

REDUCCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FANGOS DE EXCESO EN EDAR's FAC, MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA OSA.

S. Rodríguez Pérez^{1*}, C. Arnáiz¹, JC Gutiérrez², E. Díaz¹.

¹Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Escuela Universitaria Politécnica. Universidad de Sevilla.

²Departamento de Biología Molecular e Ingeniería Bioquímica. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad Pablo de Olavide.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales Urbanas –EDARs– con el proceso de fangos activos convencional (FAC) se producen diariamente una enorme cantidad de fangos en exceso. El tratamiento y disposición final de estos sólidos supone el 50-60% de los costes de operación de las mismas (Wei et al., 2003).

Según los datos del Ministerio de Medio Ambiente, en el año 2006, en España se generaron más de 1 millón de toneladas de materia seca, y en Andalucía casi 100.000. El 90% de los fangos generados en la UE tienen como destino final vertederos, aplicación sobre el terreno o incineración. En España, el 64% es empleado para uso agrícola, el 14% se deposita en vertederos y el 4% se incinera (Figura 1).

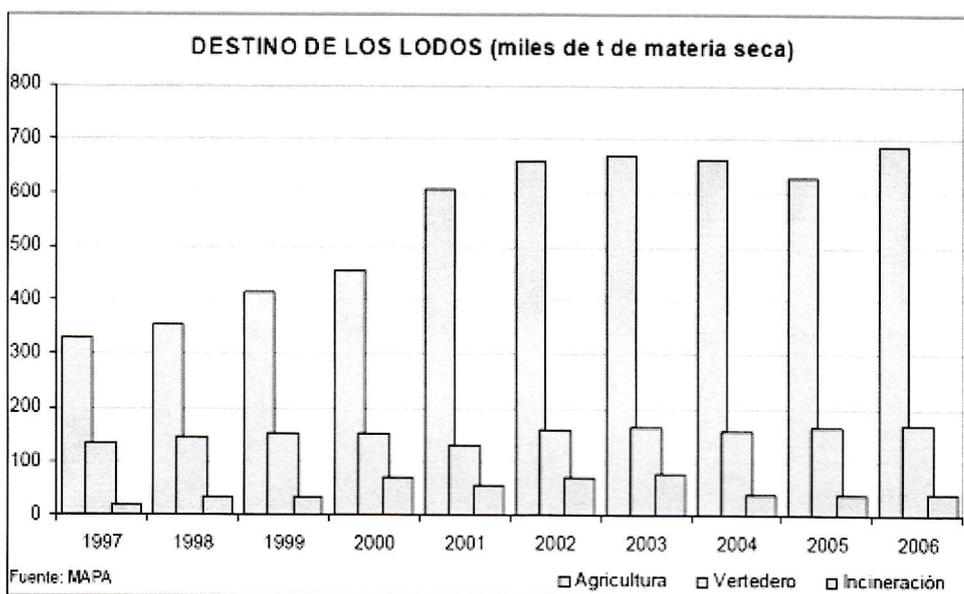


Figura 1. Fuente: Registro Nacional de Lodos del MAPA.

La aplicación directa sobre el terreno está cada vez más restringida debido al riesgo de salud para las personas o el ganado y la contaminación de acuíferos, a causa de los elementos potencialmente tóxicos presentes en los fangos (metales pesados, patógenos, hormonas, compuestos orgánicos xenobióticos, etc.). Además, la tierra disponible para este uso es cada vez inferior debido al incremento de la población y al marco legal que regula el diseño y operación de los nuevos vertederos, cada vez más restrictivo. De este modo, las restricciones legales, el incremento de los costes de tratamiento y la sensibilidad social están impulsando la búsqueda y el desarrollo de nuevas tecnologías que minimicen los problemas asociados con la producción de fangos en EDARs (Wei et al., 2003).

Una manera muy interesante de enfocarlos es reducir la producción de fangos en lugar de realizar algún post-tratamiento a los mismos. Recientemente se están desarrollando diversas tecnologías, combinadas con el proceso FAC, que pueden agruparse en dos grandes grupos: aquéllas que emplean métodos físico-químicos y aquéllas otras que emplean métodos microbiológicos (Liu y Tay, 2001).

