

# ESTUDIO DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO CON REACTOR UASB DE MEMBRANA (AnMBR) DE AGUA RESIDUAL URBANA EN LA COMUNIDAD DE MURCIA Y DE SU POTENCIAL APROVECHAMIENTO PARA REGADÍO

**AUTORES:** Alicia Gómez <sup>a</sup>, Francisco Javier Arrieta <sup>a</sup>, Francisco del Molino <sup>a</sup>, Julián Escudero <sup>b</sup>, Carlos Lardín <sup>c</sup>, Pedro Simón <sup>c</sup>, Joao Gouveia <sup>d</sup>, Thiago do Nascimento <sup>d</sup>, Mar Peña <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Departamento de I+D+i, CADAGUA S.A.

<sup>b</sup> EDAR de Jumilla, CADAGUA S.A.

<sup>c</sup> ESAMUR

<sup>d</sup> Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Valladolid

## 1.- PROBLEMÁTICA

Las ventajas que presentan los tratamientos anaerobios, frente a los convencionales de fangos activos, pasan por la reducción en la producción de lodo por una muy baja tasa de crecimiento celular, no hay consumo en energía de aeración y, además, prácticamente el 90% de la materia orgánica biodegradable se transforma en biogás rico en metano (CH<sub>4</sub>).

El lento crecimiento de la biomasa implicaría grandes volúmenes de reactor cuando se tratan aguas de baja carga y a baja temperatura. Una posible solución a este problema se presenta con el empleo de una membrana que permita la retención de la biomasa en el reactor, consiguiendo con ello independizar el tiempo hidráulico de residencia del tiempo de retención celular.

En este sentido, la tecnología AnMBR (combinación de reactor anaerobio con membrana) se presenta como una opción de tratamiento que puede ser técnica y económicamente viable en aguas urbanas de baja carga y en el rango psicrófilo de temperatura.

Por otro lado, el tratamiento anaerobio del agua residual mineraliza los compuestos de nitrógeno y fósforo lo que permite una mejor asimilación por las plantas, lo que la hace adecuada para su empleo en riego agrícola.

La búsqueda de fuentes de agua no convencionales para su empleo en regadío, pueden ayudar a disminuir las necesidades de agua dulce y, en consecuencia, la presión sobre los recursos naturales. La creciente demanda de agua dulce en el mundo para satisfacer las necesidades de crecimiento de las poblaciones, tasa de crecimiento anual aproximada del 1,2% [1], y la ausencia de gestión sostenible de los recursos, pueden afectar el suministro de agua en términos de calidad y cantidad aumentando las presiones existentes sobre los recursos naturales (acuíferos, ríos y lagos).

Según la "Propuesta de REGLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua. Bruselas (2018/0169 (COD)), se podría evitar un 5 % de la captación directa de agua mediante la reutilización de más del 50 % del volumen de agua total, disponible para el riego, procedente de instalaciones de aguas residuales en la Unión Europea (UE) [2].

En este sentido, las aguas residuales, debido a su contenido en nutrientes y materia orgánica se presentan como una fuente alternativa y fiable de agua para fines diversos [3, 2] contribuyendo a una economía circular a través del reciclado de nutrientes por sustitución de fertilizantes sólidos [4].

Otras motivaciones para su empleo pasan por ser una fuente de suministro relativamente constante y presenta beneficios económicos y medioambientales como son el menor impacto que genera cuando se compara con trasvases de agua o desalinización [5, 3, 1, 2].

Atendiendo a la protección de la salud y el medio ambiente, estas aguas regeneradas deben cumplir unos requisitos mínimos de calidad que garanticen unas condiciones adecuadas de uso. Los valores máximos admitidos para los parámetros indicados anteriormente y que determinan que la calidad final del agua sea óptima para su aplicación en riego, vienen marcados por el Real Decreto (R.D.) 1620/2007 [6], por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas con una serie de criterios de calidad en función del uso final que se le vaya a dar.

Los requerimientos en términos de calidad del agua regenerada, cuando se emplea en regadío, son más exigentes que los convencionales por lo que es necesario el empleo de tratamientos más exhaustivos y la tecnología AnMBR, debido al empleo de las membranas de ultrafiltración que permiten obtener un efluente completamente libre de sólidos en suspensión y de patógenos, puede proporcionar efluentes con la calidad demandada.

