

Humedal de flujo superficial con Macrófitas en Flotación para la mejora de la calidad del efluente de un tratamiento SBR.

Farrés Coma, Meritxell¹; Martí Bosch, Marta¹; Peña García, María²; Granés Kleber, Xesco¹; Belda Navarrete, Jesús³

¹Companyia General d'Aigües de Catalunya | www.aigües.cat ▪ ²Global Omnium | www.globalomnium.com ▪ ³Consorci Besòs-Tordera | www.besos-tordera.cat

ABSTRACT

Los humedales construidos son soluciones basadas en la naturaleza eficaces para el tratamiento de aguas residuales. En este estudio se ha analizado la eficacia de un Humedal de flujo superficial con Macrófitas en Flotación (HMF) que funciona como tratamiento de afino para la reducción de la concentración de Sólidos en Suspensión (SS) en el efluente de un tratamiento biológico SBR. En concreto, dicho humedal, basado en la planta macrófita *Typha domingensis*, ha logrado disminuir los niveles de SS elevados presentes en el efluente derivados de episodios puntuales de escape de lodos o excesiva presencia de sobrenadantes en los reactores biológicos, llegándose a eliminar algunos meses totalmente el tiempo de extracción con puntas de $SS \geq 35$ ppm del agua tratada de la EDAR.

INTRODUCCIÓN

Los *Sequencing Batch Reactors* (SBR) son sistemas de tratamiento basados en fangos activados, operados en una secuencia de ciclos de llenado y extracción, donde los procesos de aireación y sedimentación tienen lugar consecutivamente en el mismo tanque (Mace y Mata-Alvárez, 2002). Los SBR son sistemas flexibles y eficaces, con una buena adaptación a variaciones de contaminantes en el influente (Mace y Mata-Alvárez, 2002; Steinmetz et al., 2002).

Sin embargo, la presencia de aceites y grasas, pH bajos y las disminuciones drásticas en la temperatura, pueden generar situaciones de inestabilidad en los reactores biológicos que favorecen el crecimiento y la proliferación de bacterias filamentosas (principalmente *Microthrix parvicella*), en detrimento de las bacterias libres floculantes, dando lugar a problemas de bulking y/o foaming (Jiménez, J. et al., 1998).

Estos episodios provocan un esponjamiento de los fangos, causando una acumulación de fangos en la superficie del reactor, con la presencia de una capa que puede generar un aumento puntual de Sólidos en Suspensión (SS) en el efluente durante los primeros minutos del ciclo de extracción para la evacuación de agua tratada, o cuando se produce una aspiración del fango abultado al final del ciclo de extracción.

En la EDAR La Roca del Vallès, gestionada por la administración local del agua del Consorcio Besòs Tordera y operada por Aigües de Catalunya, en la que se daba esta problemática de escapes de sólidos, se ha recurrido a una solución basada en la naturaleza para resolverla.

Los humedales artificiales han demostrado ser sistemas eficaces de depuración de aguas residuales (Jenssen et al., 1993; Vymazal, 2010). Además de caracterizarse por sus efluentes clarificados (Alemu et al., 2016; Benvenuti et al., 2018; Hadad et al., 2006), presentan unos costes energéticos y de operación más reducidos y un menor impacto ambiental que los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales (Benvenuti et al., 2018; Vymazal, 2010). Los humedales artificiales de flujo superficial con macrófitas en flotación (HMF) además se distinguen por su facilidad de aplicación sobre la superficie de reactores (Torres Junco y Rodríguez., 2005).

Las plantas del género *Typha*, en concreto la *T. domingensis*, presentan buenos resultados de eliminación de contaminantes (Hadad et al., 2006) y una buena capacidad de adaptación a distintas condiciones ambientales (Torres-Junco y Rodríguez, 2005; Hadad et al., 2009).

Por ello, en esta EDAR, se ha transformado uno de los reactores SBR en reserva en un HMF, vegetado por *T. domingensis*, para reducir la concentración de sólidos en suspensión del efluente de los SBR en uso. Esta actuación se ha implementado sin reducir la capacidad de tratamiento de la EDAR, al contar ésta con cuatro reactores biológicos de los cuales, en operación normal únicamente se trabaja con dos de ellos.

El análisis del rendimiento de reducción de SS ha permitido evaluar la eficiencia técnica de este tratamiento de afino económicamente viable y ambientalmente sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se ha llevado a cabo durante tres años en la EDAR la Roca del Vallès (Barcelona).