1.2. Reducción físico-química de la producción de fangos en exceso en un FAC: (1) lisis celular y metabolismo endógeno y (2) desacoplamiento energético.

Lisis celular y metabolismo endógeno. La lisis celular libera el contenido de las células al medio circundante, proporcionando un sustrato autóctono que contribuye a la carga orgánica. Estos sustratos pueden ser reutilizados por los microorganismos y, por tanto, una porción del contenido celular liberado puede transformarse en producto de la respiración. En consecuencia, la producción de fangos biológicos disminuye (Mason et al., 1986). La lisis celular y el posterior desarrollo de los microorganismos sobre los productos liberados puede llevarse a cabo mediante proceso físicos, químicos o físico-químicos, tales como la ozonización (Saktaywin et al., 2005; Yoon y Lee, 2005), cloración (Saby et al., 2002), tratamientos termoquímicos (Rocher et al., 2001), y el incremento de la concentración de oxígeno (Abbassi et al., 2000). Las desventajas que acompañan a estas tecnologías pueden ser importantes. Se destacan la escasa selectividad y la pérdida del ozono en exceso, la formación de trihalometanos con el cloro, la corrosión y los problemas de olores en los tratamientos termoquímicos, y los problemas de difusión del oxígeno en los flóculos. Además, los elevados costes de operación asociados a estos procesos limitan sobremanera su implantación a escala industrial (Liu y Tay, 2003).

Desacoplamiento energético. Estos sistemas tienen por objeto desviar la energía (ATP) desde el anabolismo al catabolismo, de tal forma que el primero esté limitado. Como resultado, el crecimiento de la biomasa disminuye, sin afectar a la eliminación de materia orgánica en un FAC (Russel y Cook, 1995). La aclimatación a largo plazo de la biomasa a estas sustancias puede disminuir el efecto de las mismas sobre la reducción de la producción de fangos. Además, muchas de estas sustancias son xenobióticas y, por tanto, potencialmente perjudiciales para el medio ambiente. Ambos factores son los principales inconvenientes de la aplicación práctica de desacopladores químicos.

1.3. Reducción biológica de la producción de fangos en exceso en un FAC: (1) depredación de bacterias por la microfauna y (2) mejora de la hidrólisis de la biomasa mediante reactores con membranas (MBRs) o mediante la inserción de un tanque anóxico en el circuito de recirculación de los fangos en exceso (sistema OSA).

Depredación de bacterias por la microfauna. Una forma de reducir la producción de fangos es potenciando el crecimiento de protozoos y metazoos que consumen bacterias sin afectar a la eliminación de materia orgánica (Rensik y Rulkens, 1997). Esto puede llevarse a cabo mediante un *sistema en dos fases*. En el primero de estos procesos (una modificación del sistema FAC), la primera fase (fase bacteriana) trabaja como un reactor de mezcla completa con baja edad del fango, mientras que la segunda fase trabaja con una elevada edad del fango, para permitir el desarrollo masivo de protozoos y metazoos. El parámetro crítico de operación en un sistema en dos fases es el tiempo de retención hidráulico (TRH) de la primera fase. Debe de ser suficientemente largo para que las bacterias no sean lavadas con el efluente (pero también suficientemente corto para que no se desarrolle la microfauna), de tal forma que los reactores son de gran tamaño y los costes de construcción y mantenimiento elevados (Wei et al., 2003).

MBRs. Los MBRs pueden operar a elevadas edades del fango, que pueden ser controladas independientemente del TRH. Esto permite trabajar con concentraciones de biomasa muy altas. A mayor concentración, menor carga másica. Como resultado, los microorganismos emplean la mayor fracción de la alimentación para su mantenimiento, en lugar de para su crecimiento, por lo que la producción de fangos puede disminuir hasta en un 100% (Pollice et al., 2004). Este proceso tiene la

ventaja de que la calidad del efluente es excelente, así como su flexibilidad de operación. Sin embargo, problemas derivados de una pobre oxigenación, el aumento de las necesidades de oxígeno y la limpieza y sustitución de las membranas, entre otros, hacen que tenga unos altos coste de operación (Wei et al., 2003).

