

# Microfauna del fango activo y rendimientos de depuración en la EDAR de La Golondrina

## Seguimiento del proceso

**Rafael MARÍN GALVÍN**  
Doctor en Ciencias Químicas  
Servicio de Control de Calidad  
EMACSA

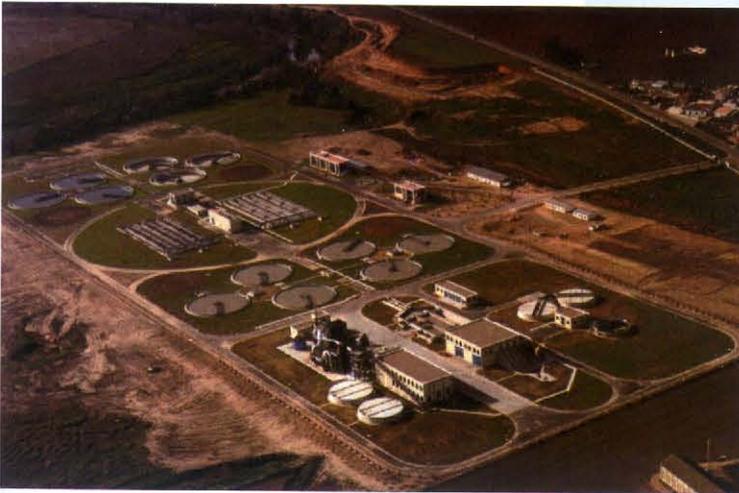


Figura 1. Vista general de la EDAR de La Golondrina (Córdoba).

### Introducción

La EDAR de *La Golondrina*, inaugurada en 1991 (figura 1) depura la casi totalidad del agua residual urbana (doméstica e industrial) de la ciudad de Córdoba. La EDAR, capaz para un caudal máximo de diseño de 108.000 m<sup>3</sup>/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 diversos problemas en el proceso depurador ("floaming" o "bulking"). La línea de tratamiento puede esquematizarse como sigue:

- \* tamizado en dos niveles,
- \* desengrasado-desarenado,
- \* decantación primaria sin adición de reactivos,
- \* tratamiento anaerobio (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, y
- \* gestión de fangos mediante su destino a compostaje.

Existen seis balsas de aireación gemelas con un volumen total de 21.000 m<sup>3</sup>, estando acondicionada la parte inicial de cada balsa

Conocido es que el seguimiento de la flora bacteriana del fango activo de una EDAR no se suele realizar habitualmente; el estudio de su microfauna es el que informa sobre la idoneidad depuradora del propio fango. En este sentido, se ha abordado la búsqueda de posibles relaciones prácticas entre microfauna del fango activo y rendimientos de depuración en la EDAR de La Golondrina (Emacsa-Córdoba) que pudieran ser de interés para la explotación de depuradoras. Teniendo en cuenta la extensión de los datos disponibles, este artículo se va a presentar en dos partes: en la primera se reseña el comportamiento del seguimiento de proceso en la EDAR durante el período investigado (1-6-2005 a 31-5-2006), tanto desde el punto de vista fisicoquímico como microbiológico. En la segunda, se recopilarán las correlaciones estadísticas obtenidas entre rendimientos de depuración y microfauna del fango activo depurador existente en la depuradora.

(24,2% sobre total) para actuar como *selector anaerobio* a fin de limitar la incidencia de filamentosos y sus negativas consecuencias en el tratamiento biológico. El volumen total de los selectores anaerobios es de 5.082 m<sup>3</sup> (figura 2).

Además, en los terrenos de la propia EDAR existe una depuradora anaerobia UASB que trata específicamente los vertidos procedentes de una fábrica de levaduras, y que después de esto son integrados con el resto de aguas residuales domésticas e industriales en la propia depuradora.

