

## MEMBRANE BIOREACTOR SYSTEM FOR TREATMENT OF URBAN WASTEWATER

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

<sup>1</sup> Universidad de Alicante, Universidad Tecnológica de Panamá, <sup>2</sup> Universidad de Alicante

At present the legislation is increasingly stringent discharge limits, also the phenomena of droughts needs increase reuse wastewater, these being the main reasons for research on new technologies where more effluent quality is obtained as in the case of a membrane bioreactor (MBR).

This research simulate the treatment of urban wastewater in a pilot scale MBR plant, inoculated with micropollutants dissolved in synthetic water at half load. The plant operates at residence times of 21 hours, at ambient temperature, oxygen concentrations of 1 to 5 mg/L and average flux of 2.72 L / m<sup>2</sup>h.

Throughout the period of operation overall removal efficiency of organic matter, total nitrogen and total phosphorous was on average 96%, 34% and 40% respectively. Referring to the micropollutants studied it is determined that the family of triazines are those with lower degree of elimination values between 20.7% and 77%, while reducing organochlorine in the order of 85% and 99%.

These results demonstrate the high quality of the effluent; which can be used for economic, urban and human recreational activities.

**Keywords:** MBR; membrane; Chemical Oxygen Demand; Micropollutants; Suspended Solids; Nutrients.

## BIORREACTOR DE MEMBRANA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

En la actualidad la legislación es cada vez más estricta en los límites de vertidos, además los fenómenos de sequías aumentan las necesidades de reutilizar las aguas residuales, siendo éstas las principales razones para investigar sobre nuevas tecnologías que proporcionen efluentes de mayor calidad, como es el caso de un Biorreactor de membrana (MBR).

La presente investigación simula el tratamiento de agua residual urbana mediante una planta MBR a escala piloto, dopada con microcontaminantes disueltos en agua sintética a carga media. La planta trabaja a tiempos de residencia de 21 horas, a temperatura ambiente, concentraciones de oxígeno de 1 a 5 mg/L y flujo promedio de 2.72 L/m<sup>2</sup>h.

Durante todo el período de operación la eficiencia en eliminación global de la materia orgánica, nitrógeno y fósforo total estuvo en un promedio de 96%, 34% y 40%, respectivamente. De los microcontaminantes estudiados se determina que la familia de las triazinas son las que presentan menor grado de eliminación con valores entre 20.7%, y 77%, mientras que los organoclorados se reducen en el orden del 85% y 99 %.

Estos resultados demuestran la alta calidad del efluente; el cual puede utilizarse para actividades económicas, urbanísticas y recreativas del ser humano.

**Palabras clave:** MBR; Membrana; Demanda Química de Oxígeno; microcontaminantes; Sólidos en Suspensión; Nutrientes.

Correspondencia: Edgardo David Vásquez Rodríguez edgardo-1990@hotmail.com

Agradecimientos: Esta investigación ha sido desarrollada en el Instituto del Agua y las Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante en el marco del Proyecto CTM 2013-46669: Eliminación y/o degradación de contaminantes emergentes en aguas mediante tratamientos combinados, del Ministerio de Economía y Competitividad de España.

## 1. Introducción

La tecnología de biorreactor de membrana (MBR) comprende la combinación de un sistema de lodos activados convencional con una filtración por membrana (Cicek, et al., 1998). A pesar de sus altos costos de operación para la aireación y ensuciamiento de la membrana, mediante esta tecnología se puede obtener un efluente de alta calidad y baja cantidad de lodos.

Los factores principales que han limitado el desarrollo de la tecnología de membrana han sido el elevado coste de inversión y de operación. Sin embargo, con la aparición de novedosos módulos de membrana menos costosos y más efectivos junto con el endurecimiento de los requisitos de vertido, la tecnología de membrana ha vuelto a cobrar interés. Son numerosas las vías de investigación que en la actualidad se mantienen abiertas.

El uso de los MBR no se reduce a estudios en plantas piloto, pues ya son muchas las instalaciones que funcionan en distintas partes del mundo a escala real (Aileen & Albert, 2007). Los usos actuales incluyen el tratamiento y reutilización de agua en comunidades y edificios, el tratamiento de aguas residuales municipales y el tratamiento de efluentes en determinadas industrias (Manem & Sanderson, 1996). Existen varias áreas de aplicación muy prometedoras que están todavía en fase de desarrollo y que requieren una mayor evaluación experimental, entre las que se encuentra el tratamiento de efluentes procedentes de actividades ganaderas, aguas residuales de industrias alimentarias, tratamiento de lixiviados de vertederos, la eliminación de herbicidas y pesticidas de las corrientes de aguas residuales, la eliminación biológica de los nitratos y reducción de los microcontaminantes.

