procesos de oxidación avanzada basados en ozono y procesos anaerobios de biomasa inmovilizada es buena alternativa para transformar y degradar la materia orgánica de naturaleza recalcitrante presente en este tipo efluentes.

Palabras Clave: Biodegradabilidad, compuestos recalcitrantes, efluentes hospitalarios, Espectrofotometría UV.

SUMMARY

Hospital wastewaters are major sources of emerging compounds (e.g. antibiotics, antiepileptic, and hormones). Due to the low efficiency of conventional processes of urban wastewater treatment plants for the removal of the organic matter from this origin, the combination of one advanced oxidation process with biological processes is an attractive alternative. This work is therefore aimed to evaluate the performance of an horizontal anaerobic immobilized biomass reactor (HAIB) for treatment of previously ozonized hospital wastewaters. The organic matter removal measured as COD in the combined treatment was $93\% \pm$

4% and the UV_{254} decrease was $74\% \pm 6\%$. The increase of the biodegradability measured as the value of the relation COD/BOD₅ after ozone application was 51%. The results showed that treating hospital wastewaters by combination of an advanced oxidation process with immobilized biomass anaerobic treatment is a good alternative to transform and degrade the organic matter present in this type of effluents.

Key words: Biodegradability, recalcitrant compounds, hospital effluents, UV spectrophotometer.

RESUM

Les aigües residuals hospitalàries són una de les principals fonts de contaminants emergents (per exemple, antibiòtics, antiepilèptics, hormones). A causa de la baixa eficiència dels processos convencionals utilitzats en les plantes de tractament d'aigües residuals municipals, per eliminar la matèria orgànica d'origen hospitalari, en aquest estudi s'han combinat processos d'oxidació avançada i tractaments biològics. Amb base a l'objectiu anterior, aquest treball va consistir en avaluar la utilitat d'un reactor anaerobi horitzontal de jaç fix (RAHLF) pel tractament d'aigües residuals hospitalàries prèviament ozonitzades. L'eliminació de matèria orgànica va donar lloc a aigües amb una disminució del $92.7\% \pm 3.9\%$ de la DQO o del $73.6\% \pm 5.6\%$ de la UV_{254} . L'augment de la biodegradabilitat mesurada amb el valor de la relació DQO/DBO₅ després de l'aplicació de l'ozó va ser 51%. Els resultats mostren que tractar aigües residuals hospitalàries combinant processos d'oxidació avançada basats en ozó i processos anaerobis de biomassa inmovilitzada és una bona alternativa per transformar i degradar la matèria orgànica de naturalesa recalcitrant present en aquest tipus d'efluents.

Paraules clau: Aigües residuals hospitalàries, biodegradabilitat, contaminants recalcitrants, espectrofotòmetre.

Autor para la correspondencia: adela.rodriguez@unimilitar.edu.co, carlosmunortiz@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales hospitalarias (ARH) se caracterizan porque contienen una gran variedad de sustancias químicas como: compuestos farmacéuticos, solventes y desinfectantes usados en diagnósticos médicos, limpieza y en investigación [1-2]. Estas aguas generalmente llegan a los sistemas de recolección de aguas negras de las ciudades y municipios sin tratamiento previo, el cual deben realizar las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), junto con los efluentes de origen urbano [3]. Los tratamientos convencionales, generalmente biológicos, usados en las plantas de tratamiento no son capaces de eliminar materia orgánica de origen hospitalario materia orgánica de origen hospitalario [4-6]. Debido a ello se han usado otras tecnologías como los procesos de oxidación avanzada, que han mostrado ser efectivos en la degradación y/o la transformación de estas sustancias [7]. En los últimos años, diferentes investigaciones han mostrado la eficacia de la combinación de procesos de oxidación avanzada con procesos biológicos, en la eliminación de contaminantes traza de las aguas residuales. [5-6; 8-9] En este sentido, el objetivo de este trabajo ha consistido en evaluar la eficacia del sistema combinado POA-O₃, con procesos biológicos anaerobios de biomasa inmovilizada, empleando un reactor anaerobio horizontal de lecho fijo (RAHLF), para tratar aguas residuales hospitalarias reales.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Agua residual hospitalaria