La EDAR, en funcionamiento desde abril 2007, da servicio a una población de diseño de 48.000 h.e. Recibe las aguas residuales urbanas e industriales de los municipios de Cardedeu, Llinars del Vallès y una parte de La Roca del Vallès y Sant Antoni de Vilamajor, con un caudal promedio diario de 9.347 m³/día, y entrega las aguas depuradas al río Mogent.

Esta EDAR dispone de 4 reactores SBR, de los cuales están en funcionamiento dos. Cada SBR dispone de un sistema de extracción del agua tratada que consiste en un decanter (flotador hidráulico, Figura 1) que evacúa el agua superficial del reactor hacia la arqueta de salida de la EDAR al río.

En episodios de existencia de sobrenadantes en los reactores biológicos, cuando baja el decanter (Figura 2), parte de este sobrenadante puede salir al cauce. También puede darse una aspiración de SS en los últimos momentos de la extracción, cuando hay esponjamiento del fango.

Todo esto podría llegar a generar en ocasiones dificultades para cumplir los límites de vertidos de SS, de 80 ppm para muestras puntuales y de 35 ppm para muestras integradas de 24 horas.



Figura 1. Decanter (flotador hidráulico) en condiciones normales de los reactores.



Figura 2. Capa de fangos en el reactor biológico generada por bulking.

Para poder mejorar la calidad del efluente de la EDAR, en uno de los SBR de reserva se ha instalado un HMF, vegetado por *T. Domingensis*, con una densidad de 20 plantas/m². Para desviar parte del agua de salida de los dos SBR en uso al HMF ha sido necesario instalar las correspondientes canalizaciones, así como la instalación y automatización de una compuerta de guillotina para la entrada de agua al HMF y una compuerta para la salida de agua del HMF hacia la arqueta de salida de la EDAR. También se han instalado protecciones para los equipos fijos presentes previamente en el reactor (agitadores y bombas).

En lo que respecta a la instrumentación, se instalaron sondas de SS en las arquetas de salida de los reactores biológicos en uso, para detectar cuándo es necesaria la desviación del efluente de los reactores biológicos hacia el HMF. Asimismo, se instaló una sonda de turbidez en la arqueta de salida de la EDAR para controlar la calidad del efluente final que sale al cauce.

El HMF es alimentado por el agua evacuada de los SBR en uso durante los primeros minutos de la extracción del efluente. Asimismo, también se activa la entrada de agua al HMF, cuando las mencionadas sondas de sólidos detectan concentraciones de SS > 10 ppm durante el ciclo de extracción. Una vez en el HMF, el agua pasa a través de las raíces y rizomas de las plantas macrófitas en flotación. Cuando los reactores biológicos están en la fase de sedimentación, empieza la extracción del agua afinada del HMF a través del decanter hacia la arqueta de salida de la EDAR, realizándose también una recirculación interna de fangos hacia cabecera del HMF, para homogeneizar el nivel del fango en el fondo del reactor.

Asimismo, se realiza la monitorización de la altura del fango en el fondo del reactor para controlar su nivel y evitar así su acumulación. En caso necesario se purga fango hacia el espesador. También se controla la transparencia de la columna de agua del reactor con un Disco de Secchi, todo ello con una periodicidad semanal.

El mantenimiento del HMF es reducido y consiste principalmente en el seguimiento periódico del estado de las plantas y la realización de dos tratamientos anuales para la prevención de plagas y un abonado foliar, ya que, al tratarse de un tratamiento terciario, el agua que alimenta el HMF puede tener carencia de nutrientes. En general, no se requiere de poda de las plantas, pero sí un seguimiento de las mismas en los bordes de la estructura, para evitar que la biomasa aérea invada la zona de extracción del agua tratada.

El tratamiento de los datos de las sondas ha permitido obtener resultados de la eficacia del sistema. Se ha determinado la capacidad de captura de SS del HMF (C_{HMF}), calculando la diferencia entre el tiempo de extracción de agua con $SS \geq 35$ ppm de los reactores biológicos (S_{35}) y de la EDAR (T_{B35}), respecto al primero:

$$C_{HMF} = \frac{(S_{35} - TB_{35})}{S_{35}} * 100$$

C_{HMF} = Capacidad de captura de puntas de SS del HMF (%).

S_{35} = Tiempo de extracción de agua de los reactores biológicos con $SS \geq 35$ ppm (minutos).