La EDAR cumple habitualmente con los criterios de depuración exigibles por el *Organismo de Cuenca* y establecidos en la *Autorización de Vertido* emiti-

da por la CHG con fecha 4-7-2005. Para este cumplimiento se requiere un seguimiento diario exhaustivo del proceso de explotación llevado a cabo por el personal técnico de *Emacsa*. Este seguimiento abarca todas las facetas del proceso de depuración, tanto en parámetros fisicoquímicos, como biológicos (fangos activos), así como

to potásico. Finalmente, el índice volumétrico de fangos (IVF) se determinó mediante la técnica habitual del *Cono de Inhoff*.

Con respecto al estudio sistemático de la microfauna del fango activo procedente del tratamiento biológico de la EDAR, cada día se procedió alternadamente a tomar muestras de fan-

de protozoos y metazoos del fango (expresados en porcentaje sobre total), organizados en los siguientes grupos funcionales (las figuras 3 y 4, presentan micrografías de algunos de los organismos investigados):

- \* Ciliados reptantes o móviles de fondo: *Acineria uncinata*.
- \* Ciliados sésiles o pedunculados: *Vorticella aquadulcis*, *Vorticella Convallaria*, *Vorticella microstoma*, *Opercularia* y *Epistilys*.
- \* Ciliados nadadores carnívoros: *Litonotus lamella*.
- \* Ciliados suctores *Acineta tuberosa* y *Podophrya F*.
- \* Rizópodos (Tecamebas): *Arcella vulgaris*.
- \* Metazoos: género *Rotaria*.

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.



Figura 2. Vista general del tratamiento biológico de la EDAR.

en otros parámetros específicos de la depuración.

En este artículo presentaremos los datos de rendimientos fisicoquímicos y del seguimiento de la microfauna del fango activo obtenidos entre junio de 2005 y mayo de 2006.

## Materiales y métodos

El muestreo de aguas residuales de entrada a la EDAR, aguas depuradas (en ambos casos, muestras integradas durante veinticuatro horas) y fangos activos, se llevó a cabo durante 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. En este sentido, los  $S_{SUS}$  se determinaron tras filtración y posterior secado del residuo a 108 °C, la  $DBO_5$  mediante el método del *Oxitop*™ empleando inhibidor de nitrificación (*alil-tiourea*), y la DQO total mediante la técnica del dicroma-

go de cada una de las seis balsas de aireación disponibles. Aplicando la observación directa mediante microscopio óptico de contraste de fases de hasta cien aumentos, se llevó a cabo el recuento total de la microfauna y el

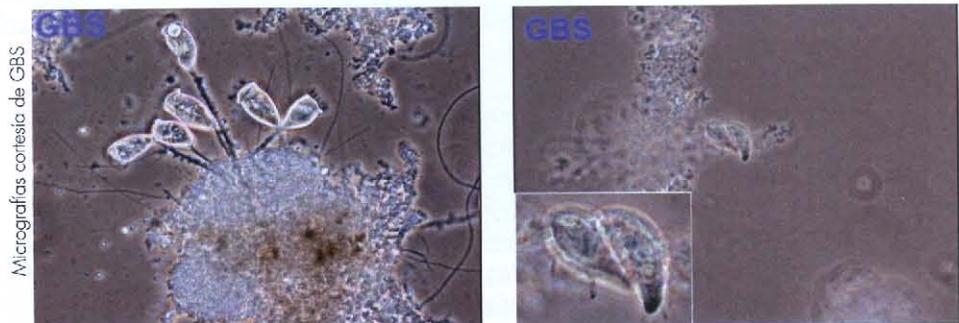


Figura 3. Izquierda: *Vorticella convallaria* (ciliados sésiles). Derecha: *Acineta uncinata* (ciliados reptantes).