El agua residual se recogió en la cámara de recolección de aguas residuales del Hospital Militar Central (HMC), ubicado la ciudad de Bogotá D.C. Dicha agua recibe los residuos de diferentes procesos entre los cuales se encuentran tratamientos médicos, intervenciones quirúrgicas, consultas externas, excreción de los productos farmacéuticos de los pacientes, limpieza y desinfección (aseo general), así como actividades de investigación y docencia que se practican dentro de la institución médica. El HMC cuenta con un total de 397 camas y atiende un promedio de 14.527 pacientes al mes, distribuidos entre hospitalizados, consultas externas, cirugía ambulatorias y demás procesos típicos de un hospital. En términos de paciente por día, un hospital aporta 160 g DBO₅, 260-300 g DQO y 120-150 g de sólidos suspendidos [5], lo que representa entre 2 y 3 veces más de la carga de las aguas residuales urbanas.

Se realizaron 4 muestreos de agua residual durante el año 2012 en intervalos de 3 meses. Las muestras recogidas se almacenaron a 4 °C y se caracterizaron de acuerdo con los métodos descritos por [10] y [11], para los ensayos de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos totales (ST), alcalinidad, ácidos volátiles, color, UV₂₅₄, sulfatos, NTK, fosfatos, DBO₅, DQO y pH.

2.2 Pretratamiento con ozono

El agua residual hospitalaria se sometió a un proceso de oxidación avanzada (POA-O₃) como pre-tratamiento del proceso anaerobio. La aplicación del ozono se realizó en un tubo cilíndrico de vidrio boro-silicato, de 733 mm de altura y un diámetro externo de 55 mm e interno de 45 mm, tipo Batch. El ozono era distribuido por medio de una

placa porosa de tamaño de poro medio situada en el fondo del reactor.

Se añadió ozono al sistema mediante un generador *Microzone 300P 120V/60HZ* marca *Clearwater Tech, LLC*, con una producción de ozono de 233mg O₃/h. El ozono no consumido en la reacción, se dirigía a un frasco cilíndrico que contenía una solución de KI al 2%, en donde se destruía y se medía la cantidad residual según el método descrito por [10]. La Figura 1 muestra el esquema del montaje.

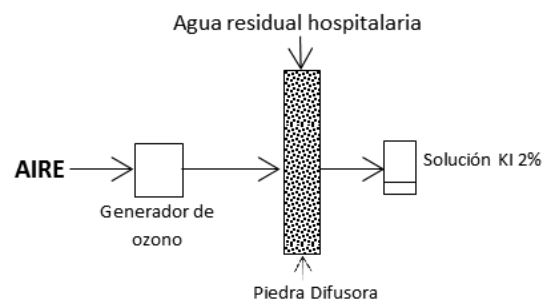


Figura 1. Montaje experimental reactor ozono

Antes de ozonizar el pH se ajustó a 10 usando NaOH (hidróxido de sodio) 1 mol/L, de acuerdo con las recomendaciones de [12], en donde se establece este valor como el óptimo para obtener un mayor aumento de la relación de biodegradabilidad (DQO/DBO₅), en aguas que contienen compuestos típicos de aguas hospitalarias (ARH).

La aplicación del POA-O₃ se realizó durante 60 minutos, las muestras se tomaron en el minuto 0 y 60. Se determinaron los siguientes parámetros según lo descrito por [10]: pH, DQO, DBO₅, color, absorbancia en la región del espectro U-VIS (200nm-500nm), mediante un espectrofotómetro DR 5000 UV-VIS marca HACH. Se analizaron todas las muestras por duplicado, lo que dio lugar a 49 experimentos.

2.3 Tratamiento Anaerobio

Posteriormente el agua ozonizada se trató en un reactor anaerobio de flujo horizontal y biomasa inmovilizada (RAHLF), diseñado conforme a recomendaciones de [13]. El reactor consistió en un tubo cilíndrico acrílico de 1000 mm de largo y 50 mm de diámetro, de relación L/D 20 con un volumen total de 1964 ml y un volumen útil de 1777 ml (Figura 2). El reactor RAHLF operó continuamente durante 169 días, con un tiempo de detención hidráulica (TDH) de 22 ± 1 horas, regulado por una bomba peristáltica marca Dolphin. El pH del afluente del reactor se mantuvo en el margen de 6.8 y 7.5, usando H₂SO₄ 0,5 mol/L.

