

04-015

Elimination of triazines and organochlorines by combination of membrane Bioreactor and post-treatments

Olivia González Martínez

Universidad de Alicante;

The availability of water in the world, every day is more complex, being one of the main causes, the pollution. Find procedures for the removal, of those compounds potentially dangerous, known as polluting emerging (CEs), constitute objective researches at the present.

This paper studies the effectiveness of the membrane bioreactor (MBR) in the elimination of those CEs and the utility of post-treatments such as: nanofiltration (NF), osmosis reverse (OI), ozonation (O3) for those compounds persistent to the MBR.

The analysis was conducted on water, equivalent to residual urban, with the addition of 10 ppb of: α -endosulfan, alachlor, atrazine, β -endosulfan, dieldrin, isodrin, op-DDD, pp-DDD, terbutilazina and trifluralin.

The MBR, at low load organic, showed operating and analytical results excellent and a percentage of elimination, of more than 93% for all pollutants, with the exception of atrazine and terbutilazina, which did not exceed the 64,3% and 75,3%, respectively.

In those cases, post-treatments for MBR effluent, allowed to raise efficiency, achieving percentages of more than 94% for both compounds. This indicates that the combination of biological methods with post treatments, such as filtration membrane and advanced oxidation processes are good alternatives to achieve greater efficiency, in the elimination of CEs.

Keywords: " Elimination"; "Emerging Contaminants"; "Residual water"; "Membrane Bioreactor"; "Post-treatments";

Eliminación de triazinas y organoclorados por combinación de Biorreactor de Membrana y post-tratamientos

La disponibilidad del agua en regiones del mundo cada día es más compleja, siendo una de las principales causas, la contaminación. Investigaciones actuales se centran en encontrar procedimientos para la eliminación de nuevos compuestos potencialmente peligrosos, denominados contaminantes emergentes (CEs).

Este trabajo estudia un Biorreactor de Membrana (MBR) en la eliminación de CEs y la utilidad de post-tratamientos: nanofiltración (NF), ósmosis inversa (OI), ozonización (O3) para aquellos compuestos persistentes al MBR. El análisis se realizó en agua sintética, equivalente a la residual urbana, con la adición de 10 ppb de: α -endosulfán, alaclor, atrazina, β -endosulfán, dieldrín, isodrin, op-DDD, pp-DDD, terbutilazina y trifluralina. El MBR a bajas carga orgánica, mostró resultados operativos y analíticos excelentes y un porcentaje de eliminación, superior a 93% para todos los contaminantes, exceptuando la atrazina y terbutilazina, en que no superaron los 64,3% y 75,3%, respectivamente. En esos casos, los post-tratamientos al efluente del MBR, permitieron elevar la eficiencia, lográndose porcentajes de más del 94% para ambos compuestos. Esto indica que la combinación de métodos biológicos con post tratamientos, como filtración membrana y procesos de oxidación avanzada son buenas alternativas para lograr mayor eficacia, en la eliminación de CEs.

Palabras clave: "Eliminación"; "Contaminantes Emergentes"; "Agua Residual"; "Biorreactor de Membrana"; "Post-tratamientos"

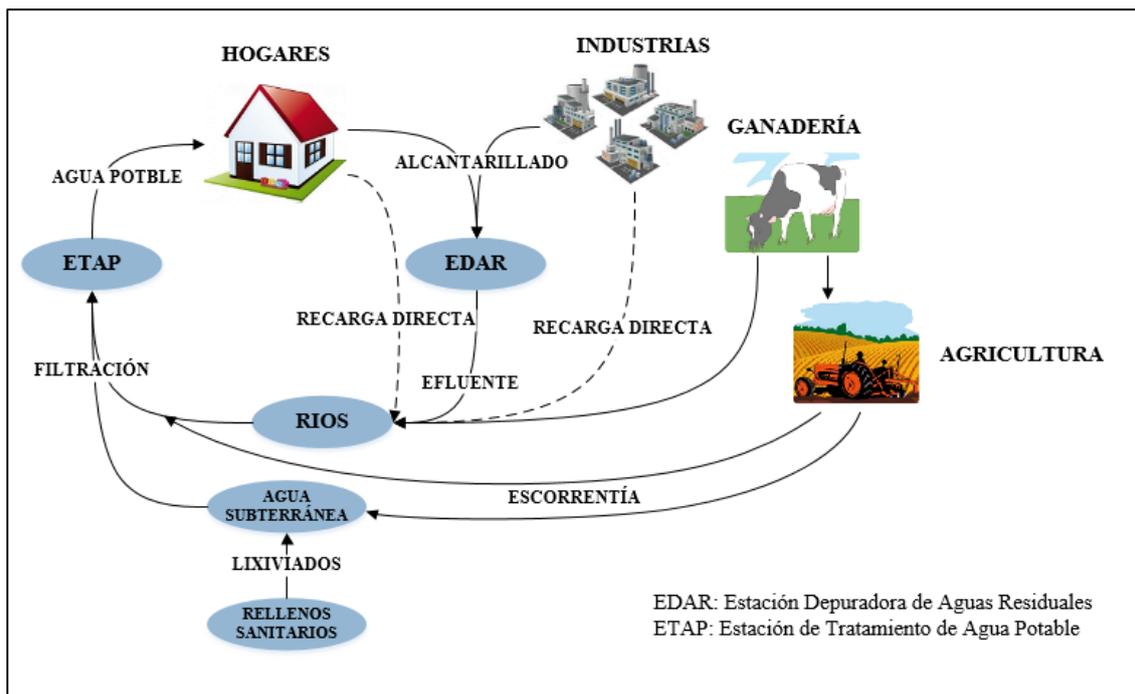


Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

1. Introducción

La calidad del agua para el consumo humano es uno de los mayores retos considerando la inevitable y progresiva contaminación de los recursos hídricos. La alteración de la calidad tiene su origen en el denominado "ciclo del agua", en el cual confluyen distintos compartimentos ambientales y actividades humanas que facilitan la aparición de elementos no deseables y tóxicos, tal como se esquematiza en la Figura 1.

