

04-045

UASB +SMEBR HYBRID PILOT PLANT OPERATION FOR EMERGING CONTAMINANT REMOVAL

Mora Cabrera, Karen Viviana ⁽¹⁾; Trapote Jaume, Arturo ⁽¹⁾; Prats Rico, Daniel ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales

This research was aimed to evaluate the start-up and operation of a hybrid UASB+SMEBR system. Elimination of COD (organic matter) and nutrients (NT, PT, NH₄) was controlled variables along the experiment. The elimination of emerging contaminants drug type (Ibuprofen, Diclofenac) have been also studied. With this propose, electrocoagulation with current densities of 5.10 and 15A/m² and operating times of 5minON/10minOFF was analyzed. The global system achieved removals of 98%, 76% and 30% for COD, Ammonium and NT respectively. By other hand the elimination of PT was reached 98% in the SMBR, which also showed an improvement in fouling reduction. A reduction of 36% of soluble EPS (proteins) was registered, while ibuprofen and Diclofenac eliminations were in the rank of 94% and 98%.

Keywords: emerging contaminats; fouling; electrocoagulation

OPERACIÓN DE PLANTA PILOTO HIBRIDA UASB +SMEBR PARA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EMERGENTES

Esta investigación estudia la puesta en marcha y la operación de un sistema híbrido UASB+ SMEBR, donde se controla la eliminación de DQO (materia orgánica) y nutrientes (NT, PT, NH₄), también se estudia la eliminación de contaminantes emergentes, tipo fármacos (Ibuprofeno, Diclofenaco) mediante la implementación de electrocoagulación con diferentes densidades de corriente 5,10 y 15A/m² con tiempos de operación de 5minON/10minOFF. Se logra la remoción de DQO, Amonio y NT en un 98%, 76% y 30% respectivamente en el sistema global y eliminación de PT en un 98% en el SMBR donde se evidencia una mejora en la remoción gracias al sistema de electrocoagulación, en el cual también se evidencia una reducción del ensuciamiento de la membrana con una reducción de EPS solubles (proteínas) en un 36%. Y eliminaciones de Ibuprofeno y Diclofenaco (94% y 97%) aproximadamente.

Palabras clave: contaminantes emergentes; ensuciamiento; electrocoagulación

Correspondencia: Karen Viviana Mora Cabrera karen.mora@ua.es



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El crecimiento poblacional, la industrialización y los nuevos hábitos de consumo, sumado con la escasez del agua en algunas regiones del mundo, han impulsado al estudio de las aguas residuales como un posible recurso reutilizable,(UNESCO, 2017).Debido a ello, el desarrollo tecnológico en el estudio de la composición del agua ha ido avanzando durante las últimas décadas, dando como resultado el desarrollo de nuevos y más sensibles métodos de análisis, que permiten llegar a límites de detección de compuestos químicos en concentraciones traza ($\mu\text{g/L}$ o ng/L). (Hernández et al., 2012; Agüera et al., 2013). Entre estas sustancias figuran las que se denominan contaminantes emergentes (CEs)(Rodríguez, 2018).

La Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de agosto de 2013 define contaminantes “emergentes” como contaminantes que en la actualidad no están incluidos en los programas de seguimiento sistemático en la Unión, pero que suponen un importante riesgo, lo cual exige su regulación, dependiendo de sus posibles efectos ecotoxicológicos y toxicológicos, y de sus niveles en el medio acuático.

Estos contaminantes, aparecen asociadas a productos de cuidado personal, productos de limpieza doméstica, productos farmacéuticos, etc. Múltiples grupos de investigación estudian las posibles consecuencias tóxicas para el ser humano y el medio ambiente que pueden ocasionar estas sustancias.

No existe una regulación general que señale los límites permisivos de la gran mayoría de dichas sustancias en las aguas, lo que es lógico dada la gran cantidad y variedad de CEs. Algunos de estos contaminantes ya fueron estudiados en profundidad y calificados de interés prioritario. Para estos si se han definido los límites de calidad ambiental. Hay otros contaminantes que están incluidos en listas de observación y son objeto de seguimiento intenso en los últimos años. A resultas de este seguimiento se determinará si son o no perjudiciales, y si procede o no definir los límites de calidad ambiental

Para poder realizar estudios en profundidad de los CEs, es necesario determinar la procedencia de estos, lo cual ayuda a detectar las posibles vías de interacción con el medio acuático. Diversas investigaciones científicas han evidenciado que las estaciones depuradoras son una fuente de vertido de contaminantes emergentes a medios acuáticos, ya que los procesos de tratamiento biológico y tiempos de retención diseñados para la eliminación y la degradación de materia orgánica, pueden no ser del todo eficaces para muchas sustancias orgánicas con composiciones y estructuras muy complejas (Petrović et al., 2003; Tran et al., 2018). Esto pone de manifiesto un nuevo reto para la depuración del agua, que obliga a realizar cambios tecnológicos en las estrategias de tratamiento habituales, ya sea integrando nuevos procesos o modificando los métodos convencionales de lodos activados (CAS).