Los microcontaminantes son sustancias previamente desconocidas o no reconocidas como tales, cuya presencia en el medio ambiente no es necesariamente nueva, pero si la preocupación por las posibles consecuencias de la misma (Yang, et al., 2014). Estas sustancias son poco investigadas, generalmente de origen industrial, doméstico y mayoritariamente sin regulación. Estos compuestos se introducen a diario en el medio ambiente en muy bajas concentraciones principalmente a través de los efluentes de las EDARs, sin embargo causan efectos en la salud y al medio ambiente; generando así una creciente preocupación en la comunidad científica.

Dada las posibles aplicaciones, se propone el estudio de las reducciones de materia orgánica, nutrientes y algunas familias de los microcontaminantes mediante una planta piloto de biorreactor de membrana.

## 2. Objetivos

El principal objetivo del presente proyecto es utilizar la planta MBR a escala piloto de fibra hueca para evaluar su capacidad de reducción de materias orgánicas, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y los microcontaminantes.

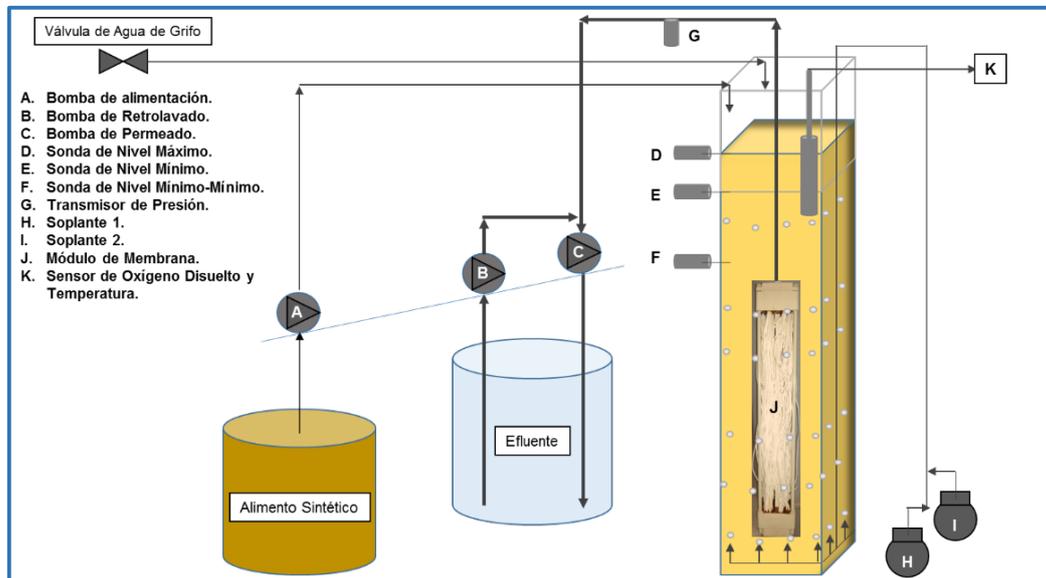
## 3. Materiales y Métodos

### 3.1 Planta Piloto

La planta piloto existente que se muestra en la Figura 1 está compuesta por un tanque de aireación de 90 L (88 L útiles) dentro del cual se encuentra el módulo de membranas, una membrana de 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 2  $\text{m}^2$ , un depósito de

alimentación, uno de permeado, y una serie de equipos y accesorios controlados mediante un sistema de control automático.

**Figura 1: Esquema de la Planta Piloto.**



Fuente: Elaboración propia.

El sistema se controla automáticamente con el objetivo de medir en continuo las principales variables de operación. Estas son monitorizadas en línea y mostradas permanente y gráficamente en un ordenador acoplado al sistema. El sistema de control actúa sobre los sensores de nivel de líquido (Endress+Hauser, modelo Liquiphant T FTL260), el transmisor de presión (Cerabar T PMC131), las bombas, las soplantes de aireación (Aqua Medic modelo Mistral 4000) y la sonda (Endress+Hauser, modelo Oxymax COS61) de oxígeno disuelto (OD) y temperatura.

La planta se activa a través del interruptor general del panel de control y comienza la extracción del permeado a través de las membranas con ayuda de una bomba peristáltica (Watson – Marlow modelo 323 U/D). Las membranas están sumergidas en el licor mezcla, por lo que la filtración va desde el exterior hasta el interior de las mismas (sentido out-in), extrayéndose el permeado al exterior. Parte de este permeado se almacena en un depósito para ser utilizado en los retrolavados que se le realizan a las membranas.

