

“Seguimiento de la microfauna del fango activo en la EDAR de La Golondrina (EMACSA-Córdoba)”

Autores: R. Marín Galvín y Francisco Javier Rojas Moreno

Control de Calidad, Calidad y Medio Ambiente

Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A. C/De los Plateros, 1; 14006-Córdoba (España); Tfn.: 957.22.25.27; E-mail: rmargal@emacsa.es

Introducción

La EDAR La Golondrina de Córdoba (1.991) depura la casi totalidad del agua residual urbana (doméstica e industrial) de la ciudad de Córdoba. La EDAR, con un caudal máximo de diseño de 108.000 m³/día, es una planta convencional con depuración biológica por fangos activos, dotada de selectores anaerobios a la entrada del tratamiento biológico para eliminación de microorganismos filamentosos que provocarían problemas de “*floaming*” o “*bulking*” en el proceso depurador. La línea de tratamiento puede esquematizarse como sigue:

- Tamizado en dos niveles.
- Desengrasado-desarenado.
- Decantación primaria sin adición de reactivos.
- Tratamiento biológico: selectores anaerobios seguidos de aireación.
- Decantación secundaria.
- Recirculación de fangos.
- Primera deshidratación de fangos mediante flotación y espesamiento.
- Segunda deshidratación de fangos mediante adición de polielectrolito y centrifugado.
- Gestión de fangos mediante su destino a compostaje.

Existen seis balsas de aireación idénticas con un volumen total de 21.000 m³, estando acondicionada la parte inicial de cada balsa (24,2 % sobre total) para actuar como *selector anaerobio* a fin de limitar la incidencia de filamentos y sus negativas consecuencias en el tratamiento biológico.

Dada la relación existente en cualquier EDAR biológica entre rendimientos de depuración prácticos y estado y calidad del fango activo depurador, se ha procedido a recopilar los datos de control de la EDAR y rendimientos de depuración obtenidos en la misma a lo largo de un año (junio de 2.005 a mayo de 2.006). Comparando estas series de datos se ha intentado obtener información de carácter práctico sobre la relación entre composición del fango activo y rendimientos obtenidos en la EDAR.

Métodos

El muestreo de aguas residuales de entrada a la EDAR, aguas depuradas (muestras integradas durante 24 h) y fangos activos se llevó a cabo en días laborables. Los sets de datos presentados corresponden a las medias aritméticas obtenidas semanalmente. Las técnicas

aplicadas para caracterización de las aguas residuales fueron las habituales en control de calidad de aguas residuales.

El seguimiento de la microfauna del fango activo del biológico de la EDAR se realizó tomando muestras de fango de cada una de las seis balsas de aireación disponibles alternadamente y vía observación directa mediante microscopio óptico de contraste de fases de hasta 100 aumentos. Se determinan el recuento total de la microfauna y el de protozoos y metazoos del fango (expresados en % sobre total) organizados por grupos funcionales. La tabla-1 presenta un ejemplo del seguimiento práctico del fango activo llevado a cabo en la EDAR.

Tabla-1

| REFERENCIA DE LA MUESTRA: | | BALSA 6 | FECHA Y HORA: | 19.09.05 |
|---------------------------|-----------------------------|------------|------------------------------|-----------|
| ASPECTO/COLOR/OLOR | CARACTERIZACION DEL FLOCULO | | MICROORGANISMOS FILAMENTOSOS | |
| Marrón | Forma | Redonda | Criterio de abundancia | |
| | Consistencia | Firme | Categoría numérica | 3 |
| | Estructura | Compacta | Descripción | |
| | Tamaño | Medio | Filamento dominante | Thiothrix |
| CLARIFICADO | Diversidad bacterianas | Baja | Filamento secundario | |
| | Crecimiento disperso | | Otros filamentos | |
| | Fibras orgánicas | | | |
| | Partículas inorgánicas | | | |
| | Colonias de Zooglea spp. | | | |
| Limpio | Bacterias helicoidales | Abundancia | Efecto sobre el flóculo | |