Es por ello que resulta necesaria la búsqueda de tecnologías que cumplan con la legislación actual del tratamiento de aguas residuales para sustancias como nutrientes, materia orgánica y parámetros ya establecidos anteriormente, y que sean eficaces en la eliminación de los CEs, compuestos de interés creciente.

A nivel experimental, cabe resaltar que en la actualidad existen diversos estudios que sobre diferentes tecnologías avanzadas que eliminan estos compuestos con mucha eficiencia, pero estas tecnologías, la mayoría de oxidación avanzada, tienen costes elevados que impiden su amplia utilización. Además, hay que considerar los posibles subproductos

potencialmente tóxicos que pueden generar las tecnologías de oxidación. También se puede comprobar que, debido al amplio espectro de sustancias que componen el grupo de los CEs, una sola tecnología no es eficaz para la eliminación de éstos, siendo necesario investigar el uso de sistemas acoplados capaces de compensar los límites de uno u otro método. (Rodríguez-Narvaez et al., 2017).

Los sistemas que combinan procesos biológicos aerobios y anaerobios combinados son de alto interés, puesto que son ambientalmente sostenibles, en especial gracias a su baja producción de fangos y bajos costes de operación y mantenimiento, y a que permiten una recuperación energética gracias al biogás producido en los procesos anaerobios. Por otra parte cabe destacar que no precisan de grandes extensiones de terreno para su implementación (Moya Llamas, 2018).

Se ha estudiado y demostrado que los tratamientos con membranas resultan ser una tecnología con alto porcentaje de eliminación de CEs, al mismo tiempo que producen efluentes de alta calidad que cumplen con la normativa vigente (Petrović et al., 2003). Los biorreactores de membrana (MBR), combinan un sistema biológico con un sistema físico de filtración con membranas. Se trata de una tecnología en auge, debido a sus grandes ventajas para el tratamiento de agua residual, pero que presenta el inconveniente del ensuciamiento (fouling) de la membrana. Por este motivo, se han estudiado diversas formas de reducción de ensuciamiento de las membranas en los MBR, como por ejemplo mediante el acople de la electrocoagulación (EC). Se ha demostrado una alta eficiencia en la reducción del ensuciamiento en estos sistemas combinados de Electro-Biorreactor de Membrana (EMBR) (Mendes Predolin, 2019).

2. Objetivo

Como se mencionó en el apartado anterior, en la actualidad uno de los retos de la depuración de aguas residuales es conseguir un método que sea eficiente para la eliminación de CEs y el problema toxicológico que suponen para el ser humano y el medio ambiente.

En la actualidad se observa un creciente interés por el estudio de los productos farmacéuticos presentes en el agua. Estos compuestos se usan ampliamente en medicina, humana y veterinaria, y acuicultura. Los principios activos que contienen están diseñados para producir un efecto farmacológico en el organismo implicado, pero su uso generalizado da lugar a la descarga continua, tanto del producto original como de sus metabolitos a las aguas residuales y, como resultado final, a su presencia en el medio ambiente. (Sanz, 2017)

Es por ello que enfocamos nuestra investigación hacia este tipo de sustancias de origen farmacéutico, puesto que son compuestos de uso común y, algunos de hecho no precisan de prescripción médica, como ocurre con el Ibuprofeno o el Diclofenaco.

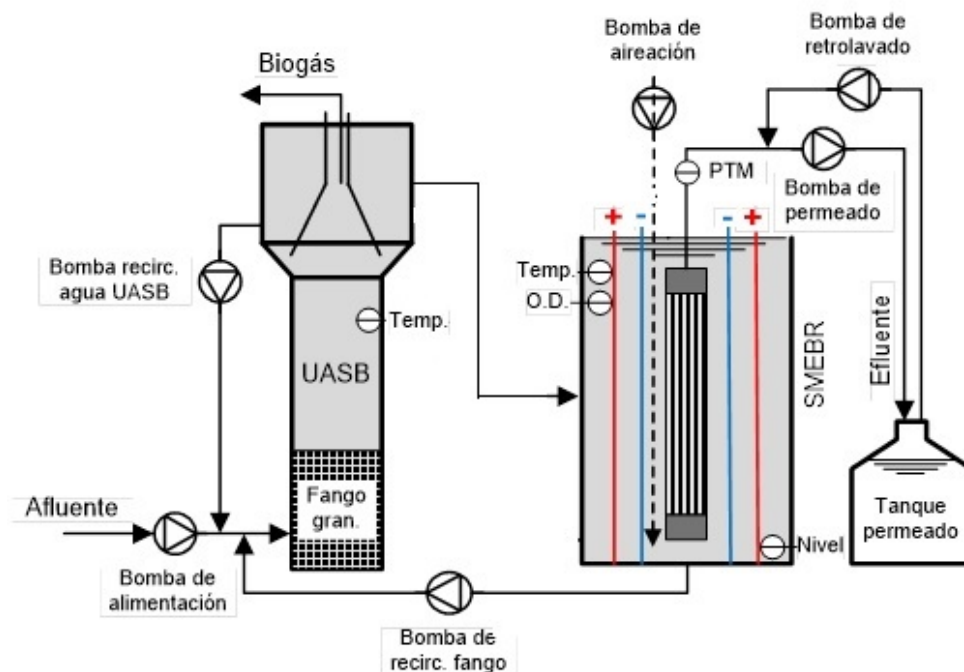
El objetivo de la presente investigación es analizar una tecnología que elimine los CEs mencionados, así como los nutrientes y materia orgánica, sin dejar de ser respetuosa con el medio ambiente y que además tenga bajos costes operacionales.