Figura 1. Esquema del movimiento de los contaminantes emergentes en el agua.



De acuerdo con la Figura 1 las aguas residuales, que incluyen las urbanas, industriales (industria farmacéutica, metalúrgica, etc.), y de origen agrícola o ganadero, son la fuente principal de contaminación de los ambientes acuáticos. La persistencia de una u otras sustancias contaminantes depende en gran medida del tipo de contaminación y el nivel de depuración que experimenten las aguas.

Durante décadas, la comunidad científica ha estudiado las diversas formas de contaminación de las aguas. En la actualidad se cuenta con métodos de análisis que permiten alertar de la presencia de concentraciones muy bajas de contaminantes potencialmente peligrosos.

Los contaminantes emergentes (CEs), son compuestos, cuya presencia en el medio ambiente no es necesariamente nueva, y que constituyen actualmente una preocupación por las posibles consecuencias que los mismos puedan conllevar.

Se ha demostrado que existe una relación entre la exposición a estos contaminantes y variaciones en el metabolismo, problemas en el crecimiento y fertilidad, y feminización en varios tipos de organismos (Pal et al. 2010). Debido a la importancia de los efectos sobre actividades hormonales, los estudios sobre los efectos en humanos han ido en aumento, encontrando relaciones entre la exposición durante el embarazo o a edades tempranas y

diversos efectos sobre el desarrollo de órganos que pueden crear efectos permanentes (Lyche et al. 2011).

La lista de CE's incluye una amplia variedad de productos de uso diario con aplicaciones tanto industriales como doméstica. Entre los que demandan una apremiante atención, debido a la escasez de datos ambientales y ecotoxicológicos, la falta de métodos para su análisis y las posibles consecuencias de su presencia en el medio ambiente se encuentran, fundamentalmente: hormonas, residuos farmacológicos o de cuidado personal, retardantes de llama y pesticidas o plaguicidas. Este trabajo se ha centrado en la eliminación de un grupo seleccionado de pesticidas.

1.1 Pesticidas o plaguicidas

Según la OMS y la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO), un pesticida o plaguicida es cualquier sustancia o mezcla de ellas utilizada para prevenir o controlar cualquier especie de planta o animal indeseable, incluyendo las sustancias destinadas a utilizarse como reguladores de crecimiento como defoliantes o desecantes, durante la producción, almacenamiento, transporte, comercialización o procesamiento (Peñuela & Jiménez, 2011).

Los pesticidas son compuestos orgánicos de carácter antropogénico, los cuales representan un elevado peligro para la salud de las personas, la flora y fauna, y el medio ambiente. Actualmente se conocen alrededor de 16 millones de pesticidas diferentes y cada año se sintetizan, aproximadamente, 250.000 nuevos compuestos (Patiño, Díaz & García, 2014).

Peñuela y Jiménez, (2011) opinan que debido a la diversidad de estos compuestos, no existe una clasificación estándar, por lo general se caracterizan dependiendo de su utilización, naturaleza química, grado de toxicidad y persistencia en el ambiente, entre otras. Los grupos de pesticidas utilizados en esta investigación fueron los organoclorados y derivados de triazinas.

Los pesticidas organoclorados son los compuestos más polémicos de los utilizados para el control de plagas, por su alta toxicidad, presentan gran persistencia y biomagnificación. Su desarrollo se inició en la Segunda Guerra Mundial por el descubrimiento y síntesis del DDT. Los derivados de la triazinas forman parte de las primeras familias de herbicidas más empleadas en la agricultura, su modo de acción es inhibir la fotosíntesis de las plantas. Los compuestos triazínicos, mayoritariamente los de uso agrícola, llegan al entorno provocando potentes efectos nocivos sobre la salud humana y animal, motivos por los cuales fueron en el 2006 prohibidos en la Unión Europea.

Los pesticidas pueden acabar en las aguas principalmente a través de dos vías: por pérdidas difusas desde los suelos agrícolas o por derrames en carreteras o granjas y su posterior lavado hasta el alcantarillado. En zonas urbanas, éstos compuestos llegan a las aguas superficiales a través de las aguas residuales de Estaciones Depuradoras de Agua Residuales (EDARs), o de alcantarillados en redes separativas con las aguas de lluvia. También puede ocurrir que algunas granjas estén conectadas a los alcantarillados urbanos y, por tanto, también pasen por las EDARs. Cuando las aguas no se tratan bien, existe incluso la posibilidad de que lleguen al consumidor (González 2016).

Debido a la regulación de la cual han sido objeto los pesticidas, se han estudiado durante décadas y, en consecuencia, se tiene un razonable conocimiento sobre su presencia y destino en el medio acuático. En los últimos años la preocupación en torno a estos productos se centra en los metabolitos y productos de degradación. Kolpin, Schnoebelen y Thurman, (2004) demostraron que los metabolitos de plaguicidas a menudo se detectan en masas de agua en concentraciones más altas en comparación con los compuestos precursores.