Por otro lado, las soplantes de aireación se mantienen operando permanentemente, manteniendo, mediante el burbujeo, el rascado tangencial de las membranas y por tanto eliminando la suciedad que genera la filtración del lodo. Paralelamente, mediante la oxigenación, se le suministra a la biomasa la concentración de OD que necesita para su crecimiento y se mantiene el licor mezcla en suspensión. Los sensores de nivel controlan el momento de encendido y apagado de la bomba de alimentación (Dosiper C1R) y de la válvula de agua manteniendo un volumen útil aproximado de 88 L de licor mezcla en el reactor. Cuando el nivel de líquido llega al sensor de nivel mínimo, se pone en marcha la bomba de alimento sintético y abre la válvula de agua de red. Estos se mantienen trabajando hasta que el nivel llega a la sonda de nivel máximo. Existe una sonda adicional de nivel mínimo-mínimo como medida de precaución para la membrana, para el caso de que el sistema de alimentación no funcionara y las membranas pudieran quedar expuestas al aire y dañadas de forma irreversible. Esta sonda de nivel mínimo-mínimo detiene la filtración a través de las membranas, impidiendo que el nivel del reactor continúe bajando. Los

valores de OD y temperatura de la biomasa se obtienen mediante una sonda que está colocada dentro del reactor.

### 3.2 Calidad del Agua a Tratar.

El agua de alimentación se simula mediante agua sintética, preparada en forma de concentrado a partir de la composición del alimento sintético recomendada por la International Standard Organization (ISO, 1999) y su relación con la concentración de nutrientes a la entrada del sistema en cantidades de productos que se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1: Composición del Alimento Sintético**

<b>Alimento Concentrado</b>		
Compuesto	DQO referencia / mg·l-1	DQO / mg·l-1
	3038	13500
<b>Peptona / g</b>	1.6	177.75
<b>Extracto de carne / g</b>	1.1	122.20
<b>Urea / g</b>	0.3	33.33
<b>MgSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O / g</b>	0.02	2.22
<b>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> / g</b>	0.28	31.11
<b>CaCl<sub>2</sub> · 2 H<sub>2</sub>O / g</b>	0.04	4.44
<b>NaCl / g</b>	0.07	7.78
<b>NaHCO<sub>3</sub> / g</b>	3.038	13.50

En este estudio fueron adicionados en el agua sintética (alimento) los microcontaminantes que se nombran en la Tabla 2, pertenecientes a las familias de triazinas y organoclorados.

Para determinar la concentración inicial de estos microcontaminantes se realizaron ensayos de toxicidad con el método utilizado por (Prieto-Rodríguez. 2013) al lodo inóculo procedente de la Estación Depuradora de Rincón de León (Alicante). De los resultados obtenidos se concluyó que una media de 10 µg/L no resultó inhibitoria en la actividad microbiana, siendo además similar a la encontrada en las aguas residuales urbanas en la cabecera de las EDARs. A esto se suma el hecho de que las trazas de estos microcontaminantes encontrados en distintos medios receptores presentan concentraciones en el orden de ng/L (Robles-Molina, J. 2014). Por todo ello se seleccionó una concentración inicial media de 10 µg/L de cada compuesto.

**Tabla 2: Microcontaminantes Dopados.**

FAMILIA	Compuestos	Nº REG. CAS	Fórmula Molecular
<b>ORGANOCLORADOS</b>	Alacloro	15972-60-8	C <sub>14</sub> H <sub>20</sub> ClNO <sub>2</sub>
	Lindano	58-89-9	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub>
	Heptacloro	76-44-8	C <sub>10</sub> H <sub>5</sub> Cl <sub>7</sub>
	Heptacloro hepóxido	1024-57-3	C <sub>10</sub> H <sub>5</sub> Cl <sub>7</sub> O

	$\alpha$ -endosulfán	959-98-8	C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub> O <sub>3</sub> S
	$\beta$ -endosulfán	33213-65-9	C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub> O <sub>3</sub> S
	Dieldrina	60-57-1	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>6</sub> O
	Endrina	72-20-8	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>6</sub> O
	Isodrina	465-73-6	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub> Cl <sub>6</sub>
	p,p-DDD	72-54-8	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>4</sub>
	Trifluralina	1582-09-8	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> F <sub>3</sub> N <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
	Linurón	330-55-2	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
<b>TRIAZINAS</b>	Simazina	122-34-9	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> N <sub>5</sub> Cl
	Atrazina	1912-24-9	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> ClN <sub>5</sub>
	Terbutilazina	5915-41-3	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> ClN <sub>5</sub>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Planificación de Experimentación.

La experimentación guarda mucha relación con los objetivos que se quieren alcanzar con la investigación, y es donde se definen los parámetros que se determinarían en cada uno de los ensayos, los protocolos de muestreo, la frecuencia de los muestreos, así como las técnicas e instrumentos adecuados.