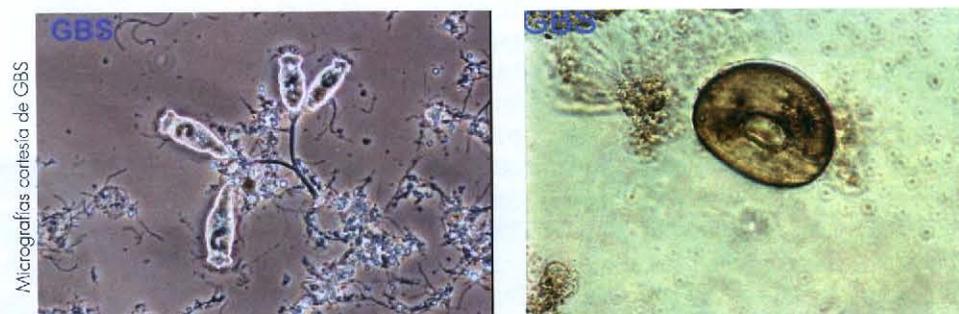


Figura 4. Izquierda: *Epistilys entzii* (ciliados sésiles). Derecha: *Arcella vulgaris* (Rizópodos, Tecamebas).

## Resultados

Los datos presentados a continuación, tanto de carácter fisicoquímico, como biológico o de explotación de la EDAR, corresponden a las medias semanales (cinco días a la semana) del período comprendido por un año natural, con todas las incidencias habituales en este período, tanto de carácter climatológico (lluvias, bajas y altas temperaturas, variación de características del agua bruta residual influente a la EDAR, etc.) como de otro tipo (diferente uso doméstico del agua a lo largo de la semana, del mes o del año, aparición de vertidos industriales, etc.) que habitualmente suele experimentar la EDAR de La Golondrina.

### Comportamiento global de la explotación

La EDAR depuró una media diaria de 83.000 m<sup>3</sup>, lo que supone un 77% sobre caudal de diseño, oscilando los valores extremos entre un máximo de 118.000 m<sup>3</sup> (un 109% sobre diseño) y un mínimo de 64.800 m<sup>3</sup> (un 60% sobre diseño). El caudal tratado a lo largo del año fue de 30 hm<sup>3</sup>, generando su depuración un total de 54.000 t de fangos con un 23% de sequedad ya deshidratados, de los que unas 17.500 t se emplearon en compostaje para uso agrícola.

La *figura 5* presenta la evolución del caudal depurado en la EDAR. Se observa que existen dos períodos de caudales más altos, uno entre octubre y noviembre de 2005 y otro más dilatado, entre febrero y abril de 2006 (aproximadamente), coincidentes con los períodos correspondientes de lluvias, al ser la red de saneamiento de Córdoba de carácter unitario. La línea de tendencia inserta en la gráfica informa sobre un lento pero sostenido incremento del caudal de entrada a la EDAR a lo largo del período considerado.

La *figura 6* recoge la evolución de la carga másica depurada en la EDAR, debiendo indicarse que este parámetro osciló entre un mínimo de 0,06 kg DBO<sub>5</sub>/día por kilo

de fango biológico y 0,39, con un valor medio ponderado de 0,19. Ha de señalarse que la tendencia inserta en la gráfica es opuesta a la del caudal de entrada, de forma que la carga másica va reduciéndose desde junio de 2005 a mayo de 2006. Esta evolución es lógica considerando que la tendencia del caudal fue alcista, lo que implica, en principio, que la carga total de entrada a la EDAR aumentaba al mantenerse razonablemente estable la concentración de fangos en el biológico. En cualquier caso, la EDAR opera habitualmente a las cargas másicas moderadas ya indicadas.

Por último, y con respecto a las dos variables de la planta típicas del fango activo y que posibilitan una adecuada depuración del agua residual, *tiempo de re-*

*tención celular (TRC)* e *índice volumétrico de fangos (IVF)*, presentaron valores medios, respectivamente, de 5,4 días y de 75 ml, oscilando sus valores extremos entre 2,9 y 7,8 para el TRC, y entre 43 y 142 para el IVF. La *figura 7* recoge la evolución de estos parámetros a lo largo del período estudiado: obsérvese que la evolución y variación de su comportamiento es razonablemente coincidente.