Otra preocupación asociada a los CE es que la mayoría no son destruidos en su totalidad en las plantas de tratamiento convencional de aguas residuales (Sahar et al. 2011). Las EDARs convencionales fueron diseñadas para la eliminación de parámetros contaminantes convencionales, tales como sólidos en suspensión, carga orgánica o nutriente, teniendo una capacidad limitada en cuanto a la eliminación de CE que se encuentran presentes en las aguas residuales urbanas. Por ello surge la necesidad de identificar y evaluar la eficiencia de otras tecnologías o bien la de la combinación de distintas tecnologías de tratamiento de aguas, con el fin de proponer alternativas que permitan minimizar la presencia de CE en las aguas con un bajo coste económico, energético y ambiental.

Con el objetivo de conseguir la eliminación de estos contaminantes se están estudiando tratamientos y procesos combinados. La combinación de procesos se postula como buena opción para el tratamiento de CE sin embargo la desventaja se presenta en cuanto a un alto costo que representa. La combinación de un sistema de biorreactor de membrana (MBR—membrane bioreactor) con post-tratamientos de filtración con membranas ó Procesos Avanzados de Oxidación (POAs) puede mejorar la biodegradabilidad de aguas residuales o lograr una casi completa remoción respectivamente. Se han reportado diversas investigaciones que contemplan la combinación de procesos de oxidación con biológicos, resaltando su gran potencial ante el problema del tratamiento de aguas con contaminantes difíciles o imposibles de remover por procesos convencionales fisicoquímicos/biológicos y con el prometedor objetivo de reutilizar esa agua y contribuir con el cuidado medioambiental (Gogate & Pandit, 2004).

Considerando la relevante importancia del tema, el Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales (IUACA) de la Universidad de Alicante, propone la evaluación de la efectividad de distintos tratamientos combinados en la eliminación los CE en las aguas residuales. En este trabajo se utiliza un MBR de fibra hueca seguido de tratamientos posteriores. Con ello se pretende identificar a escala de laboratorio las mejores tecnologías para estos fines.

El MBR permite obtener efluentes de alta calidad, pero no eliminar completamente todos los CE presentes en las aguas residuales. Kovalova et al. (2013) plantea que es posible mejorar la calidad del permeado de salida de un MBR si tras éste se instala un sistema de post-tratamiento. En esta investigación los efluentes del MBR fueron sometidos a nanofiltración (NF), ósmosis inversa (OI) y ozonización (O₃).

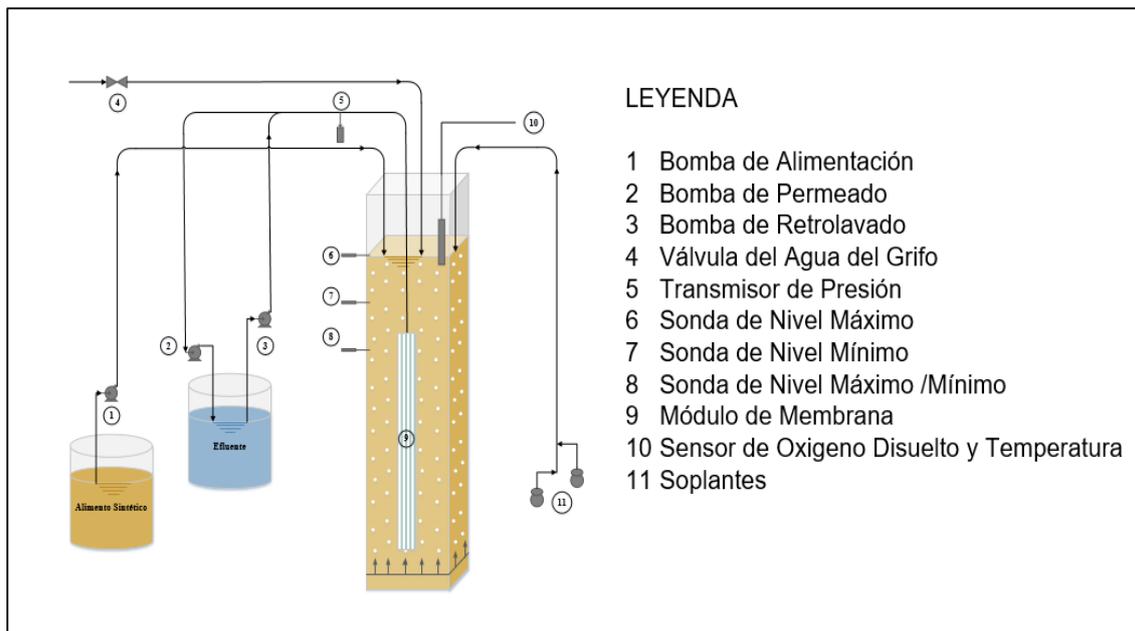
2. Metodología

Se empleó una planta piloto que consiste en un sistema de MBR sumergido (Figura 2), que combina el proceso biológico con la microfiltración (MF). El MBR tiene un volumen de 90 L, está diseñado para tratar un caudal nominal de 40 L·h⁻¹ y cargas contaminantes típicamente urbanas. El MBR operó con un tiempo de retención celular de 30 días y una concentración media de sólidos de 2,21g/L.

La membrana del MBR es de fibra hueca de la marca Porous Fibers Micronet R con tamaño de poros de 0.4 µm y un área de filtración es de 2 m², encontrándose sumergida en el licor mezcla, siendo la filtración en el sentido fuera-dentro (out-in). El sistema opera con ciclos de filtración-retrolavado de 10/0.5 minutos.