Esta investigación analiza y propone en concreto el uso de un sistema híbrido UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) + SMEBR (Submerged membrane electro-bioreactor), para la eliminación de contaminantes emergentes de la familia de los fármacos Diclofenaco e Ibuprofeno y la reducción del ensuciamiento de la membrana.

3. Materiales y métodos

El sistema híbrido UASB+SMEBR está compuesto por una primera etapa anaerobia que tiene lugar en el reactor UASB, y una segunda etapa aerobia en el reactor SMEBR. El sistema tiene un conjunto de bombas que permiten el control de diferentes procesos como la entrada del influente al UASB, la recirculación en el propio reactor, el permeado en el SMEBR y la recirculación entre los sistemas. También cuenta con sensores que nos ayudan a tener controlados algunos parámetros como la PTM (presión transmembrana), nivel de depósito y la temperatura, tal y como se muestra en la Fig. 1.

Figura 1 Esquema planta piloto



La planta piloto fue operada en el laboratorio del Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales (IUACA) de la Universidad de Alicante, fue alimentada con agua residual sintética, que permite simular una carga orgánica y concentración de CEs similares a las de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR).

3.1. UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

El reactor de manto de fangos de flujo ascendente o UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) es el sistema de biomasa fija que ha tenido en los últimos años un importante desarrollo y difusión. La innovación tecnológica de este tipo de reactor reside en un dispositivo trifásico a modo de campana situado en la parte superior del mismo que permite separar internamente la biomasa, el efluente tratado y el biogás (van Lier et al., 1992).

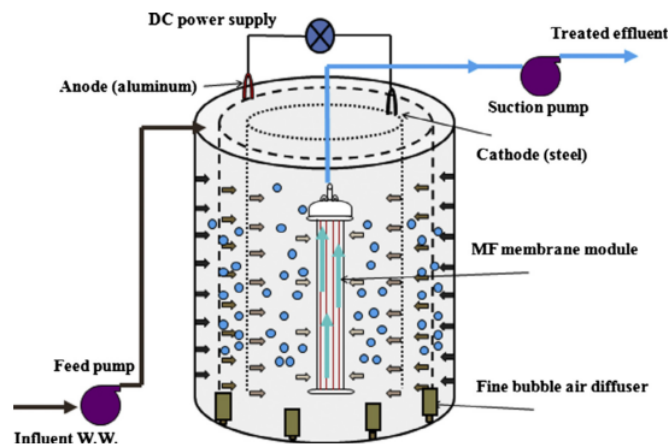
El reactor UASB de la planta piloto es un tubo cilíndrico vertical de PVC, donde se encuentran el lodo granular suspendido y en el que tiene lugar la digestión anaerobia y la formación de biogás. Tiene un volumen útil de 25 L y contiene 8 L de manto de lodo granular fluidizado. El efluente del proceso ingresa en el reactor SMEBR por gravedad, y tiene una bomba de recirculación interna que permite mantener fluidizado el lecho y evita la generación de rutas preferentes por algunos de los microorganismos presentes.

3.2. SMEBR (Submerged Membrane Electro-Biorreactor).

Un SMEBR es un sistema de MBR (Biorreactor de membrana) combinado con la técnica de electrocoagulación. El MBR es un biorreactor que tiene dos partes: uno es el lodo biológico que funciona en condiciones aerobias y otro es el proceso físico de ultrafiltración por membrana (Hasan et al., 2014). Este biorreactor tiene un módulo de membranas de fibra hueca con un diámetro de poro $0,03 \mu\text{m}$ y $0,5 \text{m}^2$ de área filtrante.

La electrocoagulación es un proceso que utiliza la electricidad para eliminar contaminantes en el agua que se encuentran suspendidos, disueltos o mezclados en el lodo. La técnica consiste en inducir corriente eléctrica en el agua residual a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, de los cuales los más comúnmente utilizados son el hierro y el aluminio (Arango Ruiz, 2005).

Figura 2 Esquema SMEBR



Fuente:(Hasan et al., 2014)

El reactor utilizado para realizar la electrocoagulación, operando en continuo, está formado por una celda electroquímica con un ánodo de aluminio y un cátodo de acero inoxidable, dispuestos en forma vertical y conectados a una fuente de energía externa de corriente continua, la cual nos permite controlar el amperaje que queremos proporcionar al sistema. En este caso se realizan ensayos mediante la implementación de diferentes densidades de corriente, concretamente 5, 10 y 15 A/m², con tiempos de operación de 5minON/10minOFF.