| RECUENTO DE LA MICROFAUNA | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|----------------|--------------------------------------|------------------|
| DENSIDAD TOTAL (nº individuos/l) | | 10,4 X 1000000 | | |
| DIVERSIDAD (nº unidades taxonómicas) | | 13 | | |
| PEQUEÑOS FLAGELADOS | | F<10 (3) | | |
| GRUPOS FUNCIONALES | UNIDADES | | DENSIDAD | GRUPO |
| (Protozoos y Metazoos) | TAXONOMICAS | | (nº individuos/l) | (%) FUNCIONAL(%) |
| Ciliados nadadores bacteriofagos | | | | |
| Cil. reptantes o móviles de fondo | Euplores Patella | | 0,5 | |
| | Acineria Uncinata | | 9,2 | 13,1 |
| | Aspidisca Cicada | | 3,4 | |
| Ciliados sésiles o pedunculados | Vorticella Aquadulcis | | 36,7 | |
| | Vorticella Convallaria | | 3,4 | |
| | Opercularia | | 29,5 | 71 |
| | Vorticella microstoma | | 1,4 | |
| Ciliados nadadores carnívoros | | | | |
| Ciliados suctores | Acineta Tuberosa | | 3,9 | |
| | Podophrya Fixa | | 1,4 | 5,3 |
| Grandes flagelados | Gen. Peranema | | 1 | 1 |
| Rizópodos: Tecamebas | Arcella Vulgaris | | 6,8 | 6,8 |
| Metazoos: Rotíferos | Gen. Rotaria | Gen. Notommata | 2,4 -0,5 | 2,9 |
| | Nematodos | | | |
| RELACION REPTANTES/SESIL | 0,18 | | | |
| INDICE BIOTICO DEL FANGO | 10 | | Categoría/Clase Fango (Mét. Madoni): | I |

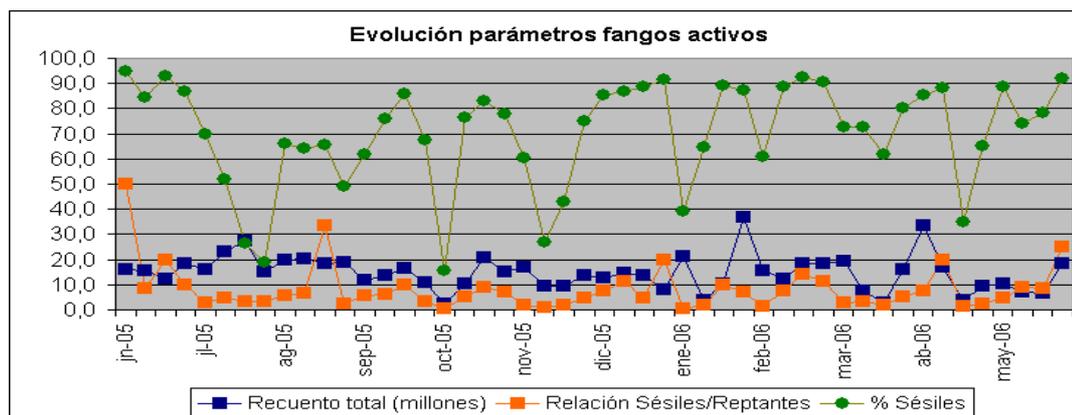
De los datos anteriores se obtuvo la relación “*C. reptantes/C. sésiles*” (o su inverso, indicador de la buena calidad del fango activo), estableciéndose asimismo el índice biótico del fango y la categoría del fango según el criterio de Madoni. Finalmente, se procedió a la investigación de los microorganismos filamentosos, determinando el tipo de filamento o filamentos dominantes y su categoría numérica.