## 2.- ANTECEDENTES

Los trabajos de CADAGUA con la tecnología anaerobia para el tratamiento de agua residual urbana comienzan en el año 2008 con el proyecto “*Estudio de procesos para minimizar la producción de lodos, recuperar nutrientes y optimizar el consumo energético en el tratamiento de aguas residuales*”, subvencionado por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, Secretaría de Estado de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, con nº de referencia 281/PC08/3-04.3. Este proyecto se realizó en colaboración con el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Valladolid y tenía como objetivo, entre otros, determinar la viabilidad técnica de un tratamiento biológico anaerobio de membrana (AnMBR) tratando agua residual urbana y trabajando en condiciones psicrófilas de temperatura. La operación estable durante más de tres años de la planta piloto mostró resultados prometedores, con rendimientos de eliminación de DQO<sub>t</sub> cercanos al 87 % operando con tasas de carga volumétrica entre 2 y 2.5 kg DQO<sub>t</sub>/m<sup>3</sup>d, en cuanto al empleo de esta tecnología en el tratamiento de aguas residuales de baja carga y en condiciones psicrófilas de temperatura [7].

Un nuevo proyecto, “*Aplicación de Tecnologías Avanzadas para la Optimización Energética y de Proceso del Esquema General de Tratamiento de una Estación de Depuración de Aguas Residuales*” (IPT-2011-1078-310000, subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación) desarrollado, nuevamente, en colaboración con el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Valladolid, permitió estudiar una configuración novedosa para la tecnología AnMBR en la que el reactor UASB y las membranas están dentro del mismo reactor, ubicando estas últimas en la parte superior en lugar de estar situada en un tanque externo. La operación continua durante tres años muestra la viabilidad técnica del empleo de esta tecnología para el tratamiento de agua residual urbana en condiciones psicrófilas de temperatura trabajando, nuevamente, con cargas volumétricas en torno 1.6-2 kgDQ<sub>t</sub>/m<sup>3</sup>d y una eficiencia de eliminación de DQO<sub>t</sub> cercana al 90 %. En relación al funcionamiento de la membrana, indicar que la realización de purgas periódicas permitió su operación, durante los tres años, sin ningún lavado químico[8].

Con estos resultados tan propicios y en la búsqueda de alternativas para la producción de agua regenerada de calidad óptima para su empleo en regadío agrícola, nace el proyecto “*Estudio de la Aplicación de un Proceso Anaerobio de Membrana (AnMBR) en la EDAR de Jumilla*”, realizado en colaboración entre la Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia (ESAMUR) y la empresa CADAGUA S.A. junto con la Universidad de Valladolid, siendo el objetivo principal del mismo estudiar la viabilidad del empleo de la tecnología AnMBR en la línea principal de tratamiento de una EDAR, trabajando a temperatura ambiente y estudiando la posibilidad de reutilización del agua efluente para riego agrícola.

## 3.- DESARROLLO DEL PROYECTO

La planta piloto se instaló en la EDAR de Jumilla, provincia de Murcia, y se mantuvo en operación durante 15 meses alimentándose, a través de un depósito pulmón intermedio, con agua residual procedente del desarenador que presentó las siguientes características:

Tabla 1.- Caracterización del agua influente a la planta piloto

Parámetro	DQO <sub>t</sub> (mg/L)	DQO <sub>s</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	pH	Alcalinidad (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	AGV (mg/L)	N <sub>T</sub> (mg/L)	NH <sub>4</sub> -N (mg/L)
Promedio ± Desviación Estándar	1729 ± 914	372 ± 149	964 ± 707	675 ± 651	8,2 ± 0,3	726 ± 141	100 ± 80	175 ± 106	56 ± 12

Este periodo de operación permitió cubrir las variaciones estacionales tanto de carga como de temperatura, variando esta última entre 10 y 28 °C, que se producen en la EDAR y analizar su efecto tanto en el proceso biológico como en la producción final de metano.

La planta piloto con la que se llevó a cabo la experimentación dispone de un reactor UASB y módulo de membrana de ultrafiltración sumergida, ubicado en la parte superior del mismo, con un volumen total de unos 475 L siendo los elementos fundamentales que la componen los siguientes:

- Reactor biológico anaerobio: Reactor de lecho fluidizado UASB con un volumen de 318 L, incluyendo campana para recogida de biogás.
- Módulo de membrana: Módulo en el que están ubicadas dos membranas de fibra hueca de U.F. (modelo Zeweed 10 de General Electric), de 0,045 µm micras con una superficie de filtración por membrana de 0,93m<sup>2</sup>.
- Sistema automático de recogida del biogás generado.
- Bombas peristálticas para la alimentación al reactor UASB, filtrado y contralavado de la membrana y recirculación desde la zona del módulo de membrana a la zona del reactor UASB.
- Válvulas para la toma de muestras a lo largo del reactor UASB y en la zona de la membrana y termopares para el control de la temperatura.
- Compresores para la inyección de biogás en la zona de membranas como mecanismo para el control del ensuciamiento.