El sistema cuenta con un conjunto de bombas que permite la aireación del sistema, el permeado y el retro-lavado, también con sensores que registran el oxígeno disuelto en el licor mezcla y la temperatura, y un sensor de PTM (presión Transmembrana) que es el parámetro para el estudio del ensuciamiento de la membrana.

3.3. Métodos de análisis

Para la cuantificación y análisis de los contaminantes emergentes (CEs) se tomaron muestras de agua de efluente del UASB y permeado final empleando botellas esterilizadas.

Las muestras se acondicionan 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 (acetato de etilo, metanol y agua de Sigma Aldrich). El extracto recogido en cada tubo se seca con flujo de N₂ y, una vez reducido el volumen, se trasvasa la muestra a un "insert" de 100 µL, donde se continúa el proceso hasta secado total. Luego se reconstituye añadiendo el reactivo de derivatización: 50 µL de BSTFA: TMCS (99:1) y 50 µL de piridina. Posteriormente se tapa el vial y se deja a 60 °C durante 30 min, para que tenga lugar la reacción de silación. 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.(Vásquez-Rodríguez et al., 2017)

Para la correcta operación de la planta piloto es necesario llevar un control operacional de diversos parámetros como nutrientes y materia orgánica para, de esta forma, garantizar el debido funcionamiento y que el permeado cumpla con los objetivos requeridos.

Las determinaciones de demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y Amonio (NH₄) se realizaron mediante test de viales de digestión MACHEREY-NAGEL y analizados en el espectrofotómetro (NANOCOLOR® 500 D, Macherey-Nagel). Para las medidas de pH y conductividad fueron utilizados los modelos BASIC 20 y CM 35, respectivamente (Crison instruments-Hach Lange, España).

Para el análisis de ensuciamiento de la membrana se registran los datos de la PTM de forma continua cada 15 segundos, mostrándonos así el funcionamiento total en cada ciclo ya sea permeado (10 minutos) o retro lavado (1 minuto). Estos datos se analizan junto a la determinación de las EPS (Sustancias Poliméricas Extracelulares), principales responsables del ensuciamiento.(Hasan et al., 2012).

La extracción de EPS se realizó mediante intercambio iónico utilizando una resina catiónica (Frolund et al., 1996). Para la determinación de proteínas se utilizó un kit de proteína total (Sigma-Aldrich, TP 0330), según el método de (Lowry et al., 1951; Domínguez Chabalin et al., 2013)

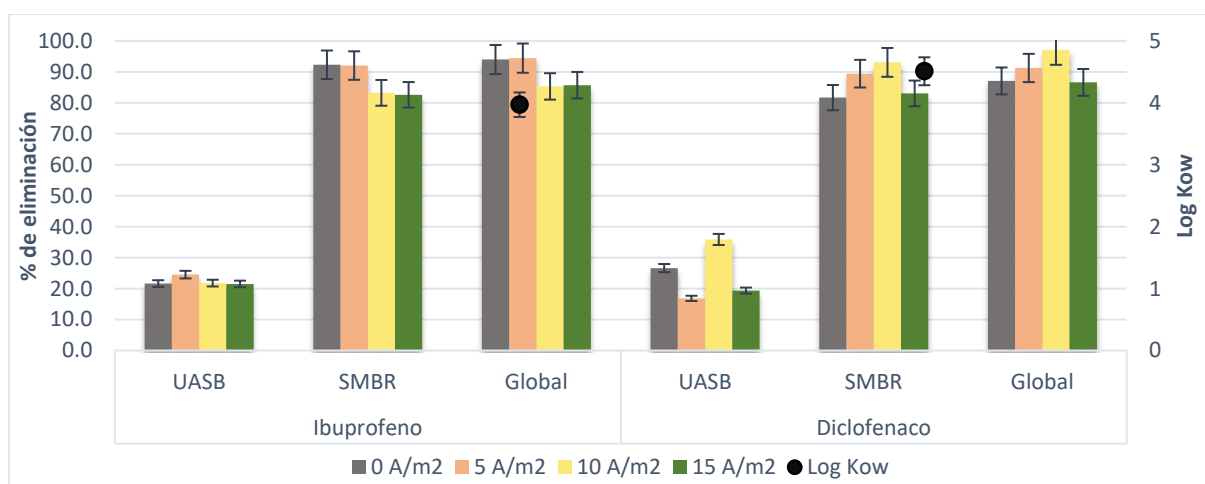
4. Resultados

La experimentación consta de dos partes: una primera en la que se observa el comportamiento con funcionamiento de la planta híbrida con tipología MBR, es decir, sin electrocoagulación, con la finalidad de tener un punto de referencia para poder realizar una comparación sobre la incidencia de la electrocoagulación, tanto en el ensuciamiento de la membrana como en la eliminación de CEs, y una segunda parte con la aplicación de densidades de corriente de 5,10 y 15 A/m², para poder determinar cuál de ellas resulta más eficiente.