Sistema OSA. Datos recientes apuntan a que una sencilla modificación en el proceso convencional de fangos activos, la inserción de un tanque anóxico en el circuito de recirculación de los fangos en exceso, puede reducir significativamente la producción de estos últimos hasta en un 100%. Los escasos estudios realizados hasta el momento indican también que la capacidad de tratamiento, así como la calidad del efluente y las características de sedimentabilidad de los fangos pueden aumentar sensiblemente (Wei et al., 2003). El efecto de la inserción de un tanque anóxico en un FAC deriva, principalmente, del potencial de óxido-reducción (Chen et al., 2003; Saby et al., 2003; Jung et al., 2006). En la *Figura 2* se muestra el diagrama de un sistema OSA en comparación con un sistema FAC.

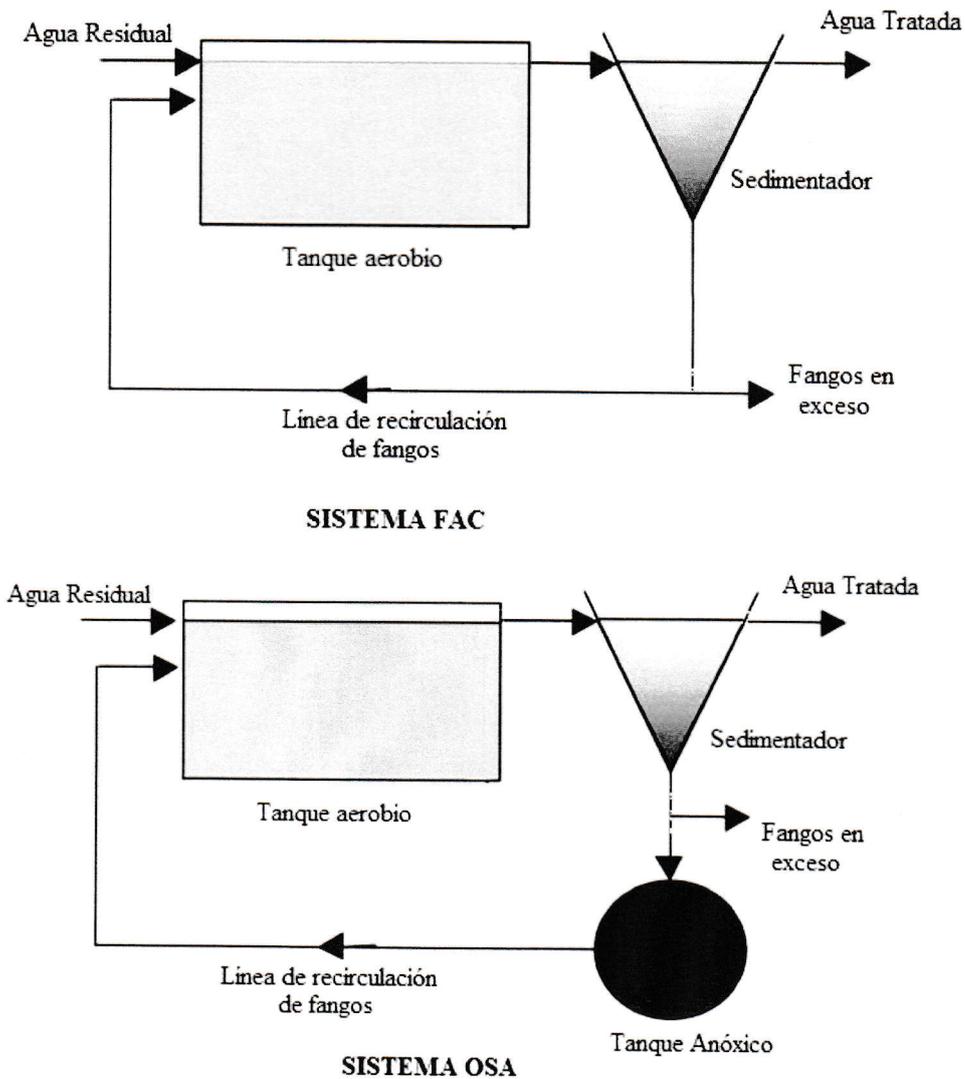


Figura 2. Diagrama de sistema OSA en comparación con un convencional.