### Rendimientos de la EDAR

La *tabla 1* presenta los resultados obtenidos durante el período de estudio sobre la calidad global del agua residual de entrada a la EDAR, del agua depurada, y rendimientos de depuración, considerando DBO<sub>5</sub>, DQO y S<sub>SUS</sub>.

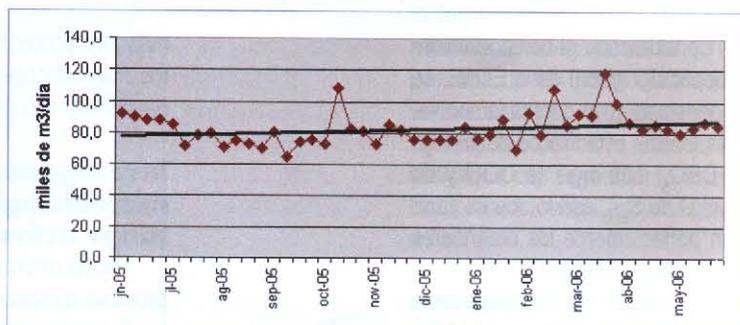


Figura 5. Evolución semanal (media diaria) del caudal de entrada a la EDAR.

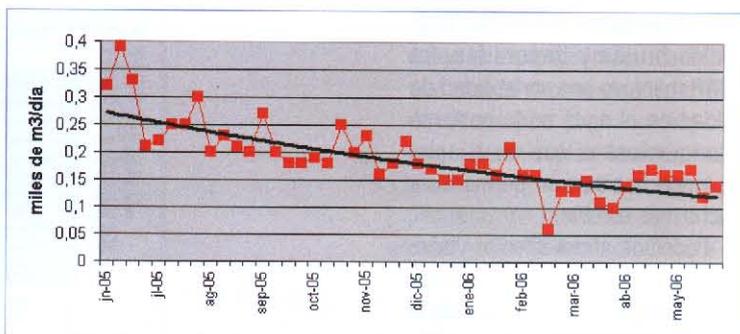


Figura 6. Carga másica en la EDAR.

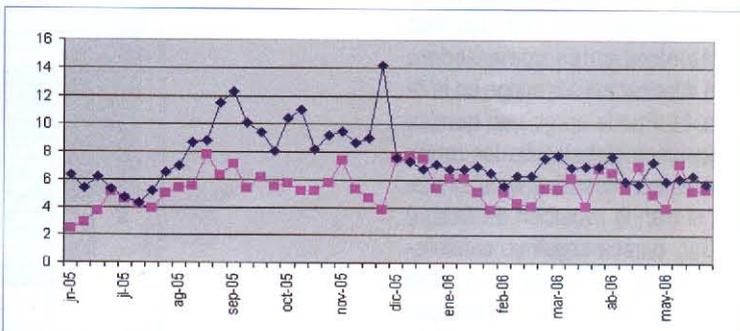


Figura 7. Evolución del Tiempo de Retención Celular (TRC) (rojo) y del Índice Volumétrico de Fangos (IVF) (valores de IVF expresados en IVF x 0,1) (azul).

La carga biodegradable expresada como  $DBO_5$ , con un valor medio de entrada a depuración de 342 mg/l, califica al agua residual de la ciudad como de carga media-alta. Por su parte, la DQO presentó una media de 523 mg/l, con lo que la relación ( $DBO_5/DQO$ ) fue de 1,52, típica para aguas residuales urbanas con mezcla de aguas residuales domésticas e industriales. Finalmente, el valor medio a lo largo del año de los sólidos en suspensión del agua bruta fue de 288 mg/l.