Resultados

Investigación microbiológica del fango activo

Y se ha dicho que la idoneidad del fango activo, tanto en calidad como en cantidad, garantizará a priori unos rendimientos adecuados de depuración, así como una correcta explotación de la planta. El primer parámetro biológico que puede considerarse indicativo es el del recuento global de la microfauna, expresado como densidad total (nº de individuos por L de fango activo). En términos absolutos, la densidad total media fue de 15×10^6 ind/L, con unas oscilaciones comprendidas entre un mínimo de 2×10^6 ind/L y un máximo de $40,0 \times 10^6$ ind/L (ver [figura-1](#)). Existieron puntas relativas de densidad total ($>23 \times 10^6$ ind/L) en julio-agosto y finales de octubre de 2.005, y en enero-febrero y abril de 2.006.

Figura-1: Microbiología del fango activo.



Recuento total en millones de individuos/litro; Relación (Ciliados sésiles/Ciliados reptantes) en % de cada grupo sobre total; %Ciliados sésiles sobre total de (protozoos+metazoos).

Por otro lado, siempre el grupo mayoritario de protozoos fue el de *C. sésiles* o pedunculados. Cuando se considera el inverso de la relación entre *C. reptantes* y *C. sésiles* (parámetro habitual de comprobación de idoneidad del fango activo), expresados ambos como % sobre el total de protozoos y metazoos existentes, se obtuvo un cociente medio igual a 8, es decir existieron del orden de 8 veces más del primer grupo funcional, integrado por *Vorticella aquadulcis*, *V. convallaria*, y *V. microstoma*, *Opercularia* y *Epistilys*, que de Ciliados reptantes, caracterizados por *Acineria uncinata*. Además, el cociente anterior varió ampliamente presentando un límite superior e inferior, respectivamente, de 50 y 4.

Durante 2.005-06 existieron puntas relativas de la relación *C. Reptantes/C. Sésiles* (valor >12) en junio, agosto y diciembre de 2.005, y en febrero, abril y mayo de 2.006. Si se presta atención ahora a la evolución del grupo funcional mayoritario de la microfauna, es decir, a los

Ciliados sésiles, se comprobaba que su variabilidad osciló entre un porcentaje máximo del 95% y un mínimo del 16%, exhibiendo un valor estadístico medio del 70%. Es decir, habitualmente casi las dos terceras partes de la microfauna del fango activo del biológico de la EDAR eran Ciliados sésiles.

En cuanto a la evolución de este grupo mayoritario de Ciliados a lo largo del período anual investigado, si nos fijamos en los mínimos relativos de ocurrencia de estos organismos, entendiendo por ello aquellas ocasiones en que el % sobre total de C. sésiles fuera inferior al 50%, estos períodos se detectaron en julio-agosto, octubre y noviembre de 2.005, y en enero y abril de 2.006. Se constató una apreciable correlación entre estos eventos de mínimos para recuento total de microfauna y de C. sésiles lo cual es lógico considerando que los segundos son el grupo mayoritario de la microfauna investigada.

Otra consecuencia obtenida es que el índice biótico del fango varió entre 6 y 10 a lo largo del periodo estudiado, mientras la categoría del fango expresada como índice de Madoni varió entre I y II (ver tabla-2).