La alimentación del MBR fue con agua sintética de características equivalentes al agua residual urbana dopada con concentración inicial de 10 ppb de: α-endosulfán, alacloro, atrazina, β-endosulfán, dieldrín, isodrín, op-DDD, pp-DDD, terbutilazina, trifluralina.

Figura 2. Esquema de la planta piloto



Para la NF y OI se utilizó un módulo de células con agitación Amicon, los cuales son un soporte de filtros fabricado en acero inoxidable y que posee juntas tóricas, lo que lo hace compatible con numerosos líquidos y gases agresivos. Estos módulos tienen la ventaja de ensamblar/desensamblar el soporte y la membrana de filtro, lo que permitió que se le acoplaran membranas de NF (FILMTEC NF270) y OI (FILMTEC XLE-2521).

El tratamiento con O_3 se realizó con una columna, que en la parte inferior presenta un difusor para así poder disolver el ozono en la muestra a tratar. Para proveer de ozono el sistema, se empleó el generador de ozono COM-AD-04 del fabricante ANSEROS. El ozono sobrante de la unidad de contacto fue destruido o eliminado en un destructor de ozono con una solución de yoduro potásico al 2% antes de salir al medio ambiente.

Los CE fueron extraídos de las muestras líquidas empleado es una modificación del método desarrollado por Almeida et al. (2000). Se empleó un equipo de extracción modelo Auto Trace 280 de Vertex. Se utilizan cartuchos Oasis HLB 6cc/ 200 mg y disolventes calidad HPLC (diclorometano, acetonitrilo y agua de Sigma Aldrich). La vía para analizar los resultados fue Cromatógrafo modelo Agilent 7890 y espectrómetro de masas tipo cuadrupolo modelo Agilent 5975.

3. Resultados

3.1 Reducción de contaminantes emergentes en el MBR

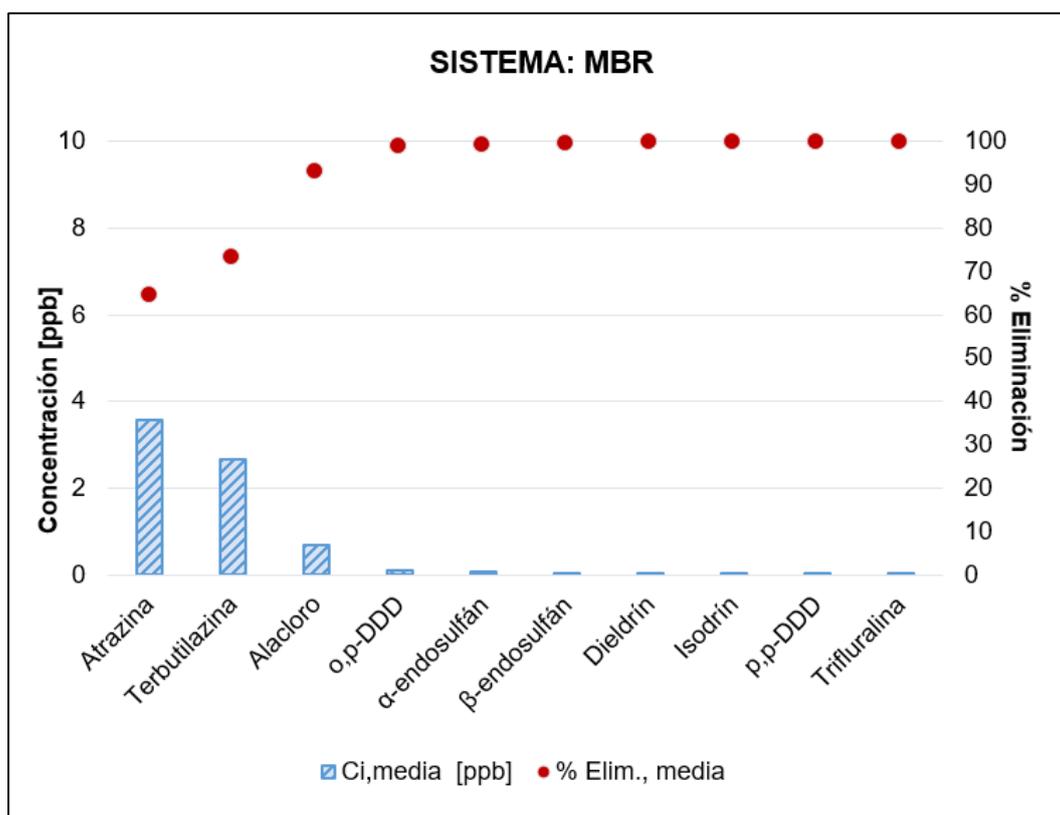
Durante el período de experimentación se alcanzaron resultados excelentes en los parámetros operacionales y analíticos del efluente del MBR. El pH a la salida del MBR no presentó variaciones significativas en cuanto a la calidad del afluente con respecto de la del efluente usando la membrana de microfiltración, la media del pH a la salida de reactor fue de 7,72. La conductividad media registrada fue de 1409 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La separación sólido-líquido en la membrana fue totalmente efectiva, no encontrando sólidos en suspensión en el permeado. La turbidez media medida fue de 0,4 NTU.

El permeado presentó un nivel medio de demanda química de oxígeno (DQO) relativamente bajo (13,60 mgO₂/L). Esto supone una eficacia elevada, por parte de la membrana, de un 90-98%. El porcentaje promedio de eliminación global de nitrógeno y fósforo total fueron de 24% y 45 %, respectivamente (el proceso biológico no fue configurado para la eliminación de nutrientes).

