



## Conference Paper

# Eliminación/degradación de triazinas mediante biorreactor de membrana con post-tratamiento de ozonización

E.D. Vázquez-Rodríguez<sup>1,2</sup>, M.J. Moya-Llamas<sup>1</sup>,  
M.A. Bernal-Romero Del Hombre Bueno<sup>1</sup>, Arturo Trapote<sup>1</sup>,  
and Daniel Prats-Rico<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Alicante, Alicante, España

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Ciudad de Panamá, Rep. Panamá

## Abstract

The aim of the research was to evaluate the removal of micropollutants in a combined system MBR + ozonation. The research was carried out in a MBR scale laboratory plant which was fed with synthetic wastewater, doped with simazine (SIM), atrazine (ATZ) and terbutylazine (TBZ). The MBR operational conditions were: hydraulic retention time (HRT) of 20 h, organic loading rate (OLR) of 0.23 KgCOD/KgSSV-day, sludge retention time (SRT) of 30 d, and flux of 5.5 LMH. Two ozone doses were tested: low dose (16 mg O<sub>3</sub>/L) and high dose (45 mg O<sub>3</sub>/L). The removal efficiency of organic matter was 96%. For the studied triazines, low biodegradation efficiencies were reached by biological treatment (MBR): 57%, 53% and 63% for SIM, ATZ and TBZ, respectively. The complementary treatment of ozonation improved the quality of the effluents. At low ozonation dose the overall removal efficiencies increased to 95%, 92% and 96% for SIM, ATZ and TBZ, respectively. At high ozonation dose the overall removal efficiencies were 98%, 97% and 97% for SIM, ATZ and TBZ, respectively, percentages slightly higher than those obtained at low dose. The results showed the combination of MBR + O<sub>3</sub> is effective to remove micropollutants from wastewater, contributing to the preservation of a good ecological state of water bodies.

**Keywords:** Bioreactor, Membrane, Ozone, Triazines, Herbicides.

## Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar la eliminación de microcontaminantes en un sistema combinado MBR + ozonización. La investigación se llevó a cabo en una planta MBR a escala laboratorio que fue alimentada con aguas residuales sintéticas, dopada con simazina (SIM), atrazina (ATZ) y terbutilazina (TBZ). Las condiciones operativas del MBR fueron: tiempo de retención hidráulica (HRT) de 20 h, tasa de carga orgánica (OLR) de 0,23 KgCOD / KgSSV día, tiempo de retención de lodos (SRT) de 30 días y

Corresponding Author:

E.D. Vázquez-Rodríguez  
evr13@alu.ua.es

Received: 15 November 2017

Accepted: 5 January 2018

Published: 4 February 2018

Publishing services provided  
by Knowledge E

© E.D. Vázquez-Rodríguez  
et al. This article is distributed  
under the terms of the  
Creative Commons Attribution  
License, which permits  
unrestricted use and  
redistribution provided that  
the original author and source  
are credited.

Selection and Peer-review  
under the responsibility of the  
ESTEC Conference Committee.



flujo de 5,5 LMH. Se evaluaron dos dosis de ozono: dosis baja (16 mg O<sub>3</sub>/L) y dosis alta (45 mg O<sub>3</sub>/L). La eficiencia de eliminación de la materia orgánica fue del 96%. Para las triazinas estudiadas, se obtuvieron bajas eficiencias de biodegradación mediante tratamiento biológico (MBR): 57%, 53% y 63% para SIM, ATZ y TBZ, respectivamente. El tratamiento complementario de la ozonización mejoró la calidad de los efluentes. A una dosis baja de ozonización, la eficiencia total de eliminación aumentó al 95%, 92% y 96% para SIM, ATZ y TBZ, respectivamente. A dosis alta de ozonización, la eficiencia total de eliminación fue de 98%, 97% y 97% para SIM, ATZ y TBZ, respectivamente, porcentajes ligeramente superiores a los obtenidos a dosis baja. Los resultados mostraron que la combinación de MBR + O<sub>3</sub> es eficaz para eliminar micro-contaminantes de aguas residuales, contribuyendo a la preservación de un buen estado ecológico de los cuerpos de agua.