Se usó como inóculo del sistema, lodo granular proveniente del reactor UASB y lodo del reactor IC de la PTAR de la cervecera Bavaria S.A. ubicada en el municipio de Tocancipá, Cundinamarca, en relación 80% y 20% respectivamente. Como medio de soporte se utilizó espuma de poliuretano de 0.5 cm de arista, cuya densidad era de 19.94 kg/m³, porosidad de 90.48% y la inoculación se realizó según la metodología descrita por [14].

El reactor RAHLF se operó durante 24 días con agua residual sintética (ARS), compuesta por urea (CH₄N₂O - 8.2 g/L), difosfato de potasio (K₂HPO₄ - 4.3g/L) y etanol (C₂H₆O - 1ml/L). Posteriormente, se estableció una estrategia de alimentación que consistía en variar proporcionalmente el contenido del agua residual hospitalaria y el

agua residual sintética, respectivamente, de la siguiente manera: 25%-75% (etapa 1), 50%-50% (etapa 2), 75%-25% (etapa 3) y 100% (etapa 4).

El análisis de la eficacia del reactor RAHLF se realizó evaluando los siguientes parámetros tanto en el afluente como en el efluente: UV_{254} , color (VIS_{463}), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos totales (ST) y DQO, siguiendo las recomendaciones descritas en [10] y alcalinidad total (AT), intermediaria (AI), parcial (AP), ácidos volátiles con base a lo sugerido en [15].

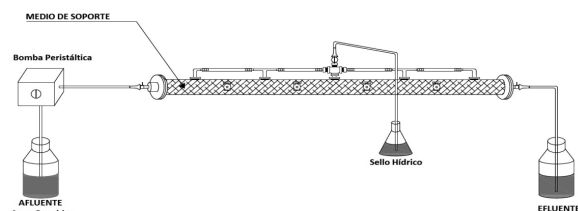


Figura 2. Montaje experimental reactor anaerobio

Todos los ensayos se realizaron por duplicado y se analizaron estadísticamente utilizando estadística descriptiva del software ORIGIN PRO. 8.0

3. RESULTADOS

3.1 Agua Residual Hospitalaria

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la caracterización del agua residual del HMC. Autores como [5 y16], indican que este tipo de efluentes presentan una calidad variable, debido principalmente a las diferentes actividades y número de pacientes atendidos. Se han descrito resultados similares a los del presente estudio.

Tabla 1. Características del Agua Residual del Hospital Militar Central (HMC)

Parámetro	Unidad	Media ± D.S.
DQO	mg/L	286 ± 136
DBO ₅	mg/L	48 ± 36
DQO/DBO ₅		8.03 ± 4.05
pH		7 ± 0,5
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	357 ± 79
Color _(465nm)	cm ⁻¹	0,15 ± 0,11
UV ₂₅₄	cm ⁻¹	0,60 ± 0,45
ST	mg/L	392 ± 124
SST	mg/L	30 ± 12
SSV	mg/L	95 ± 55
SO ₄ ⁻²	mg SO ₄ ⁻² /L	77 ± 74
P	mg P/l	7 ± 4
N	mg NTK/L	7 ± 2
Cl	mg Cl ⁻¹ /L	134 ± 56
ColiformesF	UFC/100ml	2,131E6 ± 2,079E6

* D.S: Desviación estándar, n=8

Según [5] con base a los valores de la relación DQO/DBO₅ > 8, se puede decir que este tipo de agua no es biodegradable. Adicionalmente a lo anterior si se comparan estos resultados con los valores típicos de las aguas residuales

urbanas, se observa que este tipo de aguas presenta entre 2 y 3 veces más cantidad de DQO, DBO₅ y SST, por lo que aconseja realizar algún tipo de pre-tratamiento previo a su vertido en el alcantarillado urbano.

3.2 Efecto del ozono en los valores de la absorbancia en la región del espectro UV-VIS

Muchos compuestos orgánicos aportados por las aguas residuales hospitalarias se caracterizan por presentar como estructura principal anillos aromáticos que absorben la radiación electromagnética en el rango visible. [17-18]. En razón a la dificultad de cuantificar estos compuestos se han usado métodos basados en la lectura de la absorbancia en diferentes longitudes de onda para su control. Estudios realizados por [17] en donde analiza diferentes muestras de agua con compuestos orgánicos como colorantes, y otros compuestos aromáticos en el espectro UV-VIS, demuestran la importancia de este método para medir la presencia de estos contaminantes en el agua.