Una vez definidos y descritos los parámetros en función de los objetivos de esta investigación, se establece los tipos de ensayos y la programación de los mismos como se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3: Tipos y Frecuencia de Ensayos**

Parámetros	Frecuencia muestreos	Puntos de muestreo		
		Alimentación	Reactor	Permeado
<b>pH</b>	2 x semana	x	x	x
<b>Sólidos Suspensión</b>	2 x semana		x	
<b>DQO</b>	2 x semana	x	x	x
<b>Fósforo Total</b>	2 x semana	x	x	x
<b>Nitrógeno Total</b>	2 x semana	x	x	x
<b>Sustancias prioritarias</b>	2 x semana	x		x
<b>Respirometría</b>	1 x 2 semana		x	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Métodos Analíticos

Los sólidos en suspensión totales TSS del Licor Mezcla se analizaron de acuerdo con los métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998). El pH y turbidez se determinaron con un pH-metro (modelo básico 20+ Crisona y un turbidímetro (TBI Velp Scientifica), respectivamente.

La DQO se cuantifica 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 Test de viales de digestión MACHEREY-NAGEL y espectrofotómetro Nanocolor 500D.

El nitrógeno total se cuantifica por el método de descomposición oxidativa en el bloque calefactor y determinación fotométrica con 2.6-dimetilfenol en una mezcla ácido sulfúrico/ácido fosfórico utilizando Test de viales de digestión MACHEREY-NAGEL y espectrofotómetro Nanocolor 500D.

El fósforo total (TP) se cuantifica por determinación fotométrica como azul de molibdeno tras hidrólisis ácida y oxidación a  $100-120^\circ C$  utilizando Test de viales de digestión MACHEREY-NAGEL y espectrofotómetro Nanocolor 500D.

La actividad heterotrófica del lodo se midió con un respirómetro (modelo BM-T Surcis) en condiciones endógenas para estimar algunos parámetros biocinéticos: la tasa de consumo de oxígeno (OUR), la tasa específica de respiración (SOUR), la coeficientes de rendimiento de biomasa heterótrofa ( $Y_H$ ) y la endógeno decadencia constante ( $K_d$ ). El software controla las condiciones de agitación, aireación y de temperatura de los ensayos. Las muestras se mantuvieron a una temperatura constante de  $20^\circ C$ .

### 3.5 Determinación de Microcontaminantes.

Para la cuantificación y análisis de los microcontaminantes se tomaron muestras, se acondicionaron, y se llevó a cabo la extracción de los contaminantes contenidos en éstas mediante un proceso de extracción en fase sólida (EFS). Posteriormente, se concentraron los extractos y se reconstituyeron en el disolvente seleccionado para a continuación, analizarlos mediante cromatografía de gases – espectrometría de masas en el Cromatógrafo modelo Agilent 7890 y espectrómetro de masas tipo cuadrupolo modelo Agilent 5975.

- Acondicionamiento previo de las muestras.

Se recogieron las muestras en botellas de plástico esterilizadas de 500 mL.

Las muestras de alimentación fueron filtradas con filtros de 1,2 mm de fibra de vidrio (Millipore) y fueron almacenadas a  $-20^\circ C$  hasta su análisis.

- Extracción en fase sólida.

El proceso de Extracción en Fase Sólida se realizó en el equipo Auto Trace 280 de Vertex. Se emplean cartuchos Oasis HLB 6cc/ 60mg y disolventes calidad HPLC (diclorometano, acetonitrilo y agua de Sigma Aldrich).

Para favorecer la retención de los compuestos menos hidrófobos (como por ejemplo: la simazina, atrazina terbutilazina), se llevaron a pH 2-3 las muestras con ácido clorhídrico.

- Evaporación y reconstitución.

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. Para arrastrar los analitos que quedaron en el tubo, se añadieron unas gotas de diclorometano y se agitó con un vórtex, trasvasando al insert posteriormente, y continuando el proceso.

Finalmente, se reconstituyó la muestra con 200  $\mu L$  de disolución de patrón interno (500  $\mu g/L$  en trifenílfosfato).

- Análisis GC-MS.

Las muestras fueron analizadas 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.