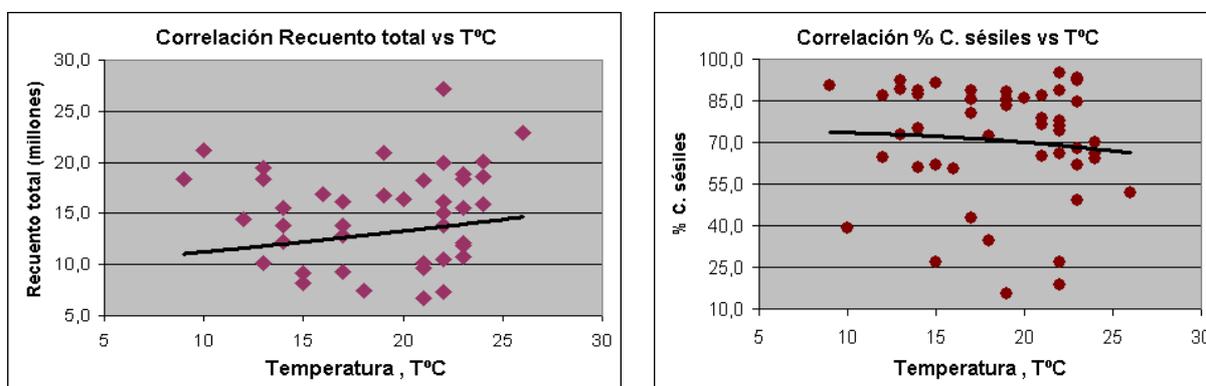
Tabla-2

| | <i>Recuento Total (ind/L)</i> | <i>% Ciliados Sésiles</i> | <i>%C.Sésiles / %C.Reptantes</i> | <i>Índ. Biótico</i> | <i>Índ. Madonni</i> |
|---------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|
| <i>Media</i> | 15x10 ⁶ | 70 | 8 | - | - |
| <i>Máximo</i> | 40x10 ⁶ | 95 | 50 | 10 | II |
| <i>Mínimo</i> | 2x10 ⁶ | 16 | 0,4 | 6 | I |

Además, dado que la temperatura es un factor importante en cualquier evento biológico, veamos su posible relación práctica con la microfauna del fango activo.

De la observación de la figura-2 (izda.) se puede deducir que existe una tendencia que asocia valores más altos de temperatura del agua con ligeros incrementos del recuento total. Además, los valores más habituales del recuento, comprendidos entre 10 y 20x10⁶ ind/L, se constataron con valores de temperatura del agua entre 14°C y 24°C. Finalmente, la correlación obtenida indica que variaciones de temperatura de 5°C llevaban asociados variaciones del recuento total de unos 1,5x10⁶ ind/L.

Figura-2: Relación microfauna vs temperatura: (izda.) recuento total; (dcha.) % de C. sésiles.



La situación es inversa a la anterior cuando se considera la evolución de los C. Sésiles frente a la temperatura. Aquí existe una correlación que asocia un débil descenso del % de este grupo mayoritario de la microfauna con el aumento de la temperatura, del orden de un 5% por cada 5°C de temperatura. Además, al ser la dispersión de datos muy amplia, no parece deducirse una temperatura más idónea que favorezca más altos contenidos de este grupo funcional.

Evaluada la posible relación entre T°C y % de Rizópodos (Tecamebas), se observa que para temperaturas >20°C existe una relación estadística que implica que aumentos de 1°C suponen aumentos de un 5% en el contenido de estos organismos. Al mismo tiempo, la aparición de Rizópodos también está ligada al aumento paralelo de nitrificación en la EDAR, para valores medios superiores al 27%, pero con una baja correlación estadística en este caso.

Finalmente, no se detectó ninguna relación inductiva entre el Índice biótico del fango y la temperatura del agua.

Investigación microbiológica de filamentos

Dada la gran incidencia práctica en la explotación de una EDAR que puede provocar la aparición de filamentos (*bulking*) ésta es una determinación también habitual en la actividad de control de proceso de la EDAR llevada a cabo por el Servicio de Control de Calidad, Calidad y Medio Ambiente de EMACSA. En este sentido, la investigación realizada indicó que el filamento habitualmente encontrado fue *Thiothrix*, con una ocurrencia expresada como categoría numérica comprendida entre 2 y 3, si bien en agosto de 2.005 se produjo un descenso en su cantidad que se redujo a categoría 1.

En orden decreciente de importancia se detectó *Sphaerotilus natans* en algunas semanas de junio, julio y agosto de 2.005, en las que este filamento fue dominante frente a *Thiothrix*, exhibiendo categoría 2-3. También, durante la primera semana de abril y mayo de 2.006, los filamentos dominantes, además de *Thiothrix*, fueron los de *Microthrix*, también con categoría 2-3. Finalmente, debe indicarse que a principio de octubre de 2.005 se observó la aparición de filamentos del Tipo 1863 (junto a *Thiothrix*), y el resto del mes de octubre los filamentos dominantes correspondieron a un conjunto de *Thiothrix*, *Microthrix* y del Tipo 1863, cuantificándose su categoría numérica en un valor de 2-3.