**Palabras claves:** Biorreactor, Membrana, Ozono, Triazinas, Herbicidas.

---

## 1. INTRODUCTION

Durante décadas, las aguas superficiales están siendo contaminadas por las descargas de efluentes procedentes de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs). La aparición de los microcontaminantes (MCs) en el medio acuático se ha convertido en un problema mundial de creciente preocupación medioambiental, sumado al riesgo potencial para suministro de agua potable. Los MCs consisten en una amplia gama de productos de origen antropogénico, así como sustancias naturales. Estos incluyen productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, hormonas esteroideas, productos químicos industriales, pesticidas y otros. Entre los pesticidas se encuentran la familia de las triazinas (SIM, ATZ y TBZ) que son productos químicos utilizados para eliminar la vegetación que actúa como parásitos en plantaciones específicas (Aquino et al. 2017). Los pesticidas son sustancias químicas a base de carbono que persisten en el medio ambiente, se bioacumulan a través de la red de alimentación, capaces de recorrer largas distancias y suponen el riesgo de causar efectos adversos para la salud humana y para el medio ambiente en general.(Navaratna et al. 2016).

La presencia y el comportamiento de los pesticidas en las EDARs ha sido escasamente estudiada (Buttiglieri et al. 2011), quizás debido a que estas sustancias han sido generalmente consideradas de uso agrícola, más que de origen urbano.(Köck-Schulmeyer et al. 2013). La presencia de pesticidas en las EDARs urbanas se debe

principalmente a usos no agrícolas; Es decir aguas residuales domésticas (de limpieza inadecuada, escorrentía de jardines, céspedes y carreteras y etc.), Riesgo agrícola.(Luo et al. 2014a).

Debido a las bajas tasas de eliminación de MCs en las EDARs convencionales, los biorreactores de membranas (MBR) pueden emplearse como una alternativa a los procesos de tratamientos de aguas residuales convencionales.(Aslam et al. 2017). Esta tecnología se está utilizando cada vez más en el tratamiento de las aguas residuales donde se requiere una alta calidad del agua tratada, en particular para su reutilización, y donde el espacio es limitado (Aslam et al. 2017, Judd 2016). Los MBR pueden ser capaces de eliminar eficazmente un amplio espectro de MCs que incluyen compuestos que son resistentes al proceso de lodos activados.(Luo et al. 2014b), además de contar con una alta capacidad y eficiencia de biodegradación, así como baja producción de lodos, bajo costo y simplicidad de construcción (Karaolia et al. 2017).

El MBR combinado con procesos complementarios, se ha introducido como un proceso eficaz para la eliminación de MCs (Shahbeig et al. 2017), debido a que algunos son más refractarios al tratamiento MBR (Tambosi et al. 2010, Cartagena et al. 2013). Por lo tanto, es necesario un tratamiento adicional, como son los procesos complementarios para la eliminación y la oxidación de compuestos refractarios. Actualmente los procesos de oxidación avanzada (POA) se muestran como una herramienta adecuada en la transformación y la degradación de varios contaminantes del agua y se han investigado de forma continua para desarrollar nuevas tecnologías de tratamiento de agua para hacer frente a tales contaminantes.(Rozas et al. 2017). Las reacciones de oxidación principalmente se han utilizado para complementar en lugar de sustituir los sistemas convencionales y para mejorar el tratamiento de MCs. En los últimos años, POA basados en ozono ( $O_3$ ) han sido ampliamente utilizados para la eliminación de contaminantes de efluentes industriales y aguas residuales urbanas (Hou et al. 2013).

La ozonización puede ser un proceso eficiente en la eliminación de una amplia gama de MCs (Ibáñez et al. 2013, Ahmed et al. 2017) presentes en los efluentes de las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas.