4.1. Contaminantes Emergentes

Como se observa en la figura 3, el sistema híbrido logra unos rendimientos de eliminación superiores al 90% para los contaminantes emergentes Diclofenaco e Ibuprofeno, aunque cada uno tiene un comportamiento diferente en cada etapa.

Figura 3 Porcentajes de eliminación de CEs



En la primera etapa de sistema híbrido MBR sin electrocoagulación, se observa que la eliminación de Ibuprofeno y Diclofenaco en la etapa anaeróbica del sistema es de (21%+-17,9) y (26,6 +-13,9) respectivamente y en MBR se muestra como el Ibuprofeno elimina un (92,3%+-3,2) y el Diclofenaco (81,7%+-8,1).

Al poner en funcionamiento la electrocoagulación, para el compuesto de ibuprofeno resulta más eficiente la utilización de la densidad de corriente de 5 A/m², donde se obtiene un porcentaje de eliminación del (92%+-2,2) respecto a las otras densidades, en las cuales se observa que disminuye su eficiencia de eliminación. Esto puede ser debido a que la estructura del compuesto es altamente biodegradable, lo cual confirma que sistemas de depuración combinada anaerobia y aerobia permiten su eliminación (Ferrando-Climent et al., 2012) y que decae al utilizar densidades de corrientes altas, puesto que en el reactor empiezan a prevalecer compuestos inorgánicos en el licor mezcla (Bani-Melhem et al., 2010) que hacen disminuir la tasa de biodegradación.

Para el Diclofenaco, se observa que tiene una mejor eliminación con una densidad de corriente de 10 A/m² un promedio de (97,1%+-4,3). Esto puede deberse a su hidrofobicidad, la cual se representa según el coeficiente octanol-agua (LogKow) y que para el diclofenaco es de 4,51, lo cual atribuye un alto potencial de sorción, y una mayor atracción por permanecer en la fase solida del sistema (Rogers, 1996).

Se observa también como, a pesar de ser dos compuestos de naturalezas diferentes, el sistema híbrido ofrece altos rendimientos de eliminación, de manera que incluso utilizando la menor densidad de corriente (5 A/m²), se logra el objetivo planteado.

4.1. Degradación de materia orgánica

Respecto a la eliminación de materia orgánica, se puede ver que el sistema en conjunto obtiene remociones superiores del 90% en todas las fases, siendo más eficiente a densidades mayores (10 A/m² y 15 A/m²), con un 97,7%, según se observa en la Tabla 1.

Tabla 1 Porcentajes de eliminación DQO en cada reactor

Densidad de corriente	UASB	MBR	GLOBAL
0A/M²	71,2	77,9	94,0
5A/M²	78,8	62,0	92,7
10A/M²	80,9	85,5	97,7
15A/M²	73,1	90,1	97,7

En el sistema SMEBR se obtienen mejores rendimientos de eliminación a mayor densidad de corriente, siendo la mejor la de 15 A/m² con un (90,1%±1,4), debido a que cuando se aplica electrocoagulación aparecen nuevos mecanismos de remoción como la oxidación y adsorción en hidróxidos de aluminio formados por la atracción electrostática, así como el atrapamiento físico, que se genera al crear flocúlos de mayor tamaño en el sistema. (Bani-Melhem et al., 2011).

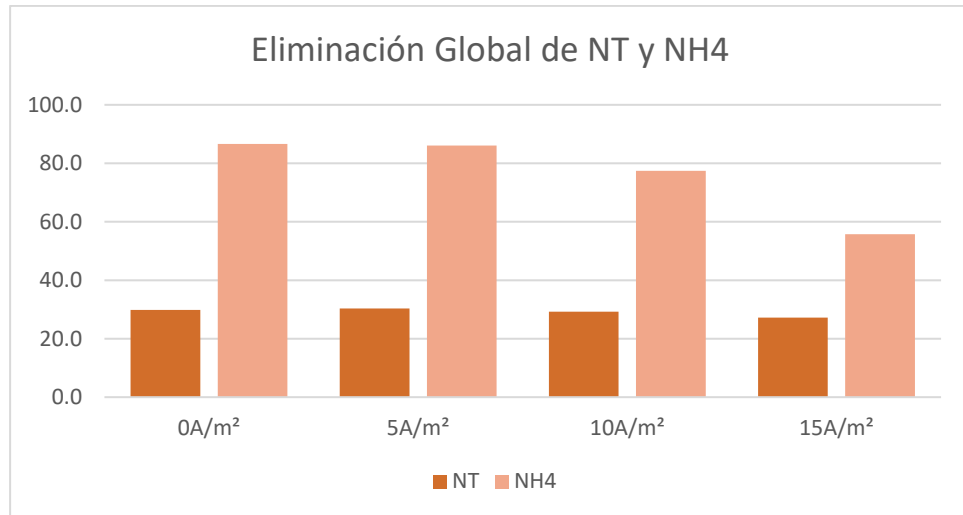
4.2. Degradación de nutrientes

Para la eliminación de nutrientes se realiza la medición a nivel global del sistema híbrido.