Como información complementaria, durante octubre de 2.005 y abril de 2.006 además de los filamentos, se detectó la presencia de pequeños flagelados de la clase *Zoomastigophora*, orden *Protomonadida*, grupo Bonoideos, asociados a algún episodio de déficit de oxigenación provocado por la llegada de vertidos industriales a la EDAR.

Relación práctica entre Microbiología del Fango Activo y Depuración

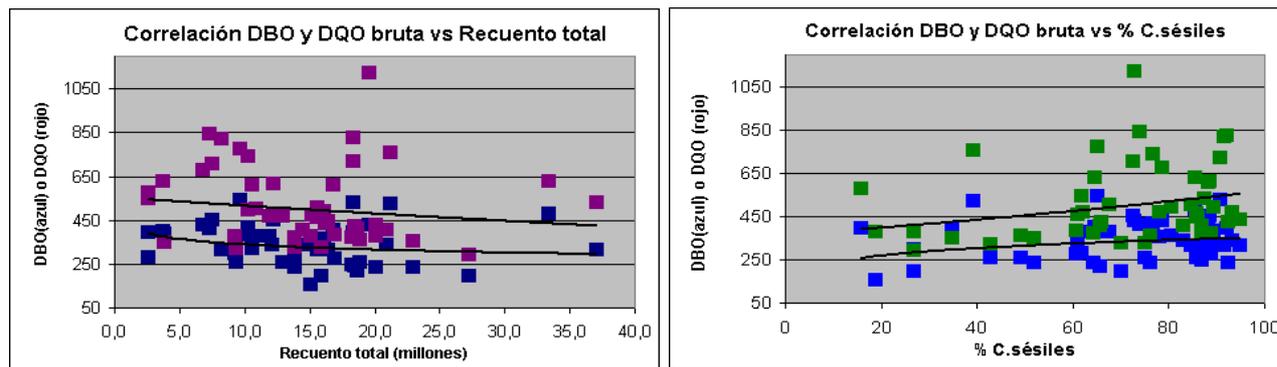
Microfauna y depuración

Investigadas la microbiología del fango activo depurador así como la detección de microorganismos filamentosos, se van a intentar extraer interrelaciones entre estos datos y el funcionamiento depurador real de la EDAR, teniendo en cuenta no obstante la dificultad del caso, puesto que la información microbiológica está mucho menos sujeta a sistematización estadística que los parámetros meramente físicos o químicos, respondiendo mejor la primera a

valoraciones más cualitativas que cuantitativas.

Como primer paso puede estudiarse la posible relación práctica entre contenido en materia carbonada del agua residual bruta, que podríamos cuantificar como DBO₅ o DQO, y el recuento total del fango activo (figura-3). Se aprecia que en los dos casos aparece una tendencia que asocia más altos valores de carga biodegradable a ligeros descensos en el recuento total. Podría deducirse, en principio, que una mayor “riqueza” nutritiva del influente provocaría ligeros efectos negativos en el fango, sin llegar, en ningún caso, a colapsar su desarrollo.

Figura-3: DBO₅ agua bruta (azul) y DQO (rojo) vs: Recuento total (izda.) y %C. sésiles (dcha.).



Por el contrario, si correlacionamos ahora tanto la DBO₅ como la DQO y el % de C. Sésiles (grupo mayoritario de la microfauna del fango), la figura-3 (dcha.) nos informa de que incrementos en la carga carbonada del influente a la EDAR estarían actuando de forma positiva en cuanto al desarrollo de los Ciliados sésiles. De lo anterior se deducen dos efectos contrapuestos que nos pueden informar bien sobre requerimientos nutricionales distintos de los diferentes grupos funcionales de los microorganismos componentes de la microfauna del fango activo depurador, o bien de unas condiciones ambientales desfavorables para aquéllos.