## 4. Resultados.

### 4.1 Reducción de la Materia Orgánica.

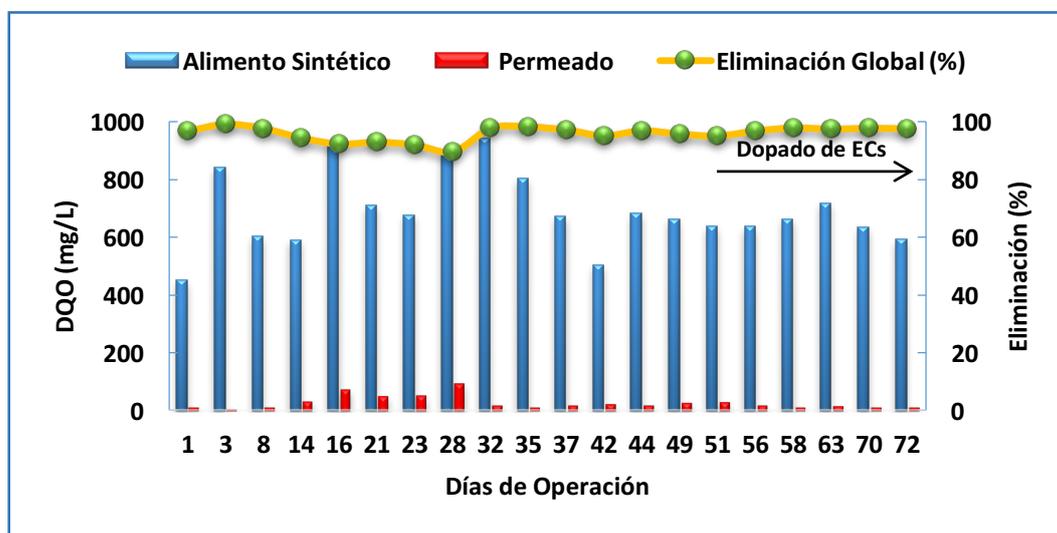
Esta investigación se realizó a carga media en un rango de 450 a 950 mg O<sub>2</sub>/L de DQO obteniendo reducciones de materia orgánica que se muestra en la Figura 2 en donde quedan recogidos los datos de la evolución de la DQO a lo largo del tiempo, tanto en la afluente, como en el efluente.

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%.

El valor de DQO promedio en el efluente durante la investigación fue de 29 mg/L. lo que representa una eficacia del sistema de casi el 100%.

La reducción de la materia orgánica no se ve afectada al dopar los contaminantes emergentes (microcontaminantes) como se muestra en la Figura 2. En particular, el día 51 de la investigación se inició el dopado de los contaminantes emergentes al alimento concentrado obteniendo resultados de reducción de materia orgánica por encima del promedio.

Figura 2: Eliminación de Materia Orgánica



Fuente: Elaboración propia.

### 4.2 Reducción De Nutrientes

Para la evaluación de eliminación de nutrientes en la planta piloto, se realizaron medidas de la concentración de nitrógeno total y fosforo total.

- Nitrógeno Total

Las variaciones de las concentraciones de Nitrógeno Total en el afluente y efluente (permeado) se observan en la Figura 3; la que muestra un promedio de 34% de reducción

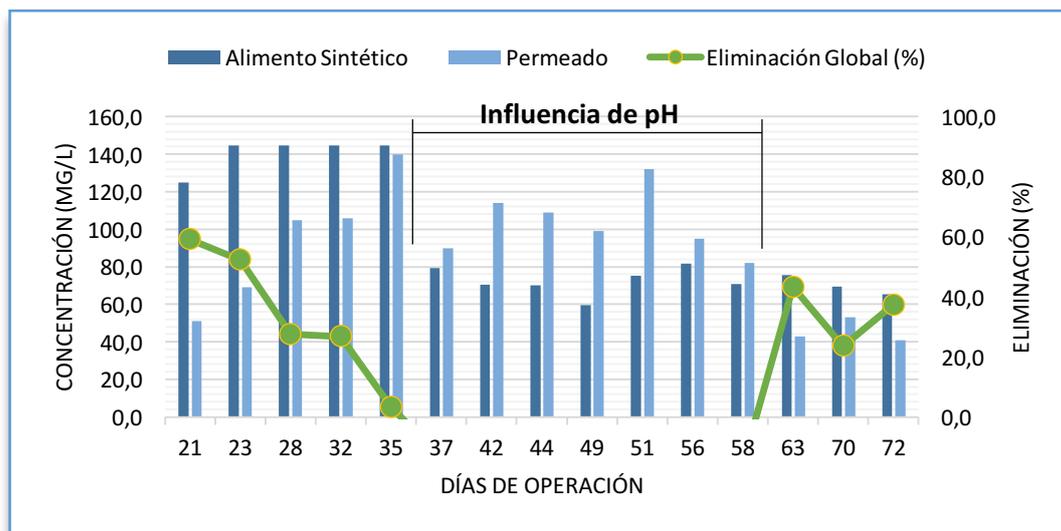
de este nutriente en periodos de tiempo específicos que no estén influenciados por el pH. Este potencial de eliminación de este nutriente es igual al alcanzado en la planta Híbrida (UASB+MBR), investigación que se lleva paralela al MBR de 90 L (Mendes Predolin, 2015).

Las concentraciones de nitrógeno total que se aportaba a la entrada (afluente) se encuentran en un rango de 65 a 125 mg/L. y las obtenidas en el efluente varían en un rango muy amplio por la influencia del pH.