- Eliminación de NT y NH₄

Se observa que la eliminación de NT oscila entre 27± 30%, lo que es normal en los sistemas MBR, carentes de zona anóxica, como es reportado por investigaciones previas (Rodríguez, 2018). También se observa que hay una transformación alta de NH₄ en un promedio de 76%, eficiencia reportada por otros autores quienes afirman que la forma de nitrógeno predominante en la entrada y en el UASB es el nitrógeno amoniacal, mientras que en el permeado es la de nitrógeno en forma de nitrato (Simón Andreu et al., 2014).

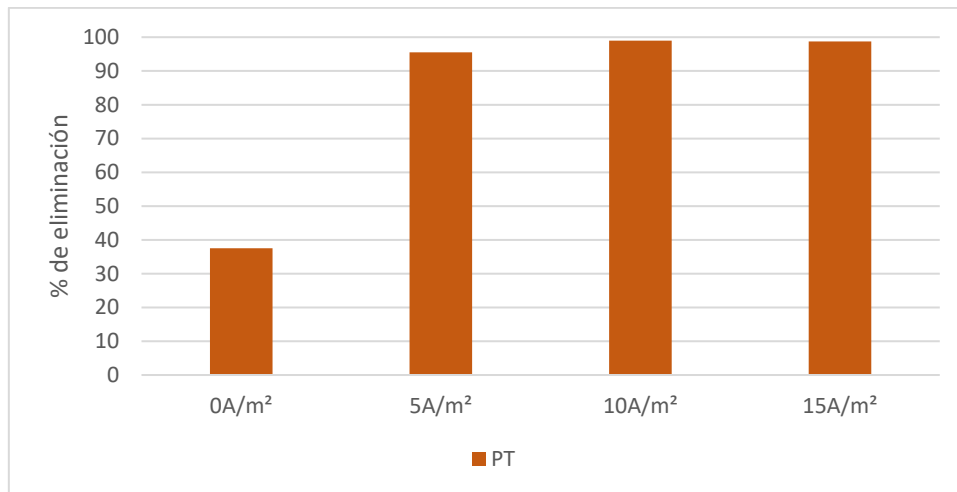
Figura 4 Porcentajes de eliminación global de NT y NH₄



- Eliminación de PT

Se observa que la electrocoagulación se comporta de manera muy positiva, haciendo que la remoción del PT aumente del 35% al 95% con una densidad de corriente de 5 A/m² y al 98 % con densidades de corriente de 10 A/m² y 15 A/m².

Figura 5 Eliminación global de Fosforo total



Esto es debido a que al aplicar corriente eléctrica se genera Al³⁺ en la reacción de electrooxidación del ánodo de aluminio. Los iones de aluminio recién generados entran en contacto con el fósforo presente en la biomasa precipitándolo como (Al(OH)₃(PO₄)₂ y AlPO₄ o adsorbiéndolo por el fuerte agente de adsorción producido, Al(OH)₃. El hidróxido de aluminio formado tiene una solubilidad muy baja ($K_{ps} = 3 \times 10^{-34}$) y, en consecuencia, se produce un precipitado amorfo con pH cercano a la neutralidad (Martínez Navarro, 2008).

4.3. Reducción del ensuciamiento de la membrana

El ensuciamiento de la membrana se infiere de los niveles de presión transmembrana (PTM), la cual se recoge en la tabla 2 para cada fase. Puede apreciarse que al aplicar una densidad de corriente el ensuciamiento es menor, en términos de presión, siendo la mejor densidad de corriente la de 5 A/m², con una reducción de ensuciamiento del 82%, resultados concordantes con investigaciones anteriores, usando densidades de corrientes similares (Mendes Predolin, 2019).

Tabla 2 Presión transmembrana por densidad de corriente

<i>Densidad de corriente</i>	<i>PTM</i>	
0A/m ²	1,6152	kPa/día
5A/m ²	0,2778	kPa/día
10A/m ²	0,6895	kPa/día
15A/m ²	0,6957	kPa/día

Un parámetro importante para determinar el grado de ensuciamiento de la membrana son las EPS (Sustancias Poliméricas Extracelulares), en forma enlazada o soluble, las cuales se consideran actualmente como la causa predominante de ensuciamiento de la membrana en los sistemas MBR(Cho et al., 2002; Rosenberger et al., 2005).

Las EPS enlazadas consisten en proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos, lípidos, ácidos húmicos, etc., que se encuentran dentro o fuera de la superficie celular. Las EPS solubles en cambio se pueden definir como el conjunto de compuestos orgánicos que se liberan en la solución a partir del metabolismo del sustrato (generalmente con el crecimiento de la biomasa) y la descomposición de la biomasa (Barker et al., 1999).