En la Figura 3 se observan los valores de la absorbancia en la región del espectro UV-VIS para el agua residual hospitalaria, después de aplicar 0.23 mg O₃/l. Los resultados muestran un cambio en el espectro [17], que indica una reducción de los compuestos orgánicos que absorben en esta región, consecuentemente se obtuvo una mejoría de la calidad del agua. En particular, la reducción que se obtuvo en términos de medida de UV₂₅₄, que corresponde a la medida de la aromaticidad del carbón orgánico, fue de 74% ± 6%. Este resultado es similar al descrito por otros autores en estudios de degradación de diferentes compuestos farmacéuticos aplicando ozono. Se encontraron valores de eliminación de fármacos como el sulfametoxazol y pesticidas de hasta del 90% [19-21]. Estudios anteriores han utilizado estas longitudes de onda para medir la eficacia de la degradación de la materia orgánica hospitalaria [22].

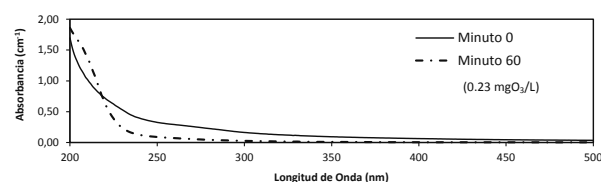


Figura 3. Valores de la absorbancia en la región del espectro UV-VIS.

3.3 Efecto del ozono en la biodegradabilidad

Una forma de determinar la parte orgánica biodegradable en el agua residual, es a partir de la relación DQO/DBO₅, que permite comparar la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación por microorganismos, con el oxígeno total requerido por oxidación química de los compuestos [23]. Los valores de la relación de biodegradabilidad DQO/DBO₅ obtenidos para el agua residual hospitalaria antes y después de la aplicación de 0.23 mgO₃/L durante 60 minutos fueron 3.22 ± 0.72 y 1.58 ± 0.33 respectivamente, indicando que se presentó un aumento en la biodegradabilidad del agua residual hospitalaria de 51%. Este aumento se presentó principalmente debido a un aumento de 33% de la DBO y una disminución de la DQO del 61%. Indicando que hubo efectivamente una transformación de los compuestos orgánicos no biodegradables presentes en el

ARH. Aunque la literatura establece que la aplicación del ozono no reduce notablemente materia orgánica medida como DQO, en este caso se podría decir que hubo una transformación de la materia orgánica a un estado más biodegradable y no una mineralización de los compuestos orgánicos; ello se debe probablemente a un cambio en el estado de oxidación del carbono presente en el agua. Ruas et al. [24], estudiaron el efecto de la aplicación del ozono en las etapas de pre-tratamiento y post tratamiento de un reactor biológico, en los efluentes de una industria de eucalipto. En los casos en que se obtuvo una mejor calidad del efluente final fue cuando se usó ozono como pre-tratamiento, lo que es coherente con los resultados obtenidos en este estudio.

3.4 Desempeño del reactor RAHLF

Para evaluar la estabilidad del proceso anaerobio se llevó a cabo el estudio de los valores de la alcalinidad debida a bicarbonatos, también conocida como AP y la AI debida a la producción de ácidos volátiles. Dichos parámetros permiten evaluar si durante el proceso biológico se están produciendo acumulación de ácidos que inhiban la actividad metanogénica [14-15].

Durante los 169 días de operación del RAHLF, se observaron valores de alcalinidad intermedia (AI) para el afluente y el efluente de 376 ± 36 mgCaCO₃/L y 478 ± 42 mgCaCO₃/L; alcalinidad parcial (AP) en el afluente y el efluente de 298 ± 25 mgCaCO₃/L y 396 ± 38 mgCaCO₃/L, resultando en unos valores de relación AI/AP promedio de $1,26 \pm 0,06$ para el afluente y $1,21 \pm 0,07$ para el efluente. Es importante decir, que a pesar de la variación de carga orgánica volumétrica que se presentó durante la realización del experimento, los valores de estos parámetros se mantuvieron siempre estables. Valores de la relación AI/AP, superiores a 0.3 dan lugar a alteraciones en el proceso biológico [15]. Sin embargo teniendo en cuenta que en la literatura no se han realizado estudios significativos para efluentes de origen hospitalario, se pueden presentar valores distintos para la relación AI/AP. Los valores del pH medio del afluente 7.59 ± 0.11 y del efluente de 8.96 ± 0.23 muestran que no hubo acumulación de ácidos. Este resultado es similar a lo encontrado en diferentes investigaciones, estudiando efluentes de diversos orígenes [25-26] que muestran que esta relación es una herramienta adecuada para evaluar la estabilidad en los procesos anaerobios.