(Shahbeig et al. 2017) señalan que la unidad de ozonización mejora la capacidad de eliminación de MCs. El ozono, como un potente oxidante, puede reducir eficazmente la concentración de componentes que sean difícilmente biodegradable. Resultados de otros autores como (Kovalova et al. 2013) demuestran que la ozonización elimina una amplia gama de MCs, principalmente en fármacos a través de la reacción con ozono y radicales hidroxilo.

La aplicación de tratamientos combinados para la eliminación de MCs puede ser significativamente valiosa ya que no sólo se combinan las ventajas de las técnicas de tratamiento constituyente sino que también elimina los problemas o inconvenientes de uno al otro: una solución rentable y respetuosa del medio ambiente es la integración de los procesos químicos y biológicos.(Prado et al. 2017).

El principal objetivo de la presente investigación es evaluar la capacidad de reducción de los microcontaminantes de una tecnología que combina una filtración por membranas mediante una planta MBR a escala laboratorio seguida de un proceso de oxidación avanzada, como es la ozonización.

## 2. MATERIALES Y METODOS.

### 2.1. Sistema biorreactor de membrana (MBR).

El sistema MBR a escala de laboratorio (2.2.3) consiste en un reactor de 90L (88 útiles) con un módulo de membranas sumergido, de microfiltración fibra hueca, Porous Fibers Micronet R, de fluoruro de polivinilideno (PVDF) con un tamaño de poro de 0,4  $\mu\text{m}$  y una superficie filtrante de 1  $\text{m}^2$ . El influente se simuló mediante agua residual sintética, preparada en forma de concentrado a partir de la composición recomendada por (APHA, AWWA, WPCF, WEF 2012); donde fueron adicionados los microcontaminantes SIM, ATZ y TBZ.

La filtración va desde el exterior hasta el interior de las membranas (out-in), en un periodo de 10 minutos. Parte de este permeado se almacena en un depósito para ser utilizado en los retrolavados de 30 segundos de duración que se realizan a las membranas. La planta se opera a tiempo de retención celular (STR= 30 días), a temperatura ambiente, concentraciones de oxígeno de  $5 \pm 1$  mg/L, flujo promedio de 5.5 L/m<sup>2</sup>h, carga másica promedio de 0.23 KgCOD/KgSSV·día, pH promedio de 7.70 y tiempo de retención hidráulico (TRH = 20 h).

### 2.2. Instalación para ozonización.

El oxígeno es aportado desde un cilindro de oxígeno industrial con 99.5% de pureza que se conecta directamente a ozonizador (Modelo Anseros, COM-AD-01) de 230 V con una generación efectiva de 4 g  $\text{O}_3$ /h @ 100NI/h (2.2.3). El ozono generado atraviesa una columna de sílice y entra en contacto con la muestra en un reactor de columna cerrado de vidrio de 50 cm de largo y 0.45 cm de diámetro que funciona de manera

semicontinua respecto al gas y discontinua respecto al líquido. El ozono gas se transfiere a la muestra por la parte inferior del reactor a través de una superficie porosa ( $O_3$  introducido). La transferencia del ozono al agua produce un burbujeo que proporciona agitación de la muestra, favoreciendo el contacto agua-ozono.

No todo el ozono producido se llega a consumir en la reacción ya que parte queda en forma gaseosa en la zona superior del reactor. Este ozono debe ser destruido ( $O_3$  no consumido) por lo que se colocan 3 borbotadores en serie al reactor que contienen una disolución de yoduro potásico (KI) al 2%. El ozono reacciona con el yoduro potásico reduciéndose a oxígeno y liberándose a la atmósfera. La cantidad de  $O_3$  se calcula por el método índigo y además se mide el ozono residual. Por lo tanto, el  $O_3$  consumido por la muestra se calcula según la ecuación 1:

$$O_3 \text{ Consumido} = O_3 \text{ Introducido} - (O_3 \text{ No consumido} - O_3 \text{ Residual}) \quad (1)$$