Tabla 3 Concentración EPS solubles, Carbohidratos y proteínas

	<i>EPS soluble (mg/l)</i>	<i>EPS enlazado (mg/gssv)</i>
0A/m ²	52,48	135,39
5A/m ²	46,77	98,11
10A/m ²	34,07	79,08
15A/m ²	35,42	63,32

Como se observa en la tabla 3, al aplicar densidad de corriente hay una disminución de dichas sustancias. Con la densidad de 10 A/m², existe una reducción en las EPS solubles (proteínas y carbohidratos) del 35%, que en diferentes investigaciones se muestran como las causantes del ensuciamiento de la membrana (Meng et al., 2009; Dominguez Chabalina, 2010; Shi et al., 2017), y se constata que las demás densidades de corriente también tienen una buena eficiencia. La reducción del ensuciamiento no solamente se controla con este parámetro, razón por la cual a la hora de ver la PTM según la densidad de corriente puede no coincidir con la densidad que obtuvo mejor eficiencia en EPS, debiendo tenerse en cuenta la concentración de SST en el licor mezcla y otros parámetros

como viscosidad y temperatura, las cuales se ha demostrado que con la implementación de corriente mejora dichos parámetros (Hasan et al., 2012). No obstante, se demuestra que el uso de corriente mejora la capacidad filtrante de la membrana y aumenta su vida útil, reduciendo los cambios de membrana o limpiezas químicas requeridas, como se ha mostrado en diferentes investigaciones (Chae et al., 2006).

5. Conclusiones

Se demuestra que el sistema híbrido UASB+SMEBR es un sistema robusto que, al tener una sinergia de procesos anaerobios y aerobios permite altas eficiencias de eliminación de contaminantes emergentes (CEs) de la familia de los fármacos analizados, y aun tratándose de dos compuestos que se comportan de maneras diferentes, se logra una alta eliminación de Ibuprofeno y Diclofenaco (94% y 97%, respectivamente) en el sistema global.

Se logra así mismo la remoción de DQO, Amonio y NT en un 98%, 76% y 30%, respectivamente, en el sistema global y la eliminación de PT en un 98% en el SMBR, donde se evidencia una mejora en la remoción gracias al sistema de electrocoagulación, en el cual también se pone de manifiesto una reducción del ensuciamiento de la membrana de un 82% y una reducción de EPS solubles (proteínas y carbohidratos) de un 35%, con una densidad de corriente de 10 A/m².

Agradecimientos

Esta investigación hace parte del proyecto del Ministerio de Economía y Competitividad "Eliminación de contaminantes emergentes mediante procesos anaerobios y aerobios en serie y tratamientos complementarios: sistema combinado UASB +SMEBR + O3/AC CTM2016-76910-R, realizado por el Instituto del Agua y las Ciencias Ambientales (IUACA) de la Universidad de Alicante.

Referencias

- Agüera, A.; Martínez Bueno, M. J.; Fernández-Alba, A. R., 2013: New trends in the analytical determination of emerging contaminants and their transformation products in environmental waters. *Environmental Science and Pollution Research.*, 20, 3496–3515.
- Arango Ruiz, Á., 2005: La electrocoagulación: Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación.*, 2, 49–56.
- Bani-Melhem, K.; Elektorowicz, M., 2010: Development of a Novel Submerged Membrane Electro-Bioreactor (SMEBR): Performance for Fouling Reduction. *Environmental Science & Technology.*, 44, 3298–3304.
- Bani-Melhem, K.; Elektorowicz, M., 2011: Performance of the submerged membrane electro-bioreactor (SMEBR) with iron electrodes for wastewater treatment and fouling reduction. *Journal of Membrane Science.*, 379, 434–439.
- Barker, D. J.; Stuckey, D. C., 1999: A review of Soluble Microbial Products (SMP) in wastewater treatment systems. *Water Research.*, 33, 3063–3082.
- Chae, S. R.; Ahn, Y. T.; Kang, S. T.; Shin, H. S., 2006: Mitigated membrane fouling in a vertical submerged membrane bioreactor (VSMBR). *Journal of Membrane Science.*
- Cho, B. D.; Fane, A. G., 2002: Cho_2002_Membrane Science.pdf, 209, 391–403.
- Domínguez Chabalín, L.; Rodríguez Pastor, M.; Prats Rico, D., 2013: Characterization of soluble and bound EPS obtained from 2 submerged membrane bioreactors by 3D-EEM and HPSEC. *Talanta.*, 115, 706–712.