Los valores medios de la DQO fueron 769 ± 98 mg/L y 46 ± 17 mg/L para afluente y efluente respectivamente. La Figura 4 muestra la carga orgánica volumétrica (COV) de los afluentes y efluentes. Se observa que, a pesar de la variación en el afluente, el efluente permaneció estable. En términos de COV la eliminación promedio fue de $93 \pm 4\%$ en todas las etapas estudiadas. Estos resultados indican que el pre tratamiento con ozono mejora el rendimiento del reactor anaerobio. De esta forma, se puede decir que compuestos no biodegradables por vía anaerobia se pueden eliminar mediante procesos de oxidación avanzada basados en ozono. Adicionalmente, es importante señalar que existen muy pocos trabajos anteriores en la literatura que muestren resultados similares a los de este estudio. En general, en los centros hospitalarios se utilizan los sistemas de membrana o incineración. Reducciones de hasta el 93% de materia orgánica, como los observados en este estudio permiten pensar que la combinación de tratamientos, es la clave para el tratamiento de este

tipo de efluentes. Sin embargo, se deben realizar más estudios para comprender mejor los procesos, por ejemplo, análisis de la comunidad microbiana que participa en el proceso de degradación, influencia del tiempo de detención hidráulica, producción de metano, evaluación de la toxicidad y genotoxicidad de los efluentes y análisis de la factibilidad económica.

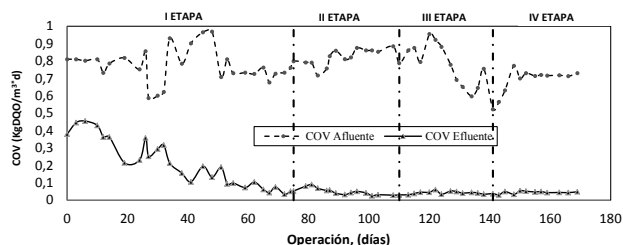


Figura 4. Comportamiento de la Carga Orgánica Volumétrica

CONCLUSIONES

La combinación de un proceso de oxidación avanzada basado en ozono y procesos anaerobios de biomasa inmovilizada son una alternativa eficiente para tratar aguas residuales hospitalarias. Se ha determinado que a medida que se varía la carga orgánica volumétrica del afluente aumenta la proporción de agua residual hospitalaria en relación con el agua residual sintética, no se altera el funcionamiento de la estabilidad del reactor RAHLF y la eliminación de la materia orgánica se realiza en un régimen estable. El aumento de la biodegradabilidad después de la aplicación del ozono, favorece estos resultados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pauwels, B., & Verstraete, W. (2006). The treatment of hospital wastewater: an appraisal. *J. Water Health*, 405-416.
2. Emmanuela, E., Perrodina, Y., Keckc, G., Blanchardb, J.-M., & Vermandeb, P. (2005). Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed. *J. Hazard. Mater.*, 1-11.
3. Verlicchi, P., Aukidy, M. A., Galletti, A., Petrovic, M., & Barceló, D. (2012). Hospital effluent: Investigation of the concentrations and distribution of. *Sci. Total Environ.*, 109-118.
4. Harada, H., Uemura, S., Chen, A.-C., & Jayadevan, J. (1996). Anaerobic treatment of a recalcitrant distillery wastewater by a thermophilic uasb reactor. *Bioresour. Technol.* 55, 215-221.
5. Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., & Barceló, D. (2010). Hospital effluents as a source of emerging pollutants: An overview of micropollutants and sustainable treatment options. *J. Hydrol. (Amsterdam, Neth.)*, 416-428.
6. Marco, A., Esplugas, S., & Saum, G. (1997). How and why combine chemical and biological processes for wastewater treatment. *Wat. Sci. Tech.*, 321-327.
7. Gultekin, I., & Ince, N. H. (2007). Synthetic endocrine disruptors in the environment and water remediation by advanced oxidation processes. *J. Environ. Manage.* 85, 816-832.