	$DBO_5$ Máx.	$DBO_5$ Mín.	$DBO_5$ Media	DQO Máx.	DQO Mín.	DQO Media	Sól.Sus. Máx.	Sól.Sus. Mín.	Sól.Sus. Media
Bruta	545	160	342	1.124	294	523	560	156	288
Depurada	28	6	15	163	71	109	51	8	23
% Rend.	98,5	90,0	95,4	86,4	63,8	78,0	96,7	77,6	91,6

Tabla 1. Rendimientos de depuración obtenidos en la EDAR. Datos de  $DBO_5$ , DQO y sólidos en suspensión en mg/l.

Considerando el comportamiento depurador global de la EDAR, se ha generado agua depurada con valores medios estadísticos de 15 mg/l de  $DBO_5$ , 109 mg/l de DQO y de 23 mg/l de  $S_{SUS}$  con lo que se cumplen perfectamente los estándares de depuración exigibles.

Las figuras 8 a 10 presentan la variación entre junio de 2005 y mayo de 2006 de los parámetros arriba reseñados en aguas residuales brutas y depuradas. La EDAR mantuvo una variabilidad de calidad en el agua bruta bastante notoria, mientras que en el agua depurada la situación permanecía mucho más estable.

Podemos ahora intentar visualizar una panorámica general acerca del comportamiento global de la EDAR frente a la depuración, comparando los rendimientos de depuración conseguidos para los tres parámetros antes comentados. Esta información se recoge en la figura 11. Puede apreciarse que las evoluciones globales de los rendimientos son esencialmente similares, si bien la evolución de DQO y de  $S_{SUS}$  parece seguir un paralelismo más ostensible que en el caso de la  $DBO_5$ . Pueden, en principio, extraerse dos consecuencias de lo anterior: que la planta exhibe un

notable efecto tampón o regulador que permite mantener rendimientos de depuración idóneos aún en el caso de variaciones notables de calidad de agua bruta, y en segundo lugar, que dado que el proceso aplicado es biológico, las fluctuaciones de los rendimientos conseguidos en la reducción de  $DBO_5$  (materias realmente biodegradables) están mucho más laminadas que para los otros parámetros, los cuáles se eliminan más eficazmente por procesos físicos (caso de los  $S_{SUS}$ ) o que están integrados en

gación diaria de la microbiología del fango activo depurador, como ya se indicó al principio de este trabajo. En este sentido, 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 (número de individuos por litro de fango activo). En términos absolutos, la densidad total media fue de  $14,8 \times 10^6$  ind/l, con unas oscilaciones comprendidas entre un mínimo de  $2,6 \times 10^6$  ind/l y un máximo de  $37,0 \times 10^6$  ind/l. Como se aprecia en la figura 12 existieron puntas relativas de densidad total ( $>20 \times 10^6$  ind/l) en julio-agosto y finales de octubre de 2005, y en enero-febrero y abril de 2006.

El recuento periódico de la microfauna indicó que 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 idonei-

más alto porcentaje por compuestos más refractarios a la biodegradabilidad (caso de la DQO).

### Investigación microbiológica del fango activo

Parte crítica del control de proceso aplicado en la EDAR de La Golondrina es el de la investi-

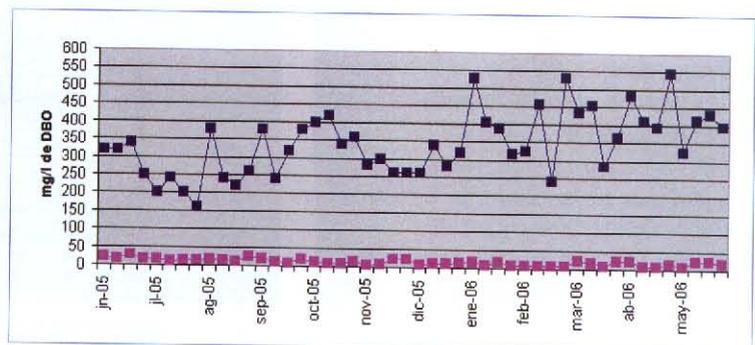


Figura 8. Comparación  $DBO_5$  agua bruta (azul) vs agua depurada (rojo).