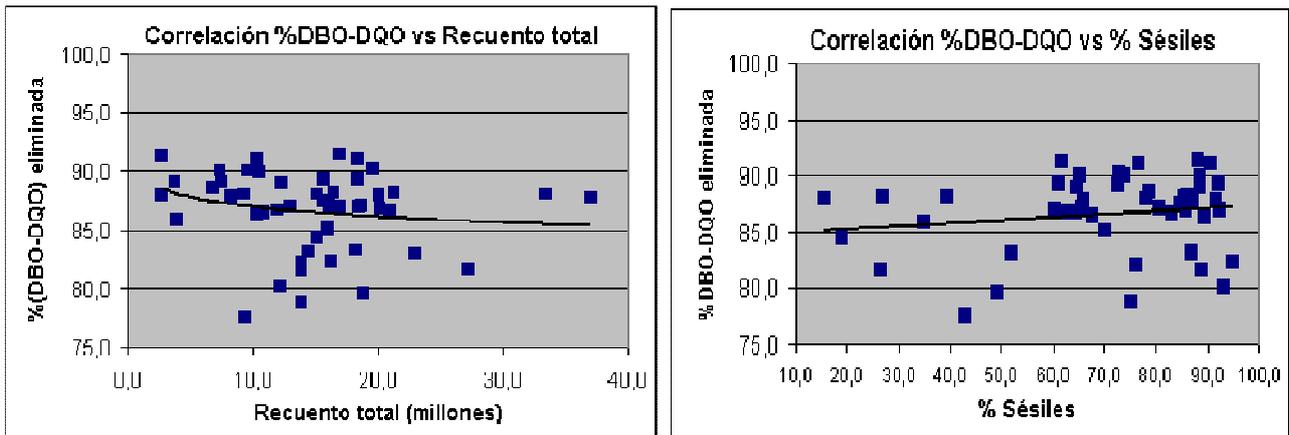
Desde la óptica de la depuración práctica, lo más interesante evidentemente es si existe algún tipo de correspondencia entre rendimientos prácticos de la EDAR y microfauna del fango activo. Así, cuando asociamos estadísticamente los rendimientos de eliminación de DBO₅ o DQO, es decir,

$$\left\{ \frac{[DBO_5 \text{ o } DQO_{\text{agua bruta}} - DBO_5 \text{ o } DQO_{\text{agua depurada}}] \times 100}{[DBO_5 \text{ o } DQO_{\text{agua bruta}} - J]} \right\}$$

con recuento total, se observa una ligera tendencia de disminución de rendimientos de depuración para recuentos más altos. Por el contrario, si representamos ahora el % de depuración frente al % de Ciliados sésiles de la microfauna, la tendencia es a incrementarse ligeramente la efectividad depuradora con el aumento de este grupo de protozoos. Esta situación es en cierto modo similar a la planteada en la figura-3 para el agua bruta de entrada a la EDAR.