T_{B35} = Tiempo de evacuación del efluente de la EDAR con $SS \geq 35$ ppm (minutos).

También se ha calculado la ratio (R_{35}) entre el tiempo de extracción del efluente de la EDAR con $SS \geq 35$ ppm y el tiempo total de extracción del efluente de la EDAR (T_E):

$$R_{35} = \frac{TB_{35}}{T_E} * 100$$

R_{35} = Ratio entre el tiempo de extracción con $SS \geq 35$ ppm respecto al tiempo total de extracción del efluente de la EDAR (%).

T_E = Tiempo total de extracción del efluente de la EDAR (minutos).

T_{B35} = Tiempo de extracción del efluente de la EDAR con $SS \geq 35$ ppm (minutos).

Además, se han determinado semanalmente las concentraciones de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) en la entrada y salida del HMF, siguiendo métodos estandarizados (APHA, 2017).

Debe señalarse que, a pesar de que el HMF está en funcionamiento desde septiembre 2018 (Figura 3), los primeros meses fueron de adaptación, ajuste del sistema y crecimiento de las plantas. Se considera que el sistema alcanzó la madurez suficiente para el afino del agua a partir de junio de 2019 (Figura 4), y por ello se han descartado los datos de SS recopilados durante los meses de adaptación.



Figura 3. Instalación del HMF.



Figura 4. HMF maduro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de evaluar la eficacia del HMF se ha realizado una comparativa del tiempo de extracción con $SS \geq 35\text{ppm}$ en el efluente de la EDAR respecto al tiempo total de extracción del efluente de la EDAR, entre el período comprendido entre mayo de 2017 y abril de 2018 (período previo a la instalación del HMF del que se dispone de datos, Tabla 1), y el año 2020 (Tabla 2), cuando el sistema se considera maduro.

Previo HMF	TB ₃₅ (min)	T _E (min)	R ₃₅ (%)
may-17	79	16.182	0,49
jun-17	91	20.205	0,45
jul-17	78	21.117	0,37
ago-17	3	21.852	0,01
sep-17	100	21.424	0,47
oct-17	35	21.857	0,16
nov-17	18	20.724	0,09
dic-17	936	21.787	4,30
ene-18	120	21.434	0,56
feb-18	168	19.972	0,84
mar-18	157	21.573	0,73
abr-18	5	13.572	0,04
TOTAL:	1790	PROMEDIO:	0,71

Tabla 1 Variación de la R₃₅ mensual, de mayo 2017 a abril 2018 (período previo a la entrada en funcionamiento del HMF).

HMF maduro	TB ₃₅ (min)	T _E (min)	R ₃₅ (%)
ene-20	30	32.630	0,09
feb-20	119	31.491	0,38
mar-20	133	32.630	0,41
abr-20	0	34.771	0,00
may-20	105	34.110	0,31
jun-20	56	30.380	0,18
jul-20	0	32.452	0,00
ago-20	8	33.993	0,02
sep-20	0	33.617	0,00
oct-20	0	34.841	0,00
nov-20	0	34.405	0,00
dic-20	0	36.018	0,00
TOTAL:	451	PROMEDIO:	0,12

Tabla 2. Variación de la R₃₅ mensual de la EDAR en 2020 (período de funcionamiento del HMF maduro).

Se puede observar que, pese a que la R₃₅ de partida en 2017-2018 era baja (R₃₅ = 0,71%), ha habido una disminución de la R₃₅ en 2020, llegando al 0,12%. Es importante destacar que, en números absolutos, ha habido una reducción del tiempo de extracción con $SS \geq 35\text{ppm}$ superior al 70%, pasando de un total de 1790 minutos en 2017-2018 a 451 minutos en 2020.

Además, es importante destacar que la gestión de la EDAR con el HMF en funcionamiento ha permitido una mayor laminación del efluente final, incrementando en más de 60% el tiempo de extracción durante el año 2020 con respecto al año 2017, lo que es beneficioso para el cauce receptor ya que hay un flujo más constante de agua vertida a cauce, reduciendo el impacto generado por las extracciones intermitentes, características de los SBR.

En lo que respecta a la evolución de la C_{HMF} desde junio de 2019 hasta diciembre de 2020 (Tabla 3), período en el que se trató en el HMF 1.063.677 m³, un 22% del caudal total tratado en la EDAR, los resultados obtenidos indican una alta captura de puntas de sólidos, en concreto del 96%. Además, conforme aumenta la madurez del sistema, mayor es el valor de C_{HMF} , pasando del 92% en 2019 al 98% en 2020.