-
8. Oller, I., Malato, S., & Sánchez-Pérez, J. (2011). Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination—A review. *Sci. Total Environ.* 409, 4141–4166.
 9. Martín, M., Raposo, F., Borja, R., & Martín, A. (2002). Kinetic study of the anaerobic digestion of vinasse pretreated with ozone, ozone plus ultraviolet light, and ozone plus ultraviolet light in the presence of titanium dioxide. *Process Biochem* 37, 699–706.
 10. APHA. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th. Ed American Public Health Organization.* Washington, DC, USA,: American Public Health Organization.
 11. CEÇEN, F. (1999). Investigation of substrate degradation and nonbiodegradable portion in several pulp bleaching wastes. *Water Sci. Technol.*, 305-312.
 12. Grisales Penagos, D., Ortega López, J., & Rodríguez Chaparro, T. (2011). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS APLICANDO OZONO. *DYNA*, 109-115.
 13. Zaiat, M. (2003). *Desenvolvimento e análise de biorreatores anaerobios contendo células imobilizadas para tratamento de águas residuárias.* São Paulo.
 14. Chernicharo, C. A. (2007). *Reatores Anaerobios, Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.* Belo Horizonte, Brasil: UFMG.
 15. Ripley, L., Boyle, W., & Converse, J. (1986). Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *J. - Water Pollut. Control Fed.*, 406-411.
 16. Kümmerer, K. (2001). Drugs in the environment: emission of drugs, diagnostic aids and disinfectants into wastewater by hospitals in relation to other sources. *Chemosphere* 45, 957-969.
 17. Gonzalez, C., Tourarud, E., Spinelli, S., & Thomas, O. (2007). Organic Constituents. En C. Burgess, & O. Thomas, *UV-Visible Spectrophotometry* (págs. 47-87). ELSEVIER.
 18. Aukidy, M. A., Verlicchi, P., Jelic, A., c, M. P., & Barcelò, D. (2012). Monitoring release of pharmaceutical compounds: Occurrence and environmental risk assessment of two WWTP effluents and their receiving bodies in the Po Valley, Italy. *Sci. Total Environ.* 438, 15-25.
 19. Broséus, R., a, S. V., Aboufadi, K., Daneshvar, A., & Sauvé, S. (2009). Ozone oxidation of pharmaceuticals, endocrine disruptors and pesticides during drinking water treatment. *Water Res.*43, 4707-4717.
 20. Dantas, R. F., Contreras, S., Sans, C., & Esplugas, S. (2008). Sulfamethoxazole abatement by means of ozonation. *J. Hazard. Mater.* 150, 790–794.
 21. Snyder, S. A., Wert, E. C., Rexing, D. J., Zegers, R. E., & Drury, D. D. (2006). Ozone Oxidation of Endocrine Disruptors and Pharmaceuticals in Surface Water and Wastewater. *Ozone: Sci. Eng.* 28, 445–460.
 22. Chedly Tizaouia,* N. (2011). Degradation of the antimicrobial triclocarban (TCC) with ozone. *Chem. Eng. Process.* 50, 637-643.
 23. Bijan, L., & Mohseni, M. (2005). Integrated Ozone Oxidation and Biological Treatment of Pulp Mill Effluent and its Effects on Biodegradability and Molecular Weight Distribution of Organic Compounds. *Water Res.* 39, 3763–3772.
 24. Ruas, D., Munteer, A., Lopes, A., Ggomes, B., Brandao, F., & Girondoli, L. (2007). Combined chemical biological treatment of bleached eucalypt kraft pulp mill effluent. *Water Sci. Technol.*, 143-150.
 25. Pontes, A. F. (2009). *Avaliação de desempenho de reator anaeróbio-aeróbio com recirculação da fase líquida no tratamento de água residuária proveniente de abatedouro de aves.* São Carlos: Tesis de maestría, Escola de Engenharia de São Carlos.
 26. Marelli, L. M. (2006). *Desenvolvimento e estudo de um reator UASB com unidade de filtração, utilizado para tratamento de esgoto sanitário.* São Carlos: Tesis de maestría, Escola de Engenharia de São Carlos.