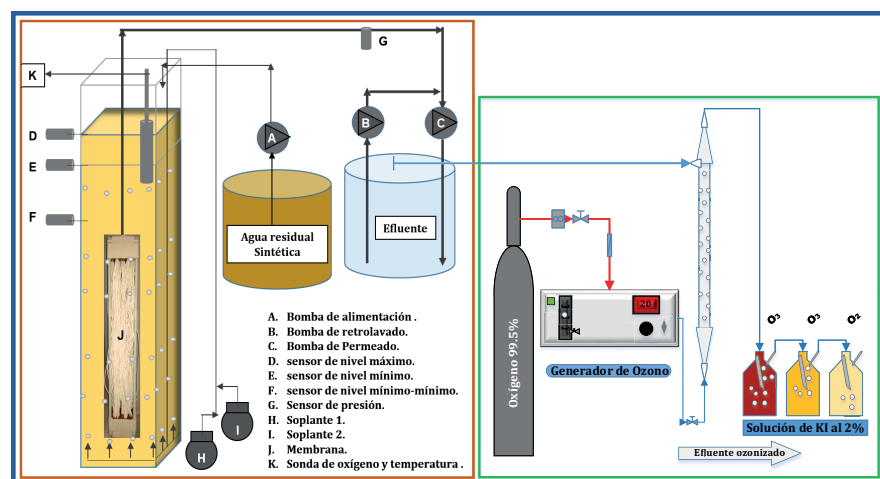


Figura 1: Esquema de sistema MBR seguido de Ozonización.

### 2.3. Métodos Analíticos.

La demanda química de oxígeno (COD) se cuantificó por determinación fotométrica de la concentración del cromo (III) tras oxidación de dos horas con  $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4/Ag_2SO_4$  a  $148^\circ C$  utilizando cubetas-test de digestión MACHEREY-NAGEL y espectrofotómetro Nanocolor 500D.

El ozono residual disuelto en la muestra se determinó por métodos fotométricos con N,N-dietil-1,4-fenilendiamina (DPD)/yoduro de potasio utilizando cubetas-test de digestión MACHEREY-NAGEL y espectrofotómetro Nanocolor 500D. Las concentraciones de ozono gas de salida se determinaron y por el método índigo.(APHA, AWWA, WPCF, WEF 2012).

Para la cuantificación y análisis de los microcontaminantes SIM, ATZ Y TBZ se tomaron muestras en botellas esterilizadas, se acondiciona filtrándola con filtros de 1.2 mm de fibra de vidrio, y se lleva a cabo la extracción en fase sólida con el equipo Auto Trace 280 de Vertex, empleando cartuchos Oasis HLB 6cc/ 60mg y disolventes calidad HPLC (diclorometano, acetonitrilo y agua de Sigma Aldrich) según.(Azevedo et al. 2000). El extracto recogido en cada tubo se secó con flujo de  $N_2$  y, una vez reducido el volumen, se trasvasaron la muestra a un "insert" de 200  $\mu$ L donde se continuó el proceso hasta secado total, luego se reconstituyó la muestra con 200  $\mu$ L de disolución de patrón interno (500  $\mu$ g/L en trifenilfosfato). Las muestras se analizan mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. El equipo utilizado fue cromatógrafo modelo Agilent 7890 y espectrómetro de masas tipo cuadrupolo modelo Agilent 5975.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Reducción de las Triazinas

##### 3.1.1. Reducción mediante tratamiento biológico MBR

La concentración de cada compuesto en el influente del biorreactor de membrana se mantuvo en 10  $\mu$ g/L (representativa de aguas residuales urbanas reales (Robles-Molina et al. 2014)). Las concentraciones medias en el efluente de SIM, ATZ y TBZ fueron de 4.27, 4.72 y 3.66  $\mu$ g/L, respectivamente. Se observó que estos compuestos fueron escasamente eliminados, debido a que presentaron mayores concentraciones en el efluente, siendo los compuestos refractarios al tratamiento biológico MBR.