- Depósito de recogida del efluente.
- Instrumentación y sistema de control.



Figura 1.- Vista general de la Planta Piloto

La investigación se centró en tres aspectos principales:

- Estudiar la evolución del proceso biológico frente a variaciones en la temperatura, tiempo de residencia hidráulico, cargas volumétricas y másicas y su efecto tanto en la eliminación de materia orgánica como en la producción de metano, mediante el seguimiento tanto de los principales parámetros de operación, como son temperatura y presión transmembrana, como un seguimiento analítico de los aspectos básicos del proceso biológico tales como DQO, SST/SSV,  $N_{total}$ ,  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4^+$  y producción y composición del biogás.
- Evaluación de la presión de filtrado y contra-lavado como parámetros fundamentales de seguimiento del ensuciamiento de las membranas, ya que la efectividad del proceso puede verse afectada por el mismo. Se han empleado dos métodos de control para intentar minimizar el posible ensuciamiento, por un lado se ha operado con ciclos de filtrado/contra-lavado determinados y, por el otro, se ha mantenido un caudal de biogás de recirculación continuo con velocidades comprendidas entre 5 y 14 m/h.
- Análisis de los parámetros marcados por el Real Decreto 1620/2007 que determina los valores máximos admisibles para estos parámetros en función de la aplicación posterior del agua regenerada. En nuestro caso, se seguirán aquellos valores indicados para el agua de riego agrícola: “Calidad 2.12 a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco” [6].

## 4.- RESULTADOS OBTENIDOS

El reactor anaerobio se inoculó con fango procedente de un reactor anaerobio mesofílico de una industria cervecera de la zona y estuvo operando en continuo, salvo paradas puntuales para limpieza y mantenimiento. Se comenzó la operación con una carga volumétrica de 1 kg DQO<sub>t</sub>/m<sup>3</sup>d y se fue incrementando el caudal hasta reducir el Tiempo de Residencia Hidráulico (TRH) a valores óptimos para un proceso de estas características, comprendidos entre 6 y 8 horas.

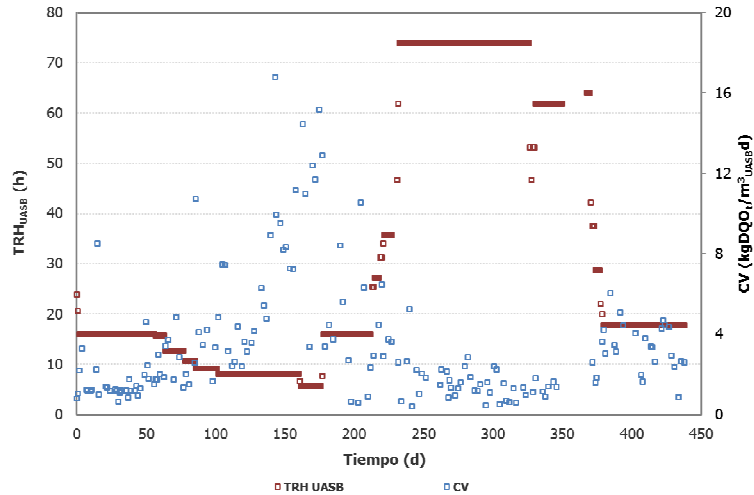


Figura 2.- Evolución de la carga volumétrica y del tiempo de residencia hidráulico

Un seguimiento de la DQO<sub>t</sub> y la DQO<sub>s</sub> a lo largo del proyecto nos dan una idea de la eficacia del proceso de depuración frente a la eliminación de materia orgánica presente en el agua.