Aunque la calidad del agua producto en el MBR es “muy buena”, no todos los problemas quedaron solucionados, se detectó en el efluente la presencia de compuestos muy específicos que parcial o totalmente no son degradados biológicamente. Razón por la cual el efluente del MBR se sometió a una serie de post-tratamientos.

En la Figura 3 se representan la concentración de cada CE en el efluente del biorreactor, así como sus porcentajes de eliminación de estas sustancias en la fracción acuosa del MBR.

Figura 3. Eliminación media de los contaminantes emergentes en el MBR



Los compuestos más recalcitrantes fueron la atrazina y terbutilazina cuyos porcentajes medios de eliminación fueron 64,3% y 75,3%, respectivamente. Esto se debe a su baja hidrofobicidad ($\log k_{ow} = 2.61$ y 3.40 , respectivamente) y su limitada capacidad de biodegradación. Para alacloro, o,p-DDD se alcanzaron porcentajes de eliminación 93,0% y 98,9%, respectivamente en la fase líquida. Los compuestos trifluralina, isodrin, α-endosulfán, β-endosulfán, dieldrin, p,p-DDD alcanzaron porcentajes de eliminación superiores al 99% en la fase líquida.

Bernal et al. (2014), con un MBR de características similares al de esta investigación reportaron porcentaje de eliminación de atrazina de 42,6%, alacloro y o,p DDD > 95%, concordando con los resultados obtenidos en esta investigación.

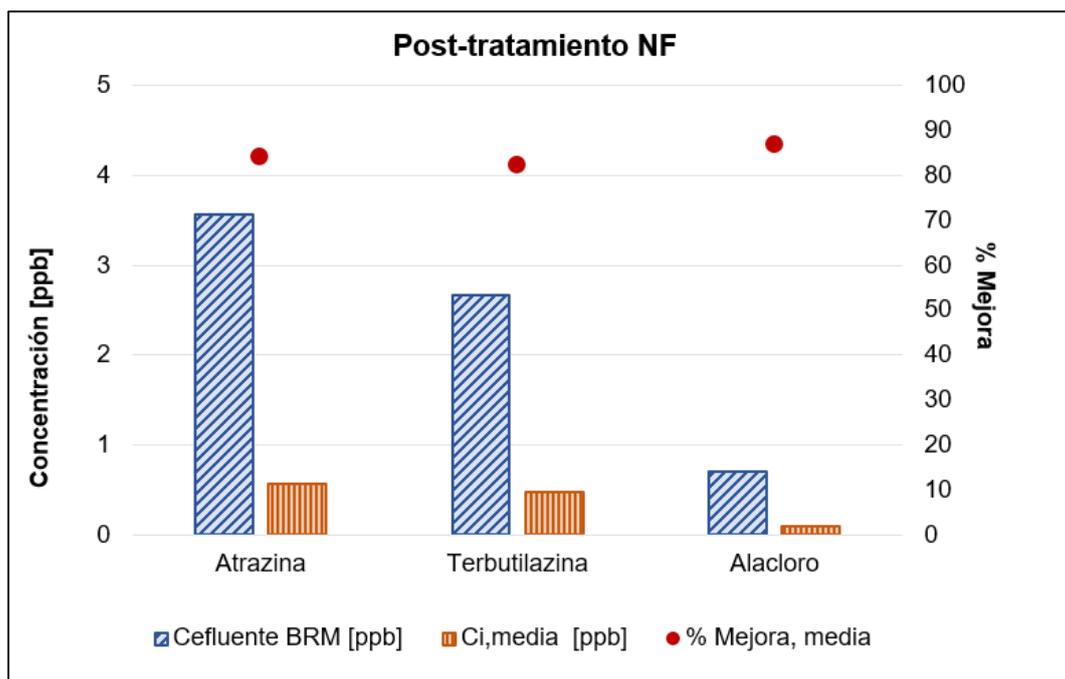
3.2 Reducción de contaminantes emergentes en los post-tratamientos

Los compuestos atrazina, terbutilazina y alacloro presentaron los porcentajes de eliminación más bajos. Se analiza la eficiencia de eliminación de estos aplicando los distintos post-tratamientos.

3.2.1 Nanofiltración

El post-tratamiento de NF se realizó con membranas NF 270-2540 operando a presiones de 3 bar y flujos de 30 L/m²*h. En la Figura 4 se representan la concentración de cada compuesto a la salida del MBR y del post-tratamiento de NF, así como los porcentajes de mejora respecto al MBR.

Figura 4. Porcentaje de mejora de la eliminación de CE's con el post-tratamiento de NF