La influencia del pH viene dada por la modificación en los compuestos del alimento concentrado, en el cual se eliminó la urea y  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  fue reemplazado en proporciones adecuadas por el  $\text{NaHCO}_3$ ; este último que ejercía un efecto tampón en mantener la alcalinidad del sistema mientras que su reemplazo solo estabiliza el pH en el rango que lo encuentre pero con una efectividad muy baja, lo que dio como resultado una acidificación en el reactor que alcanzó valores hasta de 5.25 unidades de pH.

El pH influye sobre la tasa de crecimiento de las bacterias nitrificantes. Se ha observado que la tasa máxima de nitrificación se produce entre valores de 7,2 a 9,0 aproximadamente, a valores inferiores a 6,5 la velocidad de nitrificación se reduce de forma brusca (Avendaño Villafranca, 2011).

**Figura 3: Potencial de Reducción de Nitrógeno Total**



Fuente: Elaboración propia.

- Fósforo Total.

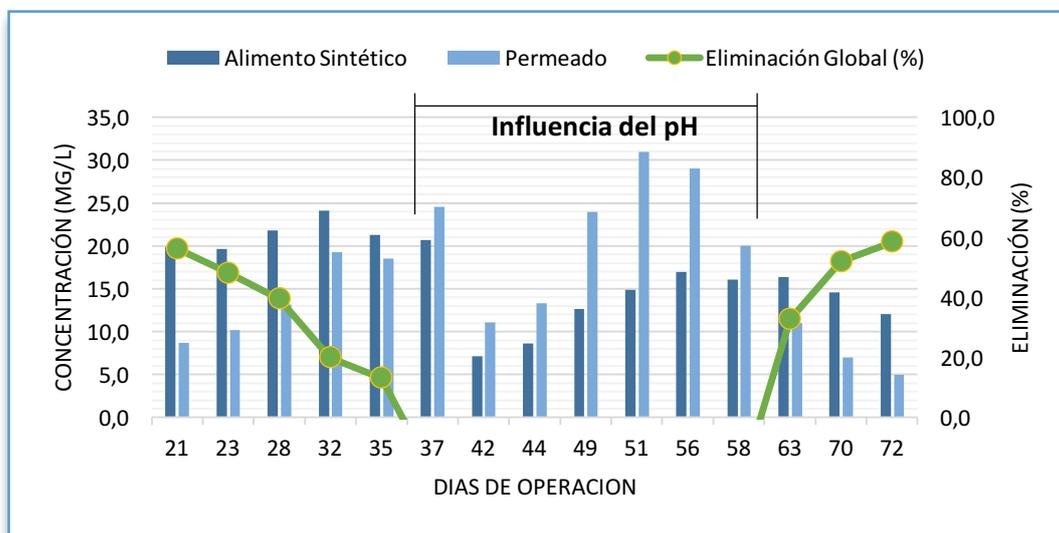
Las variaciones de las concentraciones de Fósforo Total en el afluente y en el permeado (efluente) se muestra en la Figura 4.

Las concentraciones de fósforo total promedio en el afluente son de 19 mg/L. En el efluente, las concentraciones de fósforo total promedio son de 11 mg/L de acuerdo a la concentración que entre al sistema. Se alcanzó un porcentaje de eliminación global promedio de fósforo total de 40% en todo el sistema, mientras que la planta híbrida alcanzó un valor medio de 33% de reducción (Mendes Predolin, 2015).

Al igual que el nitrógeno en el mismo periodo de tiempo sufrió problemas de reducción por influencias del pH ya que los organismos acumuladores de polifosfatos son susceptibles a pH ácidos.

Además del pH las bacterias antes mencionadas necesitan de dos fases para la degradación del fósforo una óxica y otra anóxica para un mejor tratamiento biológico de este nutriente.

**Figura 4: Potencial de Reducción de Fosforo Total**



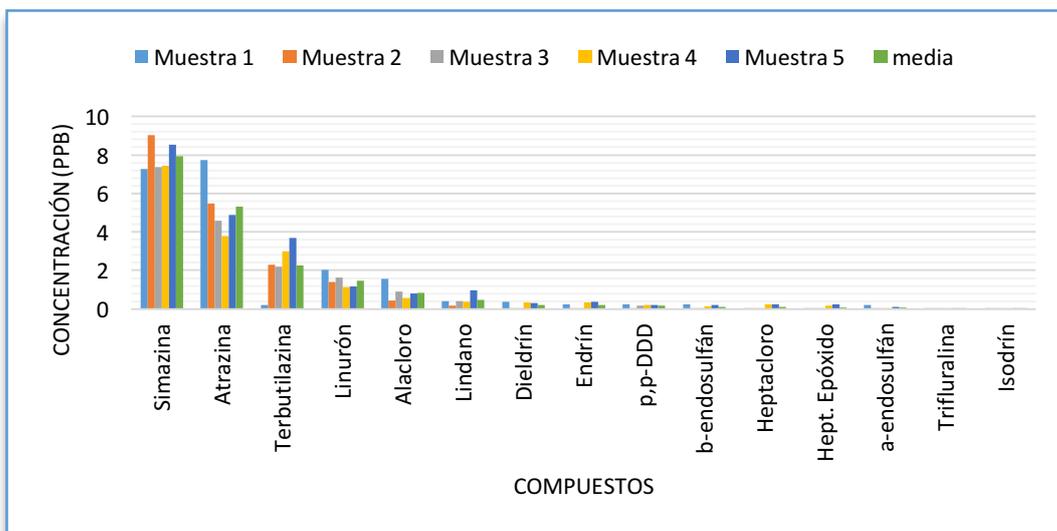
Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Reducción de los Microcontaminantes.