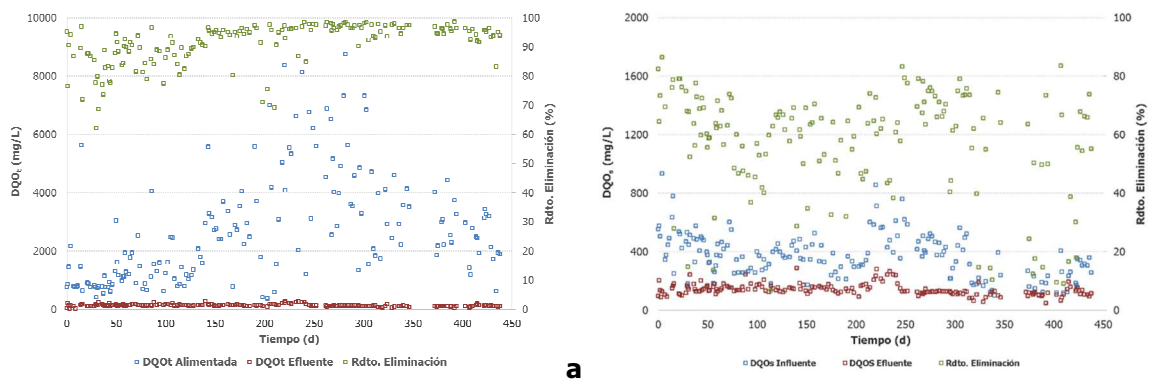


Figura 3.- Evolución de la DQO<sub>t</sub> (a) y DQO<sub>s</sub> (b) en la planta piloto AnMBR

Los valores de eliminación alcanzados están en torno al 60 % para la DQO<sub>s</sub>, relacionado principalmente con el proceso biológico, y en torno al 80-90 % para el caso de la DQO<sub>t</sub> debido, además del proceso biológico, a la retención física de la materia efectuada por las membranas. Los rendimientos de eliminación se han mantenido prácticamente constantes aun cuando se han producido variaciones en las condiciones de operación, debido a la presencia de la membrana.

Otro parámetro de seguimiento del correcto funcionamiento del proceso biológico es la producción de biogás relacionada directamente con la temperatura de operación, en la medida en que esta influye directamente en el desarrollo de las reacciones biológicas.

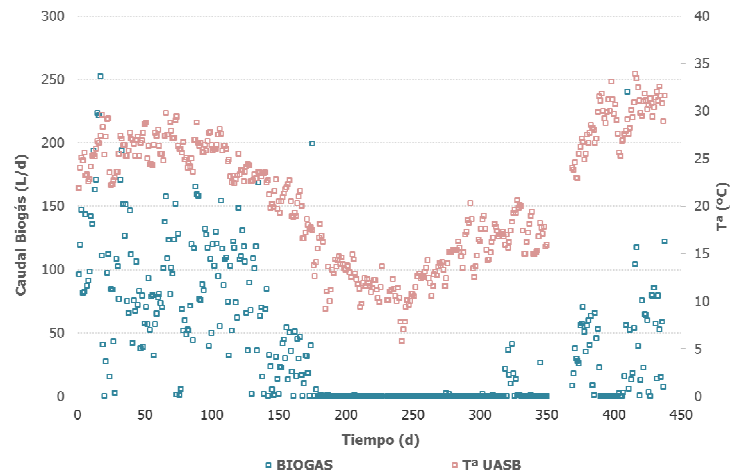


Figura 4.- Evolución de la producción de biogás

Una vez que comienza el período de bajas temperaturas, se deja de registrar producción de biogás debido, principalmente, a que todo el biogás generado se queda disuelto en el agua. La composición media del biogás, que se muestra en la siguiente tabla, es la esperada para el tratamiento anaerobio de un agua residual urbana.

Tabla 2.- Composición del biogás

CO <sub>2</sub> %	H <sub>2</sub> S %	O <sub>2</sub> %	N <sub>2</sub> %	CH <sub>4</sub> %
10,9±2,9	0,25±0,1	2,6±1,4	20,7±4,1	65,4±6,9

En relación al control del ensuciamiento de las membranas, se comenzó el proyecto con una Presión Trans-Membrana (PTM) del orden de 100 mbar. Al ir incrementando el caudal, la PTM asciende hasta valores de 800 y lo hace con una velocidad de ensuciamiento muy elevada. Posteriormente, la velocidad de ensuciamiento decrece y se mantiene relativamente estable para unos valores de PTM promedios de 800 mbar, manteniéndose en este valor hasta alcanzar los 350 días de operación, momento en el que se realiza una limpieza de las membranas con el objetivo de recuperar su permeabilidad.

La presencia de nutrientes que ayuden al desarrollo de los cultivos es uno de los motivos para el empleo del agua regenerada en riego agrícola. El tratamiento anaerobio del agua residual mineraliza los compuestos de nitrógeno y fósforo, lo que permite una mejor asimilación por las plantas. Durante la investigación se observó un incremento del nitrógeno amonificado con valores entre el 15 y el 45 % en función de la temperatura de operación.