La *Tabla 1* recoge las principales ventajas y desventajas de las diferentes estrategias descritas para la reducción de la producción de fangos. Las ventajas del sistema OSA sobre otras tecnologías son evidentes desde el punto de vista económico y ambiental, siendo solamente necesaria la implantación de un nuevo tanque en el proceso. Sin embargo, los conocimientos científicos de este nuevo proceso son muy escasos, lo que impide su implantación a escala real.

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Lisis celular y metabolismo endógeno		
Ozonización	Flexibilidad de operación	Elevado coste Ozono en exceso Formación de compuesto recalcitrantes
Cloración	Más económica que la ozonización	Disminución de la eliminación de materia orgánica. Fango con pobre sedimentabilidad Formación de THM
Tratamientos térmicos o termo-químicos	Relativamente simple	Corrosión Neutralización posterior Olores
Incremento del oxígeno disuelto	Funcionamiento simple	Elevados costes de oxigenación Problemas de difusión
Desacoplamiento energético		
Desacopladores químicos	Relativamente simple	Aclimatación Tóxicos para el medio ambiente
Sistema OSA	Sólo es necesario añadir un tanque anóxico.	Mecanismo no bien conocido para su implantación a escala industrial
Depredación sobre bacterias		
Sistema en dos fases	Operación estable	Elevado coste Liberación de nutrientes
Oligoquetos	Relativamente simple	Inestabilidad Liberación de nutrientes
MBR	Flexibilidad de operación Elevada calidad del efluente	Elevado coste <i>Biofouling</i>

Tabla 1. Comparación de distintas tecnologías encaminadas a la reducción de la producción de fangos en exceso.

El presente estudio ha enfocado la reducción de la producción de fangos en exceso, producida en EDAR's FAC, sobre el cambio metabólico en la biocenosis del fango activo, ocasionado con la interrupción del aporte de oxígeno, creando unas condiciones de crecimiento cambiantes, con periodos aerobios y anaerobios.

2. MÉTODOS

Se utilizaron dos reactores de 6 L (sistema control y sistema OSA) y dos reactores de 2 L (sistema control y sistema OSA), cilíndricos, con tres salidas (toma de muestra, escape de gases, aeración) y agitación magnética (*Figura 3*).

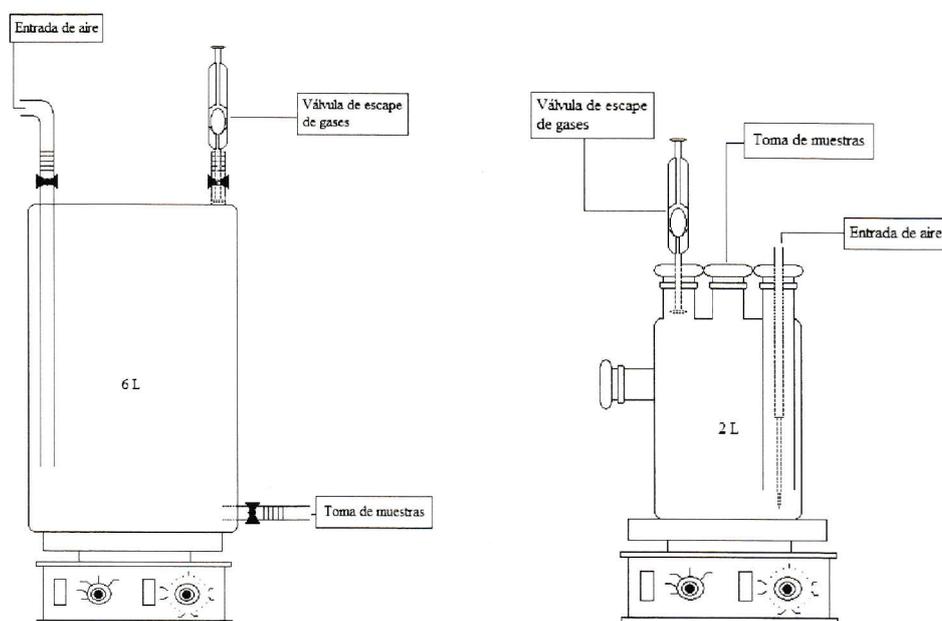


Figura 3. Reactores de 6 y 2 litros.