La 3.3.2, muestra que los porcentajes medios de eliminación de SIM, ATZ y TBZ fueron 52.7%, 57.2%, 63.3%, respectivamente. (Bernhard et al. 2006, Ahmed et al. 2017) Corroboran que estos compuestos, son poco eliminados en sistemas biológicos, debido, entre otros, a su marcado carácter polar. Estos compuestos presentan coeficientes de hidrofobicidad ( $\log K_{ow}$ ), moderadamente bajos, lo que indica su bajo potencial de absorción en sólidos (lodo). Los compuestos SIM y ATZ, son poco eliminados en sistemas biológicos, debido a su baja hidrofobicidad y su limitada biodegradabilidad, ya que poseen fuertes grupos que atraen electrones tales como amida y cloruro en su estructura molecular y tiene un anillo de s-triazina que es bastante resistente a la biodegradación.

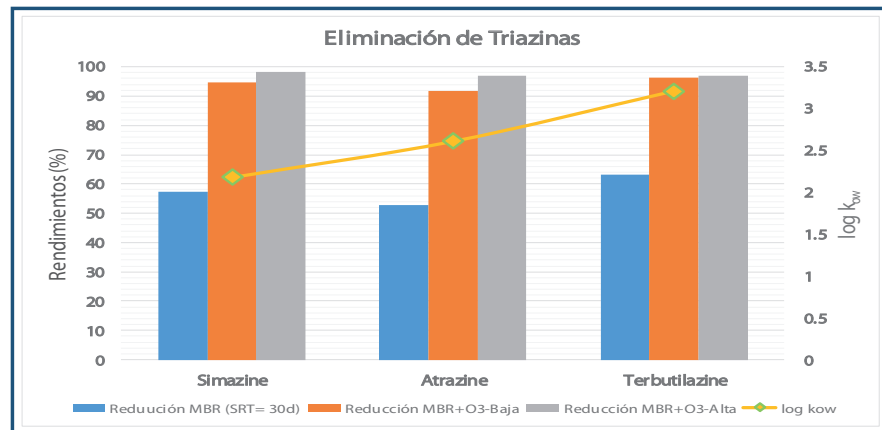


Figura 2: Eliminación media de triazinas

### 3.1.2. Reducción mediante MBR con ozonización

El tratamiento MBR no es lo suficientemente eficaz en la eliminación de las triazinas puesto que, por sus características físico-químicas, son refractario al tratamiento biológico. Los microcontaminantes se pueden oxidar a través del ataque de la propia molécula de ozono o por el radical hidroxilo, que se deriva de la descomposición de ozono.(Nakada et al. 2007). Durante el tratamiento con ozono al efluente MBR a dos dosis se observan mejoras muy significativas en la eficiencia de la eliminación de los compuestos refractarios como se muestra en la 3.3.2:

Durante la dosis baja (16 mg O<sub>3</sub>/L) aumenta la eliminación de la simazina de 57.2% a casi el 94.6% de eliminación, mientras que a dosis alta (45 mg O<sub>3</sub>/L) se obtienen porcentajes de eliminación de 98.1%. Por su parte la eliminación de la atrazina también mejora con la aplicación de la ozonización de un 52.7% a un 91.7%, con la dosis baja de ozono, mientras que con la dosis alta alcanzó un 97.1% de eliminación. En el mismo sentido la terbutilazina ha sido eliminada de un 63.3% mejorando su eficiencia a valores superiores a 96.3% de eliminación tanto a dosis baja como a dosis alta. Según los resultados obtenidos en este estudio la dosis óptima es de 16 mg O<sub>3</sub>/L ya que con ésta se obtuvieron altos rendimientos de eliminación sin incrementar los costos energéticos asociados a la generación de ozono.