	S_{35} (min)	TB_{35} (min)	C_{HMF} (%)
jun-19	22	7	68
jul-19	113	4	96
ago-19	8	1	88
sep-19	166	0	100
oct-19	64	1	98
nov-19	22	0	100
dic-19	1941	66	97
ene-20	1451	30	98
feb-20	1423	119	92
mar-20	4521	133	97
abr-20	512	0	100
may-20	3765	105	97
jun-20	4631	56	99
jul-20	400	0	100
ago-20	1137	8	99
sep-20	559	0	100
oct-20	274	0	100
nov-20	553	0	100
dic-20	390	0	100
	PROMEDIO		96

Tabla 3. Variación de la C_{HMF} mensual, de junio de 2019 a diciembre de 2020 (período de madurez del sistema).

Como se puede observar en las tablas 2 y 3, durante los últimos meses de 2020, desde septiembre hasta diciembre, no hubo ninguna punta de SS \geq 35ppm ($TB_{35}=0$).

Resulta interesante también mostrar el análisis estacional de los resultados obtenidos (Figura 5), ya que en invierno y otoño hay mayor frecuencia de episodios de poca compactación de los lodos de los SBR, debido a una mayor proliferación de bacterias filamentosas por la disminución de la temperatura ambiental.

El análisis estacional muestra una reducción de la R_{35} durante todas las épocas del año, pero debe destacarse especialmente la disminución de la R_{35} durante los meses de otoño, pasando del 1,54%, previamente a la implantación del HMF, al 0,03%, con el HMF en pleno funcionamiento (sistema maduro).

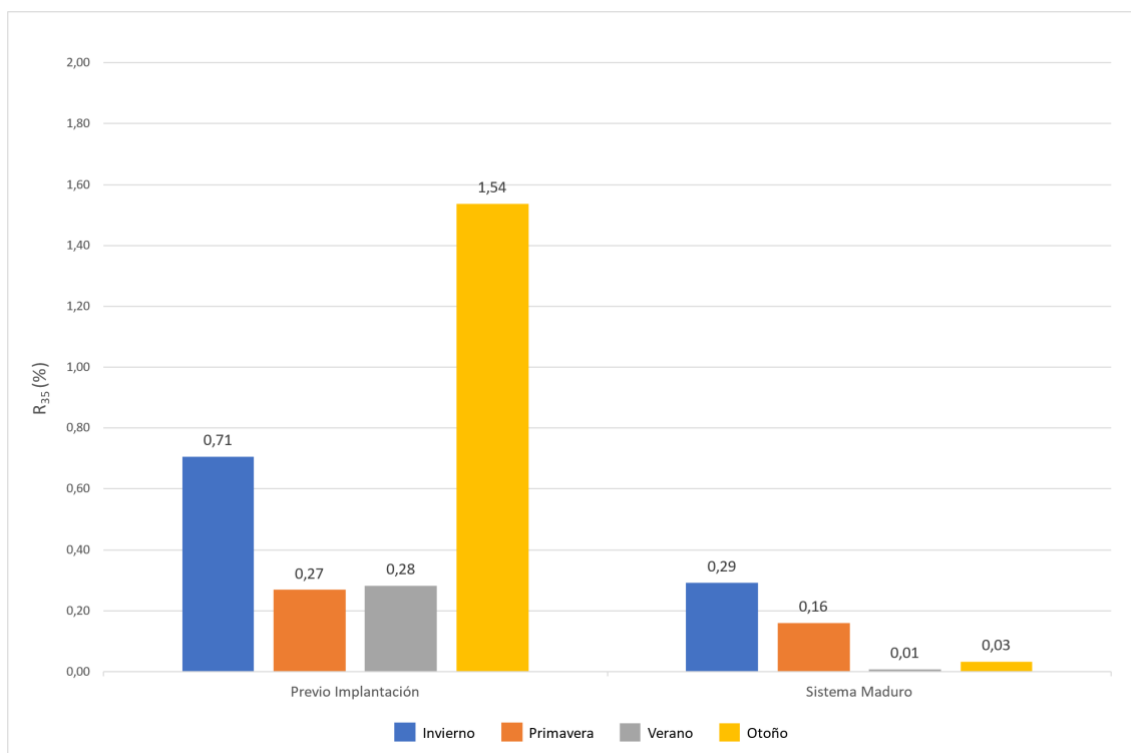


Figura 5. Variación de la R_{35} de la EDAR analizada de forma estacional. Invierno (enero, febrero y marzo), primavera (abril, mayo y junio), verano (julio, agosto y septiembre) y otoño (octubre, noviembre y diciembre) durante el período previo a la implantación del HMF (de mayo de 2017 a abril de 2018) y durante el funcionamiento del HMF con el sistema maduro (a partir de junio 2019).