Para dar comienzo al proceso se tomó fango de la línea de retorno del decantador secundario, de la EDAR de Tablada (Sevilla) y se mezclaron con agua residual sintética, compuesta por medio mínimo mineral y glucosa (2 g/L) (Arnaiz et al., 2006). En la *Tabla 2* se muestran las características principales del influente: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbono Orgánico Total (COT) y Nitrato. La concentración inicial de Sólidos en Suspensión Totales (SST) en el montaje de los reactores fue de media 1500 mg/L.

Los reactores Control aireados mediante difusor colocado en la parte inferior del reactor, mantuvieron una concentración de oxígeno disuelto siempre superior a los 2 mg/L. Los reactores OSA durante la fase aerobia presentaron una concentración de oxígeno disuelto semejante a los reactores Control, mientras que en la fase anaerobia, esta descendió por debajo de 1 mg/L. Los ensayos se realizaron a una temperatura controlada de 25 °C. Se muestreó periódicamente los cuatro reactores, analizando Sólidos en Suspensión Volátiles (SSV) (APHA-AWA-WPCF, 1992). Tanto en los reactores de 6 L como en los de 2 L, el sistema OSA alternó periodos aerobios y anaerobios cada 12 horas.

CARACTERÍSTICAS DEL INFLUENTE	
Parámetro	Valor
DQO	2400 mg/L
COT	800 mg/L
Nitrato	< 0,5 mg/L

Tabla 2. Características del influente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La reducción de fangos en los reactores de 6 L (R_{SSV}), expresada en tanto por ciento de reducción de SSV, calculada a partir de la cantidad inicial y final de fangos después de 32 días de funcionamiento, se recoge en la *Tabla 3*. La reducción de fangos en el sistema OSA duplicó a la del control aerobio en las condiciones de operación, observándose un 29% frente a 14%, respectivamente.

Periodo aerobio (h)	Periodo anaerobio (h)	R_{SSV} (%)
24	-	14
12	12	29

Tabla 3. Impacto de la exposición a un periodo anaerobio sobre la reducción de fangos en el sistema OSA, medido en el día 32. Datos del control aerobio mostrado para comparación. Reactores de 6 L.

Los reactores se tuvieron en funcionamiento por un periodo total de 60 días, si bien a partir del día 32 fue imposible mantener las condiciones anaerobias en el reactor OSA en los periodos deseados. Al final del experimento la reducción de fangos en el sistema OSA fue tan solo de un 8% superior al control aerobio, con un porcentaje de volatilidad de los mismos muy similar, 49% respecto a 46%, respectivamente (*Tabla 4*).

Periodo aerobio (h)	Periodo anaerobio (h)	R_{SSV} (%)
24	-	65
12	12	73

Tabla 4. Impacto de la exposición a un periodo anaerobio sobre la reducción de fangos en el sistema OSA, medido en el día 60. Datos del control aerobio mostrado para comparación. Reactores de 6 L.

Con el objetivo de controlar más adecuadamente las condiciones anaerobias periódicas en el sistema OSA se pusieron en funcionamiento reactores de menor volumen (2 L). Los datos obtenidos para este sistema, calculados a partir de la cantidad inicial y final de fangos después de 10 días de funcionamiento, aparecen recogidos en la *Tabla 5*.

Periodo aerobio (h)	Periodo anaerobio (h)	R_{SSV} (%)
24	-	26
12	12	49

Tabla 5. Impacto de la exposición a un periodo anaerobio sobre la reducción de fangos en el sistema OSA, medido en el día 10. Datos del control aerobio mostrado para comparación. Reactores de 2 L.

En los reactores de 2 L, el sistema OSA redujo 1,8 veces más de fango que el control aerobio (*Tabla 5*). El porcentaje de reducción obtenido es equivalente al que se presentó en los reactores de 6L, solo que se consiguió en un menor periodo de tiempo (22 días menos). Esta aceleración del proceso de reducción, puede deberse a que, en este caso, se logró un mejor control de los periodos aerobio/anaerobios en el sistema OSA y a que el reactor se puso en funcionamiento en el periodo anaerobio, no en el periodo aerobio como en el reactor OSA de 6 L.

De manera similar a lo ocurrido en los reactores de 6 L, en los reactores de 2 L a partir del día 10 resultó imposible mantener las condiciones cíclicas de anaerobiosis en el sistema OSA (datos no mostrados).