Por último, la viabilidad del empleo del efluente de la planta piloto para uso agrícola, se determinó a través del cumplimiento con los criterios de calidad establecidos en el R. D. 1620/2007 para la reutilización de las aguas según sus usos, eligiendo como referencia la calidad más restrictiva, aquella en la que el agua se podría utilizar para riego con contacto directo de las partes comestibles para alimentación humana. Se cumplieron con todos los parámetros de control en relación al análisis microbiológico (Nematodos Intestinales, Legionella, Salmonella y Scherichia Coli) y a los sólidos en suspensión.

La turbidez presenta valores muy por encima del límite marcado en el R.D.; ya que el agua se está filtrando a través de una membrana de ultrafiltración, no tiene materia en suspensión por lo que se piensa que los valores de turbidez son debidos a las microburbujas de biogás que se forman en el proceso de agitación de las muestras.

La concentración de sales en el agua, en concreto la relación entre los iones de sodio frente al contenido de calcio y magnesio, pueden afectar al suelo y a los cultivos en la medida en que pueden reducir la velocidad de infiltración del agua de riego deteriorando la estructura del suelo y evitando que el agua circule con facilidad. La concentración de sales presentes en el agua se determina a través de la conductividad y la relación entre iones la marca la Relación de Adsorción de Sodio (R.A.S.). Los análisis realizados ofrecen valores de estos parámetros dentro de los límites marcados por la normativa.

Finalmente, y en relación a la presencia de metales pesados en el influente, se han evaluado aquellos que están indicados en la normativa de reutilización (R.D. 1620/2007), observándose que no se supera el valor límite para ninguno de ellos.

## 5.- CONCLUSIONES

La viabilidad técnica de la tecnología viene marcada por dos factores principalmente: la temperatura y el ensuciamiento de las membranas. Con respecto a la temperatura, cuando alcanza valores inferiores a 15 °C la actividad biológica se reduce afectando negativamente a la degradación de materia orgánica y a la producción de biogás. En relación al funcionamiento de la membrana, viene marcado significativamente por el ensuciamiento que produce la presencia de elevadas cantidades de sólidos en el reactor que llevan a un aumento de la PTM y hacen más difícil la operación de la instalación. Técnicas de control de ensuciamiento y purgas periódicas pueden ser útiles para disminuir la necesidad de limpieza de las membranas.

En cuanto a la calidad del permeado y su posible aplicación en suelo agrícola, la planta piloto cumple con los requerimientos de calidad exigidos en el R.D. 1620/2007 para su uso agrícola en la calidad más restrictiva de las tres especificadas.

## 6.- AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Valladolid por su contribución a la realización de este trabajo.

A la Entidad de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia (ESAMUR) por su contribución a la realización de este trabajo y del artículo: "*Anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR) treating municipal wastewater at ambient temperature: Operation and potential use for agricultural irrigation* (Bioresource Technology 282 (2019) 285-293)" donde se muestra una información más detallada de los resultados de este proyecto.

## 7.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Winpenny, J., Heinz, I. y Koo-Oshima, S. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficio para todos?* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma 2013. Informe sobre Temas Hídricos. FAO. ISSN 1020-1556.
- [2] Comisión Europea. Propuesta de REGLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua. Bruselas, 28.5.2018 COM (2018) 337 final. 2018/0169 (COD).
- [3] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. *Aguas Residuales. El Recurso desaprovechado*. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. ISBN 978-92-3-300058-2.
- [4] Comisión Europea. COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES. Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular. COM(2015) 614 final.
- [5] Baeza Cano, R. y Segura Pérez, M.L. *Utilización de Aguas Residuales Regeneradas en el Riego de Cultivos: una necesidad y una solución*. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca.
- [6] Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- [7] Gouveira, J., Plaza, F., Garralón, G., fdz-Polanco, F. y Peña, M. (2015). *Long-term operation of a pilot scale anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for the treatment of municipal wastewater under psychrophilic conditions*. Bioresource Technology 185 (2015) 225-233.
- [8] Gouveira, J., Plaza, F., Garralón, G., fdz-Polanco, F. y Peña, M. (2015). *A novel configuration for an anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR). Long-term treatment of municipal wastewater under psychrophilic conditions*. Bioresource Technology 198 (2015) 510-519.