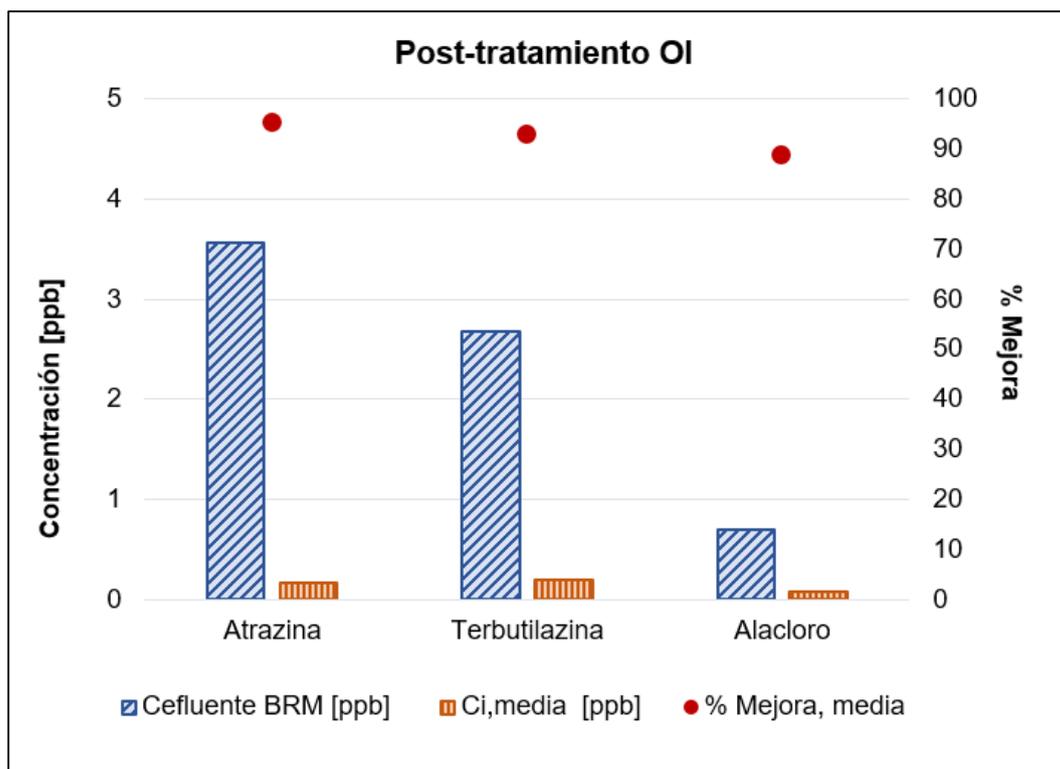


La filtración posterior del efluente del MBR con membranas de NF, mejoró significativamente las eficiencias de eliminación de atrazina, terbutilazina y alacloro obtenidas en el proceso MBR. Se alcanzan concentraciones inferiores a 0,6 ppb para atrazina y terbutilazina siendo los porcentajes de mejora el 84,2% y 82,3%, respectivamente. En el caso de alacloro el porcentaje de mejora fue 86,8%, siendo la concentración de este inferior a 0,1 ppb.

3.2.2 Ósmosis Inversa

El post-tratamiento de OI se realizó con una membrana XLE – 2521 operando con presión de 3 bar y flujo de 7 L/m²*h. En la Figura 5 se representan la concentración de cada compuesto en el efluente de la OI, así como sus porcentajes de mejora de MBR.

Figura 5. Porcentaje de mejora de la eliminación de CE con el post-tratamiento de OI



La OI al igual que la NF mejoró significativamente las eficiencias de eliminación de los tres compuestos más recalcitrantes. Se alcanzaron concentraciones inferiores a 0,2 ppb para atrazina y terbutilazina siendo los porcentajes de mejora el 95,2 % y 92,9%, respectivamente. En el caso de alacloro el porcentaje de mejora fue 88,7%, siendo la concentración de este inferior a 0,1 ppb.

Homem & Santos, (2011) plantean que la tecnología de filtración por membranas tales como las OI y la NF han demostrado ser una alternativa prometedora para eliminar contaminantes. En comparación, la NF es menos efectiva que la OI, ya que en esta última se puede tener una remoción casi completa de contaminantes aunque tiene un mayor consumo energético.

3.2.3 Ozonización

El ensayo de O_3 se realizó a dos dosis diferentes, una a 45 mgO_3/L (Dosis A) y otra a 16 mgO_3/L (Dosis B).

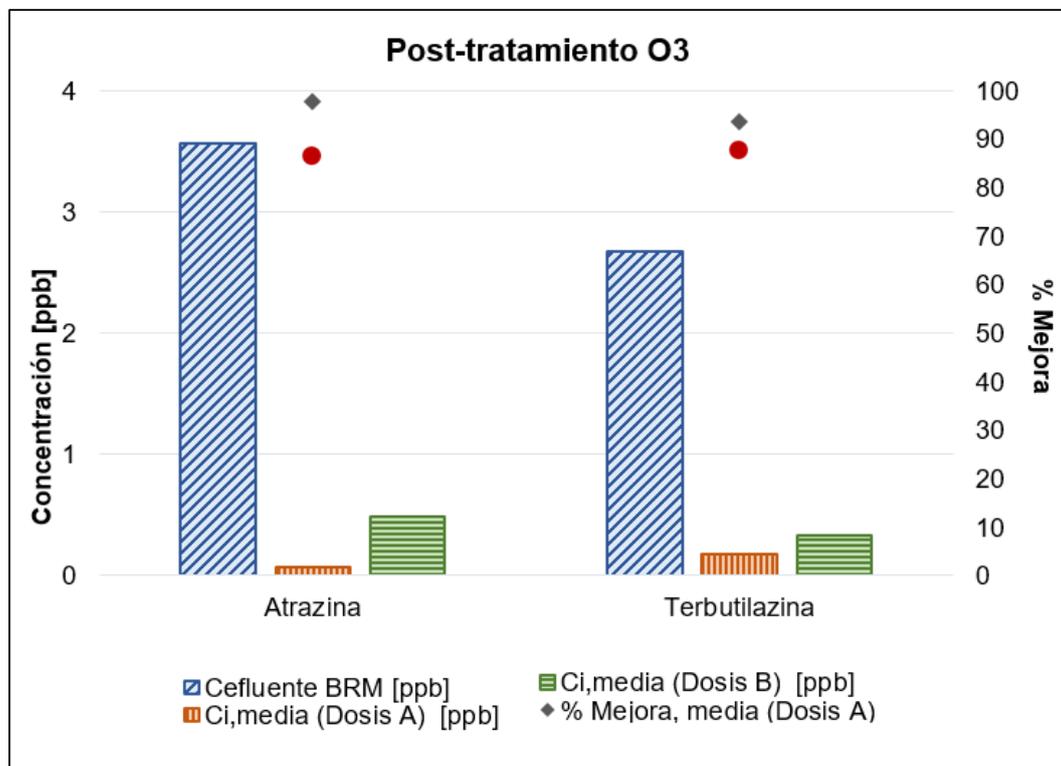
En la Figura 6 se representan la concentración de cada compuesto en el efluente de la O_3 para cada dosis, así como sus porcentajes de mejora de MBR obtenidos para cada dosis.