Los datos anteriormente expuestos ponen de manifiesto que periodos cíclicos de anaerobiosis pueden reducir significativamente la producción global de fangos en un sistema de fangos activos convencional, hasta un 50 % en este trabajo, hipótesis también avalada por los trabajos de otros investigadores (Chen et al., 2003; Jung et al., 2006). En la bibliografía consultada, y dependiendo de las condiciones específicas de experimentación, el porcentaje de reducción varía entre el 36 y el 58 % (Chen et al., 2003; Chudoba et al. 1992a; 1992b; Jung et al., 2006).

Son varias las causas que actualmente se exponen para explicar la reducción de la producción de fangos en exceso en un sistema OSA: 1) desacoplamiento energético; 2) predominancia de organismos de crecimiento lento; 3) efecto tóxico de biocompuestos solubles sobre el metabolismo; 4) lisis celular y metabolismo endógeno, con la consiguiente reducción de la biomasa. (Chen et al., 2003; Saby et al., 2003; Jung et al., 2006). Investigaciones recientes apuntan a que es la última de las causas expuestas con anterioridad la responsable de la reducción de la producción de fango. No obstante, debido a dificultades asociadas a las técnicas de evaluación de la biomasa y a los cortos periodos de muestreo, estos trabajos no reflejan de manera clara y patente la disminución de la masa celular (DAPI, CTC, número de bacterias excretoras de enzimas) (Chen et al., 2003; Saby et al., 2003; Jung et al., 2006).

Estudios anteriores de nuestro grupo de investigación indicaron que el análisis de fosfolípidos, componentes de las membranas celulares, ofrece muchas ventajas sobre otros métodos de estimación de la biomasa celular activa (alto y constante contenido específico) y su determinación por técnicas colorimétricas es relativamente simple, reproducible y sensible (Lazarova y Manem, 1995). Los fosfolípidos constituyen entre el 90–98% de las membranas celulares, no forman parte de las reservas celulares y se degradan rápidamente durante la lisis celular. Por lo tanto, su estimación incluye sólo biomasa viva. Los fosfolípidos se han usado ampliamente en ecología microbiana y recientemente han sido aplicados a sistemas anaerobios (Arnaiz et al., 2003; 2006a; 2006b).

Las futuras líneas de trabajo se centrarán tanto en la estimación de la biomasa mediante el análisis de fosfolípidos como en el establecimiento de la duración de los ciclos aerobio/anaerobio más óptimos y eficientes en cuanto a la reducción de la producción de fangos en exceso.

4. CONCLUSIONES

La reducción de la producción de fangos en exceso puede conseguirse en un sistema OSA sometiendo al fango a periodos intermitentes de condiciones aerobias/anaerobias. La mayor parte de los problemas durante la experimentación derivaron de la dificultad de mantener las condiciones anaerobias en los periodos deseados.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a EMASESA su disponibilidad y colaboración para la toma de muestras de fangos de la línea de recirculación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abbassi B. et al., *Water Res.* 2000, 34:139-146.
APHA-AWA-WPCF, 1992. 18th ed. USA, 2-71.
Arnaiz, C. et al., *Environ. Technol.* 2003, 24: 1431-1443.
Arnaiz C. et al., *Bioresour. Technol.* 2006, 97:1179-1184.
Arnaiz C. et al. *Biochem. Eng. J.* 2006, 27: 240-245.
Chen G.H. et al., *Water Res.* 2003, 37:3855-3866.
Chudoba P. et al., *Water Sci. Technol.* 1992, 26:2477-2480.
Chudoba P. et al., *Environ. Technol.* 1992, 13:761-770.
Jung S. et al., *Biochem. Eng. J.* 2006, 27:246-251.
Lazarova V., Manem J. *Water Res.* 1995, 29:2227-2245.
Liu C., Tay J.H. *Biotechnol. Adv.* 2001, 19:97-107.
Mason C.A. et al., *FEMS Microbiol. Rev.* 1986 39:373-401.
Pollice et al., *Water. Res.* 2004, 38:1799-1808.
Rocher M. et al., *Water Sci. Technol.* 2001, 44:437-444.
Russel J.B., Cook G.M. *Microbiol. Rev.* 1995, 59:48-62.
Saby S. et al., *Water Res.* 2002, 36:656-666.
Saby, S. et al., *Water Res.* 2003, 37:11-20.
Saktaywin H. et al., *Water Res.* 2005, 39:902-910.
Wei Y. et al., *Water Res.* 2003, 37:4453-4467.
Yoon S.H., Lee, S., *Water Res.* 2005, 39:3738-3754.