La concentración de cada compuesto en el afluente del biorreactor de membrana se mantuvo en 10 ppb. En la Figura 5 se representan las concentraciones obtenidas de cada compuesto en el efluente del biorreactor en cada uno de las muestras analizadas.

En la Figura 5 se observa que hay compuestos que fueron escasamente eliminados, como simazina y atrazina; otros prácticamente eliminados en su totalidad (80-95%), como lindano, terbutilazina, alacloro y linurón; y otros, altamente eliminados, como trifluralina, heptacloro, isodrina, Heptacloro hepóxido,  $\alpha$ -endosulfán, dieldrina, endrina,  $\beta$ -endosulfán y p,p-DDD.

Figura 5: Analíticas de los Microcontaminantes.



Fuente: Elaboración propia.

La familia de las triazinas (simazina, atrazina y terbutilazina) fue la que presentó mayores concentraciones en el efluente, siendo los compuestos más persistentes simazina y atrazina. Las concentraciones medias de simazina, atrazina y terbutilazina fueron 7.93, 5.30 y 2.28 ppb, respectivamente.

Las concentraciones medias en el efluente para linurón, alacloro y lindano, compuestos parcialmente eliminados, fueron 1.47, 0.85 y 0.47 ppb, respectivamente.

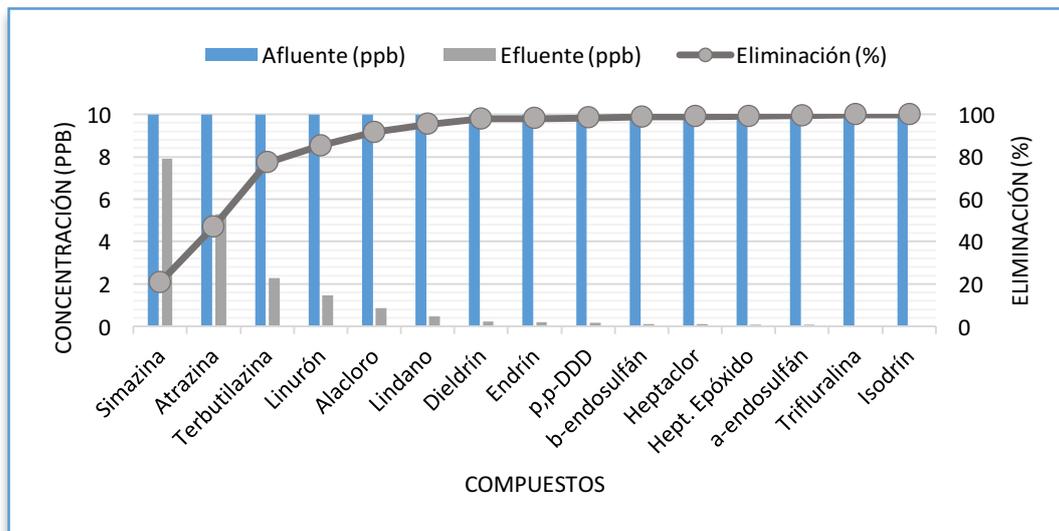
Los compuestos organoclorados dieldrina, endrina, p,p-DDD,  $\beta$ -endosulfán, heptacloro, heptacloro hepóxido y  $\alpha$ -endosulfán fueron altamente eliminados, detectándose a concentraciones medias de 0.22, 0.20, 0.17, 0.12, 0.11, 0.09 y 0.07 ppb, respectivamente. La trifluralina y el isodrina no fueron detectados (<0.01 ppb) en las muestras de efluentes.

Los porcentajes medios de eliminación de los compuestos se representan en la Figura 6 ; en la que se observa que los valores de reducción alcanzados para la simazina y atrazina fueron 21 y 47%, respectivamente. (Bernhard, et al., 2006) Corroboran que estos compuestos, simazina y atrazina, son poco eliminados en sistemas biológicos, debido, entre otros, a su marcado carácter polar.