Además, a pesar de las bajas cargas de nutrientes recibidas, el HMF también es capaz de reducir las concentraciones de NT y PT, asociadas principalmente a los SS, en el efluente final, con valores de eliminación medios, respecto a las concentraciones de entrada al HMF, del 30% en el caso del NT y el 56% para el PT, en el año 2020.

Energéticamente, el consumo total medio del funcionamiento del HNF es inferior a 10 kWh al día. Este consumo es el relativo a las compuertas automáticas, las bombas de extracción, la recirculación de fangos y una pequeña aireación puntual para homogenizar la capa de fangos en el fondo del reactor. Esto supone solamente un 0,3% aproximadamente del consumo total de la EDAR.

CONCLUSIONES

En resumen, el HMF ha permitido dar una respuesta exitosa al reto planteado de mejora del aseguramiento de la calidad del efluente de la EDAR. En este sentido, a pesar de que la ratio (R_{35}) entre el tiempo de extracción con $SS \geq 35$ ppm respecto al tiempo total de extracción del efluente de la EDAR era baja, el HMF en su período de funcionamiento maduro ha logrado reducir considerablemente dicha ratio.

Además, hay una buena tendencia en el funcionamiento del HMF, aumentándose la capacidad de captura (C_{HMF}) de puntas de SS en 2020 respecto a 2019. Pese a que el objetivo principal del HMF es amortiguar las puntas de SS en el efluente de la EDAR, también se ha observado una reducción de las concentraciones de nutrientes (NT y PT) en el efluente del HMF. Por lo tanto, el HMF contribuye a una mejora del sistema de eliminación de nutrientes.

El HMF es una solución basada en la naturaleza y con costes de mantenimiento y energéticos bajos. Es un sistema funcional, reversible y adaptado a la instalación existente y a los recursos disponibles.

El reto futuro es seguir profundizando en los procesos fisicoquímicos y bioquímicos de todo el sistema HMF para seguir implantándolo en otras instalaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a Diego Rey, de la empresa Arcadia Ingeniería, por su asesoramiento técnico y ayuda.

BIBLIOGRAFÍA

- Alemu, T., Lemma, E., Mekonnen, A., Leta, S. (2016). Performance of Pilot Scale Anaerobic-SBR System Integrated with Constructed Wetlands for the Treatment of Tannery Wastewater. *Environmental Processes* 3: 815-27.
- APHA-AWWA-WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd ed.; American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Benvenuti, T., Hamerski, F., Giacobbo, A., Bernardes, A. M., Zoppas-Ferreira, J., Rodrigues, M. A. S. (2018). Constructed floating wetland for the treatment of domestic sewage: A real-scale study. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6: 5706-11.
- Hadad, H. R., Maine, M. A., Bonetto C. A. (2006). Macrophyte growth in a pilot-scale constructed

wetland for industrial wastewater treatment. *Chemosphere* 63: 1744-53.

Hadad, H. R., Mufarrege, M. M., Pincioli, M., Di Luca, G. A., Maine, M. A. (2009). Morphological response of *typha domingensis* to an industrial effluent containing heavy metals in a constructed wetland. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 58: 666-75.

Jenssen, P. D., Maehlum, T., Krogstad, T. (1993). Potential Use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Northern Environments. *Water Science and Technology* 28: 149-57.

Jiménez, J., Albors, E., Sánchez, A. V., Belenguer, F., Ripoll, I., Landete, E., Avellana, A. (1998). *Microbiología de la Depuración mediante Fangos Activados*. EGEVASA, Diputació de València.

Mace, S., Mata-Alvarez, J. (2002). Utilization of SBR technology for wastewater treatment: An overview. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 41: 5539-53.

Steinmetz, H., Wiese, J., Schmitt, T. G. (2002). Efficiency of SBR technology in municipal wastewater treatment plants. *Water Science and Technology* 46: 293-299.

Torres-Junco, V. J., Rodríguez, A. S. (2005). Filtro de Macrofitas en Flotación. *Sistema FMF*.

Vymazal, J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water* 2: 530-549.