El efluente MBR presentaba pH promedio de 7.70, afectando a la descomposición de O<sub>3</sub> en agua. A pH básico la generación de radicales hidroxilo OH<sup>-</sup> se acelera, y éstos radicales tienen una potente propiedad oxidante sin la función de oxidación selectiva.(Xiong et al. 2011), como lo tiene el ozono molecular. Por lo tanto, la oxidación de compuestos orgánicos por radicales hidroxilo a pH alto es más eficiente que a pH

bajo, donde la cantidad de radicales hidroxilo es menor y no lo suficiente para causar la descomposición de ozono disuelto (Luis et al. 2011).

### 3.2. Reducción de materias orgánica.

Esta investigación se realizó con una demanda química de oxígeno de  $363 \pm 54 \text{ mgO}_2/\text{L}$  de COD, obteniendo reducciones de materia orgánica que se muestra en la 4 en donde quedan recogidos los datos de la evolución de la COD, tanto en la influente, como en el efluente.

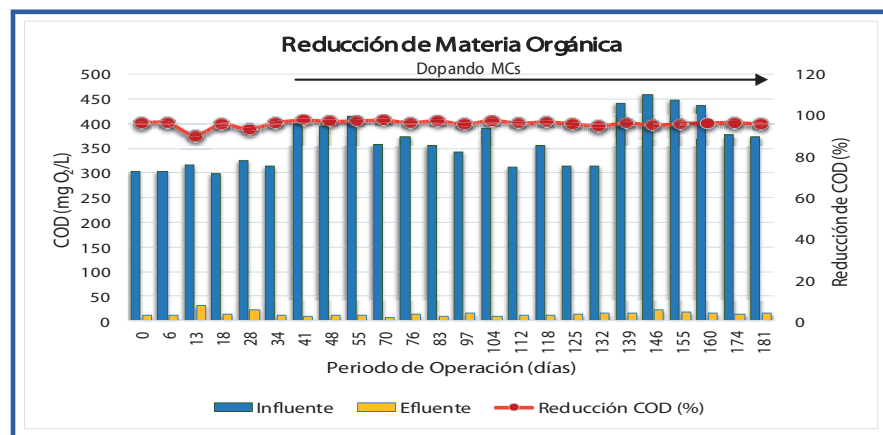


Figura 3: Reducción de la materia orgánica.

Los resultados obtenidos muestran que la eficacia depurativa a lo largo del periodo de estudio fue excelente, obteniéndose un rendimiento medio de eliminación de materia orgánica en torno al 96%. Este buen desempeño de la tecnología MBR es comparado con la encontrada por (Neoh et al. 2016) en su investigación. El valor de COD promedio en el efluente durante la investigación fue de  $16 \text{ mgO}_2/\text{L}$  de COD, lo que representa una eficacia del sistema de casi el 100%.

La reducción de la materia orgánica no se vió afectada al dopar los microcontaminantes como se muestra en la 4. En particular, el día 41 de la investigación se inició el dopado de los contaminantes emergentes en el influente, obteniendo resultados de reducción de materia orgánica dentro del rango promedio.

## 4. CONCLUSIONES

Esta investigación ha demostrado la eficiencia de la eliminación de simazina, atrazina y terbutilazina en las aguas residuales, mediante tratamiento biológico (MBR) seguido de un proceso de oxidación avanzada (ozonización). La combinación de MBR y la



ozonización obtuvo una eliminación significativa de las triazinas estudiadas. El MBR presentó buenos rendimientos en la eliminación de triazinas como primera barrera, con valores entre 52 y 63%. No obstante, el tratamiento mediante MBR necesita un post-tratamiento para completar la eliminación de los MCs. Entre las etapas de tratamiento, la ozonización es la responsable de complementar la eliminación de los compuestos refractarios al tratamiento biológico. Cabe resaltar que la dosis óptima de este estudio no debe ser mayor a 16 mgO<sub>3</sub>/L ya que una dosis más elevada no aporta una mejora significativa en los rendimientos de eliminación de MCs, pero si conlleva un impacto negativo en los incrementos de costos operacionales.