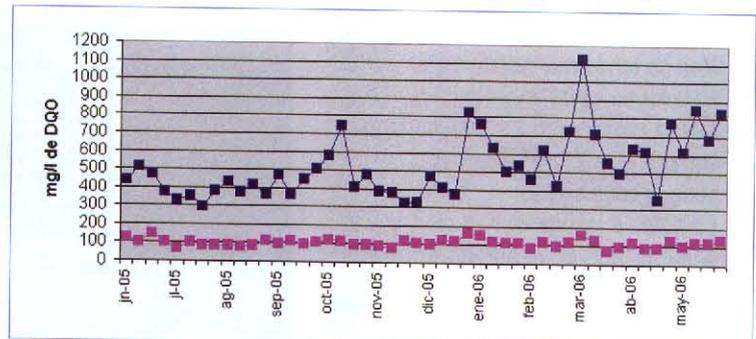


Figura 9. Comparación DQO agua bruta (azul) vs agua depurada (rojo).

dad del fango activo), expresados ambos como porcentaje sobre el total de protozoos y metazoos existentes, se obtuvo un cociente medio igual a 8,3, es decir, existieron del orden de ocho veces más del primer grupo funcional, integrado por *Vorticella aquadulcis*, *V. convallaria*, *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.

De la observación de la ya referida figura 12 se concluye que existieron puntas relativas de la relación C. Reptantes/C. Sésiles (valor superior a diez) en junio, agosto y diciembre de

2005, y en febrero, abril y mayo de 2006.

Si se presta atención ahora a la evolución del grupo funcional mayoritario de la microfauna, es decir, a los Ciliados sésiles, se comprueba que su variabilidad osciló entre un porcentaje máximo del 93,0% y un mínimo del 15,6%, exhibiendo un valor estadístico medio del 70,4%. 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 porcentaje sobre total de C. sésiles fuera inferior al 50%, estos periodos se detectaron en julio-agosto, octubre y noviembre de 2005, y en enero y abril de 2006. Puede comprobarse que existió 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.

En otro orden de cosas, para temperaturas del agua superiores a 20°C (julio a octubre de 2005 y abril-mayo de 2006), se contabilizaron porcentajes de Rizópodos (*Tecamebas*, *Arcella vulgaris*) superiores en valor medio al 17% sobre el total de la microfauna recontada.

Finalmente, el índice biótico del fango varió entre seis y diez a lo largo del período estudiado, mientras la categoría del fango expresada como índice de Madoni varió entre I y II. La tabla 2 recoge un resumen de los resultados estadísticos del seguimiento microbiológico del fango expuesto más arriba.

## 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 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 2005 se produjo un descenso en su cantidad que se redujo a categoría 1 (figura 13).

En orden decreciente de importancia se detectó *Sphaerotilus natans* en algunas semanas de junio, julio y agosto de 2005, en las que este filamento fue domi-

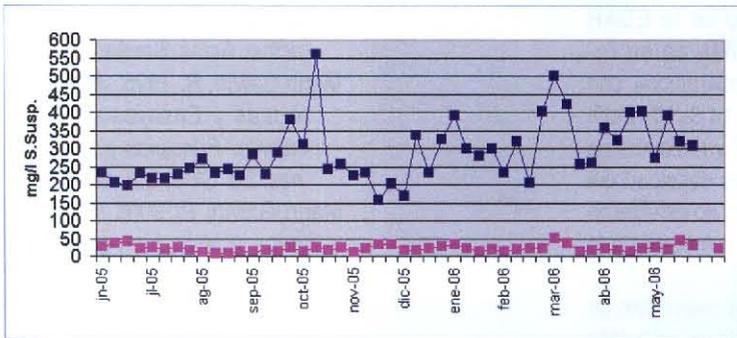


Figura 10. Comparación  $S_{SUS}$  agua bruta (azul) vs agua depurada (rojo).