**ORGANIZACIÓN DE DOCUMENTOS
VI JORNADAS TÉCNICAS DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
SOBRE MICROBIOLOGÍA DEL FANGO ACTIVO ORGANIZADAS POR GBS**

	29 DE OCTUBRE JUEVES	
		1 PONENCIAS
		P01 IMPORTANCIA DE LOS ORGANISMOS PARÁSITOS Y PATOGENOS
		P02 CONTROL DE OXÍGENO DISUELTO
		P03 ELIMINACION BIOLÓGICA DE NUTRIENTE
		P04 PARÁMETROS BIOLÓGICOS
		P05 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS
		P06 RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS
		2 MESA TECNICA MEDIDAS DE CONTROL OPERACIONAL
		MT1 MEDIDAS DE CONTROL POR P. GRANEL
		MT2 MEDIDAS DE CONTROL POR E. ALVAREZ
		MT3 MEDIDAS DE CONTROL POR E. TORO
		MT4 MEDIDAS DE CONTROL POR E. RODRIGUEZ
		MT5 MEDIDAS DE CONTROL POR C. FERRER
		MT6 MEDIDAS DE CONTROL POR J. ALBERT
		MT7 MEDIDAS DE CONTROL POR J. PALACIOS IZAGUIRRE
	30 DE OCTUBRE VIERNES	
		1 PONENCIAS
		P07 DVD IDENTIFICACION DE PROTOZOOS
		P08 ESTUDIO INTEGRADO DE UN PROCESO DE FANGOS ACTIVOS
		P09 NUEVAS NECESIDADES DEL PLAN DE SANEAMIENTO 2008-2015
		P10 CONTROL MICROBIOLÓGICO DEL ARRANQUE DE UNA EDAR CARNICA
		2 MESA REDONDA CIENTÍFICA
		MC1 CALIBRACION DEL MODELO MATEMATICO BNRM1
		MC2 ESTUDIO DEL EFECTO DE LA CONCENTRACION DE CALCIO
		MC3 TECNICAS MICROBIOLÓGICAS
		3 SESION LIBRE
		SL1 ESTUDIO COMPARATIVO CON MICROTOX
		SL2 CONTROL MICROBIOLÓGICO OPERACIONAL
		SL3 CONTROL INTELIGENTE PARA EDARS
		SL4 REDUCCION DE LA PRODUCCION DE FANGOS

.../...

.../...

	DOCUMENTACIÓN ADICIONAL
	CONCURSO DE FOTOGRAFIA
	CONCURSO DE MICROFOTOGRAFIA 2009
	INFORMACION SOBRE GBS
	ESTATUROS DE LA ASOCIACIÓN GBS
	PREINSCRIPCIÓN SOCIO
	¿QUÉ ES GBS?
	MICROBIOLOGIA
	1er. Premio. IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS
	2º Premio. CONTROL DE LA PRODUCCIÓN DE SULFURO
	3er. Premio. APLICACIÓN DE LA RESPIROMETRÍA
	PREMIOS DE MICROBIOLOGÍA
	RESUMENES DE PANELES
	PA01 HUEVOS DE NEMATODOS
	PA02 CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES DE PROTISTAS
	PA03 ESTUDIO DE LA POBLACIÓN MICROBIANA
	PA04 DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
	PA05 REUTILIZACIÓN DEL AGUA
	PA06 MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DE LA CINÉTICA
	PA07 PARÁMETROS BIOLÓGICOS
	PA08 DEMO INTERLABORATORIOS
	PA08 EJERCICIOS INTERLABORATORIOS
	PA09 EVOLUCIÓN ANALÍTICA DE EDARs DE BADAJOZ
	PA10 OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA
	PA11 IDENTIFICACIÓN DE LA TÉCNICA FISH
	PA12 BIBLIOTECA EN RED DE GBS