La dosis A permitió alcanzar concentraciones inferiores a 0,2 ppb para atrazina y terbutilazina siendo los porcentajes de mejora el 97,9% y 93,5%, respectivamente. En el caso de alacloro el porcentaje de mejora fue 99,8%, siendo la concentración de este inferior a 0,05 ppb.

La dosis B permitió alcanzar concentraciones inferiores a 0,5 ppb para atrazina y terbutilazina siendo los porcentajes de mejora el 86,3% y 87,7%, respectivamente. En el caso del alacloro al igual que para la dosis A, el porcentaje de mejora fue 99,8%, siendo la concentración de este inferior a 0,05 ppb.

Los resultados de eliminación obtenidos para la dosis A respecto a los obtenidos a la dosis B presentan mejoras significativas en el caso de los compuestos más recalcitrantes atrazina y terbutilazina.

Figura 6. Porcentaje de mejora de la eliminación de CEs con el post-tratamiento de O₃



En los tratamientos con O₃, por lo general, se obtienen eliminaciones superiores al 90 %. El alto costo del equipo y mantenimiento del mismo, así como la energía necesaria en el proceso, constituyen sus principales desventajas (Homem & Santos, 2011).

3.2.4 Comparación de los post-tratamientos

En la Figura 7 se muestran los porcentajes de mejora para los CE más recalcitrantes obtenidos en el efluente del MBR luego de aplicados los post-tratamientos de NF, OI, O₃ a dosis de 45 mgO₃/L.

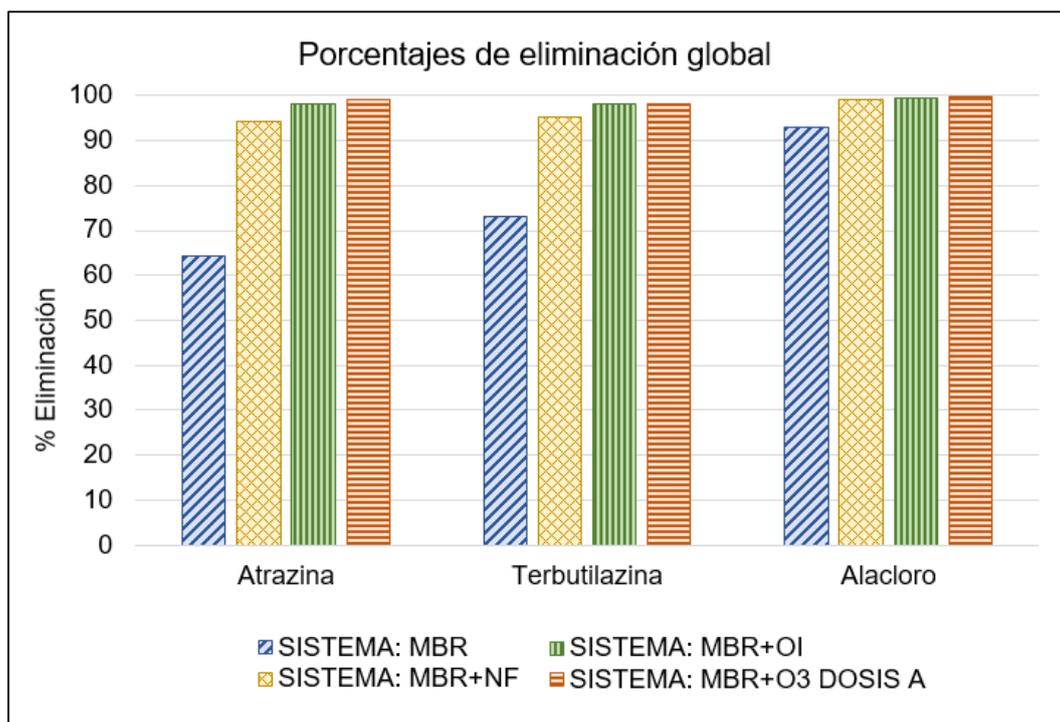
Los post-tratamientos al efluente de MBR, mejoraron significativamente las eficiencias de eliminación de atrazina, terbutilazina y alacloro obtenidas en el proceso MBR, especialmente para alacloro, que en los tres post-tratamientos alcanza porcentajes de eliminación superiores al 99 %, siendo la concentración de este inferior a 0,1 ppb.

Las concentraciones de atrazina se mantuvieron por debajo 0,6 ppb tras el sistema MBR+NF y MBR+OI presentando mejores resultados en la OI con concentración media de 0,2 ppb. En el caso del MBR+O₃ las concentraciones mantuvieron una media de 0,07 ppb, con respecto al MBR los post-tratamientos mostraron una mejora en los porcentajes de 30% en NF, 33,9% en OI y 34,9% en la O₃ con una concentración de 45 mgO₃/L. Los porcentajes de eliminación global en MBR+NF, MBR+OI y MBR+O₃ fueron de 94,4%, 98,3%, 99,2%, respectivamente.