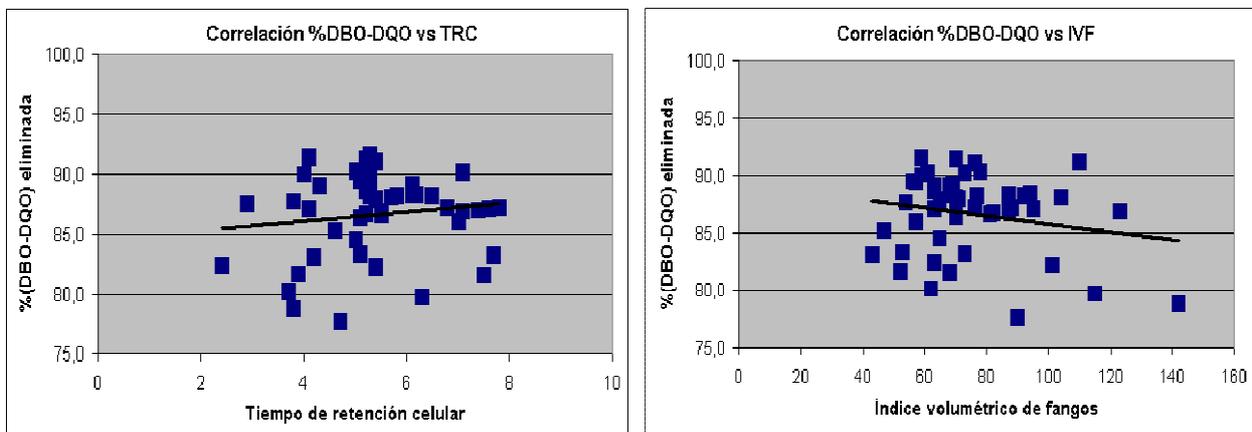
Si ahora representamos la media estadística de la eliminación de DBO₅ y DQO, tal como recoge la figura-4, tanto con recuento total (izda.) como con % de C. Sésiles (dcha.) comprobaremos lo dicho más arriba. Sí se deduce, en todo caso, que los porcentajes más altos de depuración se lograron con recuentos totales comprendidos entre 7 y 20x10⁶ ind/L y para % de Ciliados sésiles superiores al 60%.

Figura-4: Rendimientos de depuración frente a: recuento total (izda.) y %C. sésiles (dcha).



Un parámetro crítico en la explotación práctica de cualquier EDAR es el de *Tiempo de Retención Celular* (TRC) que informa sobre la edad del fango activo de la depuradora. Actuando sobre este parámetro se pueden modificar los rendimientos obtenidos. Si se representan los rendimientos globales de depuración logrados en nuestra EDAR frente al TRC (figura-5 (izda.)) puede apreciarse que, a medida que se incrementa el valor del TRC lo hace ligeramente el rendimiento de depuración, si bien en unos valores modestos, del orden de un 1% por cada día de aumento del TRC. Además, para valores del TRC superiores a unos 7 días, el rendimiento parece estabilizarse alrededor del 87%.

Figura-5: Rendimientos de depuración frente a: TRC (izda.) e IVF (dcha).



Filamentos y depuración

Si bien es algo previsible, cabe preguntarse ahora si la aparición de filamentos, su cantidad y el tipo concreto de filamentos provocaron efectos prácticos apreciables en la explotación de la EDAR. La medida física de la buena decantabilidad de un fango activo la da el IVF (índice volumétrico de fangos). Valores más bajos garantizan, en principio, un buen rendimiento en decantación secundaria y que no se produzcan problemas de flotación de fangos o *bulking*. Dado que nuestra EDAR dispone de sistema de selectores anaerobios, la primera conclusión práctica

es que no existieron problemas graves de aparición de filamentos por lo cual el sistema aplicado ya demostró su eficacia.

Además, los valores tanto medios como máximos del IVF fueron siempre bajos y e inferiores a 150 mL. Es decir, tanto la aparición de *Thiothrix* (filamento normalmente dominante), como de *Sphaerotilus n.*, como de *Microthrix*, como del Tipo 1863, fueron limitadas y de baja intensidad como para afectar realmente a la explotación.

No obstante, como se aprecia en la figura-5 (dcha.) los incrementos de los valores del IVF provocaron ligeros descensos asociados del rendimiento global de la EDAR: aproximadamente, cada aumento de 20 mL del IVF provocaba un descenso del 2% en el rendimiento global. Aquí, además, la tendencia estadística indicaría que IVF superiores a 150 mL podrían llevar asociados rendimientos globales inferiores al 83%.

Finalmente, los resultados de nuestro estudio indicaron que, dada la detección de *Thiothrix* habitualmente, los episodios de valores de IVF superiores a 90 mL (decantabilidad 20% superior a la media) ocurrieron con presencia de filamentos del Tipo 1863 y de *Microthrix*, mientras los períodos de valores de IVF inferiores a 60 mL (decantabilidad un 20% inferior a la media) coincidieron con la detección de *Sphaerotilus natans*. Además, cuando se detectaron dos o tres filamentos dominantes, los valores de IVF también fueron del orden de 90 mL o superiores.