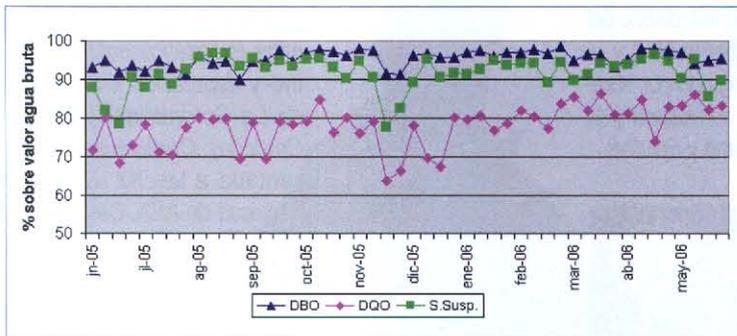


Figura 11. Rendimientos de depuración ( $DBO_5$ ,  $DQO$  y  $S_{SUS}$ ).

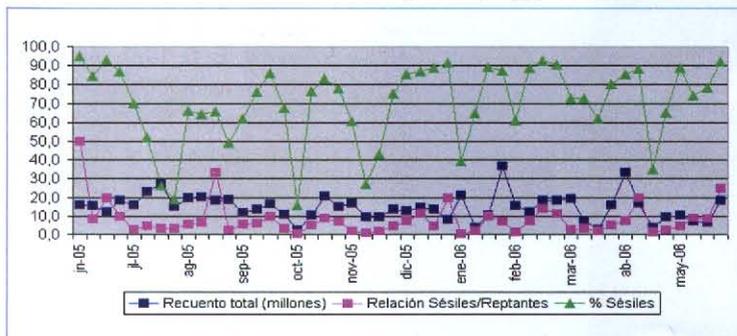


Figura 12. Microbiología del fango activo (junio de 2005 a mayo de 2006). Recuento total en millones de individuos/litro. Relación [Ciliados sésiles/Ciliados reptantes] en porcentaje de cada grupo sobre total; porcentaje de Ciliados sésiles sobre total de (protozoos+metazoos).

	Recuento Total (ind/l)	% Ciliados sésiles	Cociente (% C. sésiles / % C. reptantes)	Índice Biótico	Índice Madonni
Media	14,8x10 <sup>6</sup>	70,4	8,3	-	-
Máximo	37,0x10 <sup>6</sup>	93,0	50,0	10	II
Mínimo	2,6x10 <sup>6</sup>	15,6	0,4	6	I

Tabla 2. Estadística del seguimiento de la microfauna del fango activo de la EDAR.

nante frente a *Thiothrix*, exhibiendo categoría 2-3. También, durante la primera semana de abril y mayo de 2006, los filamentos dominantes, además de *Thiothrix*, fueron los de *Microthrix*, también con categoría 2-3.

Finalmente, debe indicarse que, a principio de octubre de 2005 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 (figura 13).

Como información complementaria, durante octubre de 2005 y abril de 2006, además de los filamentos, se detectó la presencia de pequeños flagelados de la clase *Zoomastigophora*, orden *Protozoada*, grupo Bonoideos, asociados a algún episodio de déficit de oxigenación provocado por la llegada de vertidos industriales a la EDAR.

## Conclusiones

La EDAR de La Golondrina consigue rendimientos de depuración idóneos aplicando el proceso convencional de fangos activos, incluso con caudales superiores a los de diseño. El agua depurada presentó valores de DBO<sub>5</sub>, DQO y S<sub>SUS</sub>, de 15, 109 y 23 mg/l, respectivamente, entre junio de 2005 y mayo de 2006.