La ozonización elimina una amplia gama de MCs, sólo una pequeña cantidad está típicamente mineralizada. La mayoría de los compuestos orgánicos, incluidos los MCs, se transforman en sustancias más hidrófilas con pesos moleculares similares o inferiores, que pueden causar una toxicidad potencial. Esto supone estudiar, analizar y eliminar estos subproductos mediante investigaciones posteriores.

## Referencias

- [1] AHMED, Mohammad Boshir, et al. Progress in the Biological and Chemical Treatment Technologies for Emerging Contaminant Removal from Wastewater: A Critical Review. *Journal of Hazardous Materials*, 2/5, 2017, vol. 323, Part A, pp. 274-298. ISSN 0304-3894.
- [2] APHA, AWWA, WPCF, WEF.. American Public Health Association. ed., 22nd ed., 2012. *Métodos Estándar Para El Examen De Agua Y Aguas Residuales*, pp. 4500-03 B-4-145.
- [3] AQUINO, José M., et al. Treatment of Actual Effluents Produced in the Manufacturing of Atrazine by a Photo-Electrolytic Process. *Chemosphere*, 4, 2017, vol. 172, pp. 185-192. ISSN 0045-6535.
- [4] ASLAM, Muhammad, et al. Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment: A Review of Mechanical Cleaning by Scouring Agents to Control Membrane Fouling. *Chemical Engineering Journal*, 1/1, 2017, vol. 307, pp. 897-913. ISSN 1385-8947.
- [5] AZEVEDO, DD, et al. Monitoring of Priority Pesticides and Other Organic Pollutants in River Water from Portugal by Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Liquid Chromatography-Atmospheric Pressure Chemical Ionization Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A*, MAY 19, 2000, vol. 879, no. 1, pp. 13-26. ISSN 0021-9673.
- [6] BERNHARD, M.; MÜLLER, J. and KNEPPER, T. P. Biodegradation of Persistent Polar Pollutants in Wastewater: Comparison of an Optimised Lab-Scale Membrane

- Bioreactor and Activated Sludge Treatment. *Water Research*, 2006, vol. 40, no. 18, pp. 3419-3428 SCOPUS.
- [7] BUTTIGLIERI, G.; MIGLIORISI, L. and MALPEI, F. Adsorption and Removal at Low Atrazine Concentration in an MBR Pilot Plant. *Water Science and Technology*, 2011, vol. 63, no. 7, pp. 1334-1340. ISSN 0273-1223.
- [8] CARTAGENA, P., et al. Reduction of Emerging Micropollutants, Organic Matter, Nutrients and Salinity from Real Wastewater by Combined MBR-NF/RO Treatment. *Separation and Purification Technology*, 2013, vol. 110, pp. 132-143 SCOPUS.
- [9] HOU, L., et al. Ultrasound-Enhanced Magnetite Catalytic Ozonation of Tetracycline in Water. *Chemical Engineering Journal*, 2013, vol. 229, pp. 577-584 SCOPUS.
- [10] IBÁÑEZ, M., et al. Removal of Emerging Contaminants in Sewage Water Subjected to Advanced Oxidation with Ozone. *Journal of Hazardous Materials*, 9/15, 2013, vol. 260, pp. 389-398. ISSN 0304-3894.
- [11] JUDD, S. J. The Status of Industrial and Municipal Effluent Treatment with Membrane Bioreactor Technology. *Chemical Engineering Journal*, 12/1, 2016, vol. 305, pp. 37-45. ISSN 1385-8947.
- [12] KARAOLIA, P., et al. Investigation of the Potential of a Membrane BioReactor Followed by Solar Fenton Oxidation to Remove Antibiotic-Related Microcontaminants. *Chemical Engineering Journal*, 2/15, 2017, vol. 310, Part 2, pp. 491-502. ISSN 1385-8947.
- [13] KÖCK-SCHULMEYER, Marianne, et al. Occurrence and Behavior of Pesticides in Wastewater Treatment Plants and their Environmental Impact. *Science of the Total Environment*, 8/1, 2013, vol. 458-460, pp. 466-476. ISSN 0048-9697.
- [14] KOVALOVA, L., et al. Elimination of Micropollutants during Post-Treatment of Hospital Wastewater with Powdered Activated Carbon, Ozone, and UV. *Environmental Science and Technology*, 2013, vol. 47, no. 14, pp. 7899-7908 SCOPUS.
- [15] LUIS, P., et al. Effect of Membrane Filtration on Ozonation Efficiency for Removal of Atrazine from Surface Water. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2011, vol. 50, no. 14, pp. 8686-8692 SCOPUS.
- [16] LUO, Yunlong, et al. *A Review on the Occurrence of Micropollutants in the Aquatic Environment and their Fate and Removal during Wastewater Treatment.*, 1 March 2014, 2014a. Available from <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713015465>>. ISBN 0048-9697.
- [17] LUO, Yunlong, et al. A Review on the Occurrence of Micropollutants in the Aquatic Environment and their Fate and Removal during Wastewater Treatment. *Science of the Total Environment*, 3/1, 2014b, vol. 473-474, pp. 619-641. ISSN 0048-9697.