- Dominguez Chabalina, L., 2010: Análisis del ensuciamiento de membranas en biorreactores de membranas sumergidas escala piloto.
- Ferrando-Climent, L.; Collado, N.; Buttiglieri, G.; Gros, M.; Rodriguez-Roda, I.; Rodriguez-Mozaz, S.; Barceló, D., 2012: Comprehensive study of ibuprofen and its metabolites in activated sludge batch experiments and aquatic environment. *Science of the Total Environment.*, 438, 404–413.
- Frolund, B.; Palmgren, R.; Keiding, K.; Nielsen, P. H., 1996: Extraction of extracellular polymers from activated sludge using a cation exchange resin. *Water Research.*, 30, 1749–1758.
- Hasan, S. W.; Elektorowicz, M.; Oleszkiewicz, J. A., 2012: Correlations between trans-membrane pressure (TMP) and sludge properties in submerged membrane electro-bioreactor (SMEBR) and conventional membrane bioreactor (MBR). *Bioresource Technology.*, 120, 199–205.
- Hasan, S. W.; Elektorowicz, M.; Oleszkiewicz, J. A., 2014: Chemosphere Start-up period investigation of pilot-scale submerged membrane zelectro-bioreactor (SMEBR) treating raw municipal wastewater. *Chemosphere.*, 97, 71–77.
- Hernández, F.; Sancho, J. V.; Ibáñez, M.; Abad, E.; Portolés, T.; Mattioli, L., 2012, May: Current use of high-resolution mass spectrometry in the environmental sciences. *Analytical and Bioanalytical Chemistry.*
- Lowry, O. H.; Rosebrough, N. J.; Farr, A. L.; Randall, R. J., 1951: Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of biological chemistry.*, 193, 265–275.
- Martínez Navarro, F., 2008: *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional.*
- Mendes Predolin, L., 2019: *Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación acoplada a un MBR para minimizar el ensuciamiento de la membrana y obtener efluentes de alta calidad.*
- Meng, F.; Chae, S. R.; Drews, A.; Kraume, M.; Shin, H. S.; Yang, F., 2009: Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. *Water Research.*
- Moya Llamas, M. J., 2018: *Efecto de la carga orgánica en la eliminación de microcontaminantes, materia orgánica y nutrientes en un sistema UASB-MBR escala piloto para el tratamiento de aguas residuales de tipo urbano.* University of Alicante.
- Petrović, M.; Gonzalez, S.; Barceló, D., 2003: Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry.*, 22, 685–696.
- Rodriguez-Narvaez, O. M.; Peralta-Hernandez, J. M.; Goonetilleke, A.; Bandala, E. R., 2017: Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review. *Chemical Engineering Journal.*, 323, 361–380.
- Rodríguez, E. D. V., 2018: *Eliminación de microcontaminantes orgánicos presentes en aguas residuales urbanas mediante mbr combinado con oxidación avanzada y con filtración por membranas.*
- Rogers, H. R., 1996: Sources, behaviour and fate of organic contaminants during sewage treatment and in sewage sludges. *Science of the Total Environment.* Elsevier B.V., Vol. 185pp. 3–26.
- Rosenberger, S.; Evenblij, H.; Te Poele, S.; Wintgens, T.; Laabs, C., 2005: The importance of liquid phase analyses to understand fouling in membrane assisted activated sludge processes - Six case studies of different European research groups. *Journal of Membrane Science.*, 263, 113–126.
- Sanz, M., 2017: Contaminantes emergentes y cadena alimentaria. Productos farmaceuticos, de cuidado personal y drogas de abuso.
- Shi, Y.; Huang, J.; Zeng, G.; Gu, Y.; Chen, Y.; Hu, Y.; Tang, B.; Zhou, J.; Yang, Y.; Shi, L., 2017: Exploiting extracellular polymeric substances (EPS) controlling strategies for performance enhancement of biological wastewater treatments: An overview.

Chemosphere., 180, 396–411.

- Simón Andreu, P. J.; Lardín Mifsut, C.; Domínguez Chabalina, L.; Prats Rico, D.; Cases López, V.; Prado Álvarez, G.; Sánchez Betrán, A.; González Herrero, R.; Vicente González, J. A.; Llosa Llacer, C., 2014: Puesta en marcha de un sistema híbrido UASB+MBR para el tratamiento de las aguas residuales. *Set-up of an hybrid system UASB + MBR for wastewater treatment.*, 44–49.
- Tran, N. H.; Reinhard, M.; Gin, K. Y. H., 2018: Occurrence and fate of emerging contaminants in municipal wastewater treatment plants from different geographical regions-a review. *Water Research.*, 133, 182–207.
- UNESCO, 2017: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas Residuales. El recurso desaprovechado. *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.*, 1–202.
- Van Lier, J. B.; Grolle, K. C. F.; Stams, A. J. M.; de Macario, E. C.; Lettinga, G., 1992: Start-up of a thermophilic upflow anaerobic sludge bed (UASB) reactor with mesophilic granular sludge. *Applied Microbiology and Biotechnology.*, 37, 130–135.
- Vásquez-Rodríguez, E. D.; Moya-Llamas, M. J.; Bernal-Romero, M. A.; Bueno, D. H.; Mendes-Predolin, L.; Trapote-Jaume, A.; Prats-Rico, D., 2017: Membrane bioreactor followed by ozonation for the removal / degradation of microcontaminants present in urban wastewater, pp. 1127–1139.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible



Esta investigación contribuye en los ODS al Objetivo 6 el cual es “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”: Puesto que con esta nueva tecnología ayudamos a la eliminación de contaminantes emergentes, materia orgánica y nutrientes generando así efluentes de alta calidad que pueden ser de alto potencial para la reutilización de manera segura.