El fango activo de la EDAR presentó densidades de su recuento total de la microfauna con un valor medio de 14,8x10<sup>6</sup> ind/l, mínimos de 2,6x10<sup>6</sup> y máximos de 37,0x10<sup>6</sup>. Las puntas densidad del recuento (>20,0x10<sup>6</sup>) no exhibieron pautas temporales, ocurriendo a lo largo de todo el año.

El grupo funcional mayoritario de la microfauna fue el de los protozoos Ciliados sésiles o pedunculados que exhibió un valor medio estadístico del 70,4%, variando entre el 15,6 y el 93,0%, y estando integrado por *Vorticella aquadulcis*, *V. convallaria* y *V. microstoma*, *Opercularia* y *Epistylis*.

En cuanto a los filamentos detectados en el fango activo, 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.

## Bibliografía

- Catalán Lafuente, J. 1997. *Depuradoras: bases científicas*. Ed. Bellisco, Madrid.
- Emasesa. 1997. *Curso sobre Microorganismos Filamentosos en el fango activo*. Actas. Sevilla.
- GBS. 2005. *II Jornadas Técnicas sobre Microbiología del fango activo*. Actas. Sevilla.
- Marín Galvín, R. 1995. *Análisis de Aguas y Ensayos de Tratamiento: Principios y Aplicaciones*. Ed. GPE, S.A. Barcelona.
- Marín Galvín, R. 2003. *Fisicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos. Tratamiento y Control de Calidad de Aguas*. Ed. Díaz de Santos, Madrid.
- Marín Galvín, R. 2006. *Relaciones entre microfauna del fango activo y depuración en la EDAR de La Golondrina (Emacsa-Córdoba)*. Comunicación presentada a las XX Jornadas Técnicas de ASA, Sevilla.
- Pesson, P. 1979. *La contaminación de las aguas continentales*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- Rheinheimer, G. 1987. *Microbiología de las aguas*. Ed. Acribia S.A., Zaragoza.
- Schroeder, E. D. 1977. *Water and Wastewater Treatment*. Ed. McGraw-Hill, New York.
- Tchobanoglous, G. y Schroeder, E. D. 1985. *Water Quality*. Ed. Addison-Wesley Pub. Co., Reading (Mass.).

## Agradecimientos

A todos los técnicos del Servicio de Control de Calidad de Emacsa.

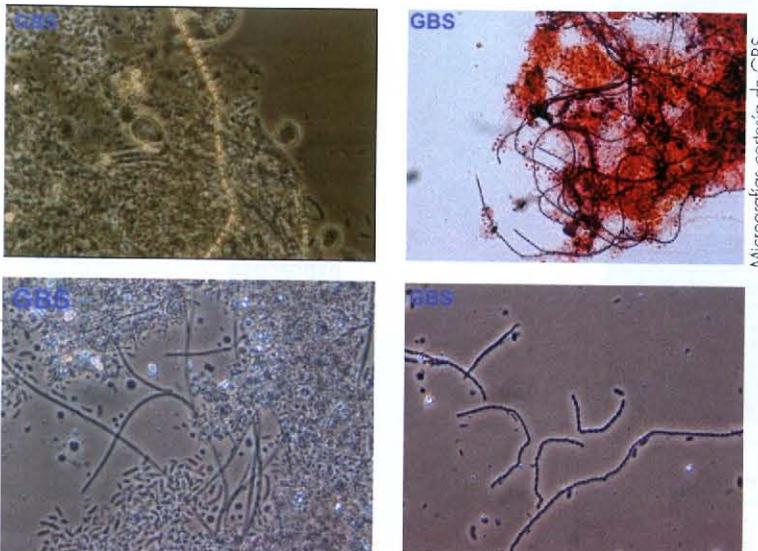


Figura 13. Microorganismos filamentosos. De izquierda a derecha y de arriba abajo: *Thiothrix* II; *Microthrix parvicella*; *Sphaerotilus natans*; Tipo 1863.