Las concentraciones de terbutilazina se mantuvieron por debajo 0,5 ppb tras el sistema MBR+NF y MBR+OI presentando mejores resultados en la OI con concentración media de

0,2 ppb. En el caso del sistema MBR+O₃ las concentraciones mantuvieron una media de 0,2 ppb, con respecto al MBR los post-tratamientos mostraron una mejora en los porcentajes de 22% en NF, 24,9% en OI y 25,0% en la O₃ con una concentración de 45 mgO₃/L. Los porcentajes de eliminación global en MBR+NF, MBR+OI y MBR+O₃ fueron de 95,3%, 98,1%, 98,3%, respectivamente. La terbutilazina junto con la atrazina son los compuestos más recalcitrantes en los tres post-tratamientos.

Figura 7. Comparación de los % de eliminación alcanzados con el MBR y los post-tratamientos



Los tres post-tratamientos se postulan como buenas alternativas para la eliminación de CE, siendo la ozonización es la que mejores resultados presenta. No obstante es necesario tener en cuenta que esta tecnología que presenta un alto coste de reactivos y operación y que, además, puede generar subproductos durante el proceso.

4. Conclusiones

El sistema MBR para el tratamiento de aguas residuales urbanas a una carga orgánica baja se operó satisfactoriamente, logrando resultados excelentes tanto en los parámetros operacionales como en resultados analíticos.

En el efluente del MBR los compuestos más recalcitrantes fueron la atrazina y terbutilazina cuyos porcentajes medios de eliminación fueron 64,3% y 75,2%, respectivamente. Para alacloro, o,p-DDD se alcanzaron porcentajes de eliminación 93,0% y 98,9%, respectivamente. Para los compuestos trifluralina, isodrin, α -endosulfán, β -endosulfán, dieldrin, p,p-DDD se alcanzaron porcentajes superiores al 99 %.

Los post-tratamientos al efluente de MBR, mejoraron significativamente las eficiencias de eliminación de atrazina, terbutilazina y alacloro obtenidas en el proceso MBR, siendo algo mejores los resultados obtenidos con O₃.

La OI también presenta muy buenos resultados de eliminación en cuanto a los compuestos en cuestión. Para los compuestos atrazina y alacloro, cabe pensar que el tratamiento con la NF podría ser suficiente.

Del estudio realizado se puede concluir la alta eficiencia de la combinación de un tratamiento biológico seguido de un post-tratamiento bien por filtración de membranas o procesos de oxidación avanzadas en la eliminación de los compuestos más reactivos, como es el caso de la atrazina, terbutilazina y alacloro.

5. Bibliografía

- Almeida Azevedo, D., Lacorte, S., Vinhas, T., Viana, P., & Barceló, D. (2000). 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*, 879(1), 13-26.
- Gogate, P. R., & Pandit, A. B. (2004). A review of imperative technologies for wastewater treatment II: Hybrid methods. *Advances in Environmental Research*, 8(3), 553-597.
- González Fuenzalida, R. A. (2016). Caracterización y seguimiento de contaminantes emergentes.
- Homem, V., & Santos, L. (2011). Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices—a review. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2304-2347.
- Kolpin, D., Schnoebelen, D., & Thurman, E. (2004). Degradados dar una idea de las tendencias espaciales y temporales de los herbicidas en el agua subterránea. *Agua Subterránea*, 42, 601-608.
- Kovalova, L., Siegrist, H., Von Gunten, U., Eugster, J., Hagenbuch, M., Wittmer, A., . . . Mc Ardell, C. S. (2013). Elimination of micropollutants during post-treatment of hospital wastewater with powdered activated carbon, ozone, and UV. *Environmental Science & Technology*, 47(14), 7899-7908.
- Lyche, J. L., Nourizadeh-Lillabadi, R., Karlsson, C., Stavik, B., Berg, V., Skåre, J. U., . . . Ropstad, E. (2011). Natural mixtures of POPs affected body weight gain and induced transcription of genes involved in weight regulation and insulin signaling. *Aquatic Toxicology*, 102(3), 197-204.
- M.A. Bernal, L. Domínguez, V. Cases, P. Cartagena & D. Prats. (2014). Uso de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para la mejora en la eliminación de contaminantes emergentes no degradados en procesos biológicos.
- Pal, A., Gin, K. Y., Lin, A. Y., & Reinhard, M. (2010). Impacts of emerging organic contaminants on freshwater resources: Review of recent occurrences, sources, fate and effects. *Science of the Total Environment*, 408(24), 6062-6069.
- Patiño, Y., Díaz, E., & García, S. O. (2014). Microcontaminantes emergentes en aguas: Tipos y sistemas de tratamiento. *Avances En Ciencias E Ingeniería*, 5(2), 1-20.
- Peñuela Mesa, G. A., & Jiménez Cartagena, C. (2011). Pesticidas tradicionales y contaminantes emergentes en la producción hortofrutícola. *Perspectivas Y Avances De Investigación De La Serie Lasallista Investigación Y Ciencia*,
- Sahar, E., Ernst, M., Godehardt, M., Hein, A., Herr, J., Kazner, C., . . . Messalem, R. (2011). Comparison of two treatments for the removal of selected organic micropollutants and

bulk organic matter: Conventional activated sludge followed by ultrafiltration versus membrane bioreactor. *Water Science and Technology*, 63(4), 733-740.