Conclusiones

-El fango activo de la EDAR presentó densidades de recuento total de su microfauna con un valor medio de 15×10^6 ind/L, mínimos de 2×10^6 y máximos de 40×10^6 . Las puntas densidad del recuento ($>23 \times 10^6$) no exhibieron pautas temporales especiales.

-El grupo funcional mayoritario de la microfauna fue el de los protozoos Ciliados sésiles o pedunculados que exhibió un valor medio estadístico del 70%, variando entre el 16% y el 95%, y estando integrado por *Vorticella aquadulcis*, *V. convallaria* y *V. microstoma*, *Opercularia* y *Epistilys*.

-Se detectó una correlación positiva entre temperatura del agua y recuento total del fango, mientras la tendencia fue opuesta para los Ciliados sésiles. También existió una asociación entre Rizópodos ($>17\%$) y temperatura ($>20^\circ\text{C}$), debido a su vez al incremento de la nitrificación en la EDAR a valores superiores al 27%.

-Se observó un ligero incremento del rendimiento de depuración con el Tiempo de Retención Celular hasta un valor máximo aproximado de 7 días del segundo, con un rendimiento asociado del 87% (eliminación de carga DQO-DBO₅).

-Si bien parecen correlacionarse valores ligeramente más altos del rendimiento global de la EDAR con más altos contenidos en C. Sésiles pero también con valores más bajos del recuento total, los porcentajes más elevados de depuración se lograron con recuentos totales comprendidos entre 7 y 20×10^6 ind/L, y porcentajes de C. Sésiles superiores al 60%.

-En cuanto a los filamentos detectados en el fango, el mayoritario siempre fue *Thiothrix*, habiéndose detectado también *Sphaerotilus natans*, *Microthrix* y el Tipo 1863. En todo caso, no

se observaron problemas de *bulking* en el fango lo que indicó que los selectores anaerobios de la EDAR actuaron eficazmente limitando el desarrollo de los filamentos. Así, el valor medio del índice volumétrico de fangos fue de 75 mL, apreciándose un descenso del rendimiento global de depuración de la EDAR con el aumento del IVF.

Finalmente y en consonancia con lo aportado en este trabajo, sólo el seguimiento práctico de las correspondencias entre calidad de fango activo y rendimientos de depuración en cada EDAR concreta dará pautas válidas para su explotación.

Bibliografía

- J. CATALÁN LAFUENTE. *Depuradoras: bases científicas*. Ed. Bellisco, Madrid (1.997).
- EMASESA. Curso sobre Microorganismos Filamentosos en el fango activo. Actas. Sevilla (1.997).
- GBS. II Jornadas Técnicas sobre Microbiología del fango activo. Actas. Sevilla (2.005).
- R. MARÍN GALVÍN. *Análisis de Aguas y Ensayos de Tratamiento: Principios y Aplicaciones*. Ed. GPE,S.A., Barcelona (1.995).
- R. MARÍN GALVÍN. *Fisicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos. Tratamiento y Control de Calidad de Aguas*. Ed. Díaz de Santos, Madrid (2.003).
- R. MARÍN GALVÍN. *Microfauna del fango activo y rendimientos de depuración en la EDAR de La Golondrina*. TecnoAmbiente (2.007), pp. 25-29.
- P. PESSON. *La contaminación de las aguas continentales*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid (1.979).
- G. RHEINHEIMER. *Microbiología de las aguas*. Ed. Acribia S.A., Zaragoza (1.987).
- E.D. SCHROEDER. *Water and Wastewater Treatment*. Ed. McGraw-Hill, New York (1.977).
- G. TCHOBANOGLIOUS y E.D. SCHROEDER. *Water Quality*. Ed. Adisson-Wesley Pub. Co., Reading (Mass.) (1.985).