- [18] NAKADA, Norihide, et al. Removal of Selected Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) and Endocrine-Disrupting Chemicals (EDCs) during Sand Filtration and Ozonation at a Municipal Sewage Treatment Plant. *Water Research*, 11, 2007, vol. 41, no. 19, pp. 4373-4382. ISSN 0043-1354.
- [19] NAVARATNA, Dimuth; SHU, Liand JEGATHEESAN, Veeriah. Evaluation of Herbicide (Persistent Pollutant) Removal Mechanisms through Hybrid Membrane Bioreactors. *Bioresource Technology*, 1, 2016, vol. 200, pp. 795-803. ISSN 0960-8524.
- [20] NEOH, Chin Hong, et al. Green Technology in Wastewater Treatment Technologies: Integration of Membrane Bioreactor with various Wastewater Treatment Systems. *Chemical Engineering Journal*, 1/1, 2016, vol. 283, pp. 582-594. ISSN 1385-8947.
- [21] PRADO, Moriel, et al. Removal of Emerging Contaminant and Fouling Control in Membrane bioreactors by Combined Ozonation and Sonolysis. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 4, 2017, vol. 119, pp. 577-586. ISSN 0964-8305.
- [22] ROBLES-MOLINA, J., et al. Monitoring of Selected Priority and Emerging Contaminants in the Guadalquivir River and Other Related Surface Waters in the Province of Jaén, South East Spain. *Science of the Total Environment*, 2014, vol. 479-480, no. 1, pp. 247-257 SCOPUS.
- [23] ROZAS, Oscar, et al. Organic Micropollutants (OMPs) Oxidation by Ozone: Effect of Activated Carbon on Toxicity Abatement. *Science of the Total Environment*, 7/15, 2017, vol. 590-591, pp. 430-439. ISSN 0048-9697.
- [24] SHAHBEIG, H., et al. Pharmaceutical Wastewater Treatment using Membrane Bioreactor-Ozonation System. *Water and Environment Journal*, 2017, vol. 31, no. 1, pp. 57-63 Scopus.
- [25] TAMBOSI, J. L., et al. Removal of Pharmaceutical Compounds in Membrane Bioreactors (MBR) Applying Submerged Membranes. *Desalination*, 2010, vol. 261, no. 1-2, pp. 148-156 SCOPUS.
- [26] XIONG, Zhenglong; CHENG, Xiangand SUN, Dezhi. *Pretreatment of Heterocyclic Pesticide Wastewater using Ultrasonic/Ozone Combined Process.*, May 2011, 2011. Available from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074210604652>. ISBN 1001-0742.



## AUTORIZACIÓN Y EXONERACIÓN DE RESPONSABILIDAD

“Los autores autorizan a ESTEC a publicar los documentos en los procedimientos de la conferencia. Ni ESTEC ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo que se expresa en el documento”