Los porcentajes medios de eliminación para terbutilazina, linurón, alacloro y lindano, sustancias parcialmente eliminadas, fueron 77, 85, 91 y 95%, respectivamente.

Para el resto de compuestos, dieldrina, endrina, p,p-DDD,  $\beta$ -endosulfán, heptacloro, heptacloro hepóxido,  $\alpha$ -endosulfán, trifluralina e isodrina los porcentajes de eliminación fueron superiores al 98%.

Figura 6: Reducción Media de los Microcontaminantes



Fuente: Elaboración propia.

## 5. Conclusiones

- La puesta en marcha y la operación del sistema MBR para el tratamiento de aguas residuales urbanas a un carga orgánica media se realizó satisfactoriamente, logrando resultados excelentes tanto en los parámetros operacionales como parámetros analíticos.
- Durante el período de operación de la planta, la eficacia de eliminación global de materia orgánica se mantiene en un promedio de 96%.
- El porcentaje promedio de eliminación global de nitrógeno y fósforo total fueron de 34 y 40%, respectivamente.
- La actividad de la biomasa obtenida mediante los ensayos de respirometría es considerada buena, ya que se encuentra dentro de los rangos de referencias.
- La separación sólido-líquido en la membrana fue totalmente efectiva al no detectar sólidos en suspensión en el efluente. La turbidez media medida fue de 0,3 NTU.
- Se comprueba lo descrito en muchas bibliografías sobre la influencia del pH en la reducción de nutrientes.
- En cuanto a la alimentación sintética se recomienda la composición propuesta por la International Standard Organization (ISO 1999) sin variaciones de ninguna clase, si es para un sistema MBR; ya que tiene los mismos principios del sistema convencional de lodos activos.
- El funcionamiento de la planta MBR no se ve afectada por la adición de los contaminantes emergentes; ya que su actividad depurativa continúa normalmente.
- La planta ha presentado buenos rendimientos en cuanto a la eliminación de los microcontaminantes, principalmente para la familia de los organoclorados que se obtienen cifras muy significativas entre 85 y 99 %. En el mismo sentido las triazinas (simazina, atrazina y terbutilazina) se reducen pero en porcentajes menores con valores medios de 21 %, 47% y 77% respectivamente.

El biorreactor de membrana ha permitido eliminar de la línea de aguas gran parte de los compuestos organoclorados introducidos, sin embargo, no ha sido tan eficaz para la eliminación de las triazinas, el linurón, alacloro y lindano. Para determinar el mecanismo responsable de la eliminación/reducción de los contaminantes (adsorción de contaminantes en el lodo o biodegradación) habría que posteriormente, determinar la concentración de éstos en el fango.

## 6. Bibliografía

- Aileen , N. & Albert, S. K., 2007. *A mini-review of modeling studies on membrane bioreactor(MBR) treatment for municipal wastewaters*. s.l.:Desalination 212 (2007) 261–281.
- Avendaño Villafranca, L. M., 2011. *Estudio de la población de bacterias nitrificantes y su relación con los parámetros físico-químicos, biológicos y operacionales en una EDAR con sistema convencional de Fangos Activos*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia..
- Bernhard, M., Muller, J. & Knepper, T., 2006. *Biodegradation of persistent polar pollutants in wastewater: comparison of an optimized lab-scale membrane bioreactor and activated sludge treatment*.. s.l.:Water Research.
- Cicek, N. y otros, 1998. *Effectiveness of the membrane bioreactor in the biodegradation of high molecular weight*. s.l.:s.n.
- Manem , J. & Sanderson , N., 1996. *Membrane bioreactors in water treatment membrane*. s.l.:s.n.
- Mendes Predolin, L., 2015. *Sistema Híbrido UASB + MBR*. Alicante: Trabajo Fin de Máster, Universidad de Alicante.
- Prieto-Rodríguez, L., Oller, I., Klamerth, N., Agüera, A., Rodríguez, E.M. & Malato, S. 2013, "Application of solar AOPs and ozonation for elimination of micropollutants in municipal wastewater treatment plant effluents", *Water research*, vol. 47, no. 4, pp. 1521-1528.
- Robles-Molina, J., Gilbert-López, B., García-Reyes, J.F. & Molina-Díaz, A. 2014, "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*, vol. 479-480, no. 1, pp. 247-257
- Rodríguez Urioz, R., 2011. *Eliminación Biológica del Nitrógeno de un Efluente*. Trabajo Fin de Máster ed. Barcelona, España: Universidad Politecnica de Cataluña.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998. 20 ed. s.l.:American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Yang, W., Zhou, H. & Nazim, C., 2014. treatment of Organic Micropollutans in Water and Wastewater by UV-Based Processes: A Literature Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Volumen 44, pp. 1443-1476.