

**Resumen**

La mayor parte de las estaciones depuradoras de aguas residuales tienen sistemas biológicos aerobios de fangos activados. Existen unos parámetros de operación básicos que deben tenerse en cuenta para el buen funcionamiento del sistema. El fango activado debe eliminar la materia orgánica eficazmente y a la vez debe mostrar una buena decantabilidad para que pueda separarse del agua depurada.

En ocasiones, se produce una proliferación excesiva de bacterias filamentosas, dando lugar a un abultamiento del fango ("bulking"), lo que impide la correcta decantación del fango. Algunas de estas bacterias pueden dar lugar también a la formación de espumas ("foaming"). Para controlar estas disfunciones que aparecen con frecuencia en las depuradoras, es de gran importancia identificar correctamente las bacterias filamentosas, ya que la solución más adecuada depende de los tipos filamentosos presentes.

En el presente trabajo se revisan los parámetros de operación de las EDAR, los aspectos fundamentales del examen microscópico del fango, los métodos de identificación de las bacterias filamentosas, los principios microbiológicos que rigen el comportamiento de estas bacterias, y las estrategias para controlar los fenómenos del "Bulking" y del "Foaming".

**Palabras clave:**

Bulking, foaming, microorganismos filamentosos, fangos activados, EDAR.

**Abstract*****Bulking and foaming control in activated sludge process.***

The activated sludge process is the most widespread technology in wastewater treatment plants. Some basic operational parameters must be controlled for a correct performance of the process. Activated sludge must remove organic pollution efficiently but also should have good settling properties to clear treated wastewater.

Proliferation of filamentous microorganisms is common in activated sludge process and give rise to bulking problems. Some of these microorganisms can also produce foaming problems. Occurrence of filamentous microorganisms depends on different causative conditions. Correct identification of filamentous microorganisms is therefore essential for bulking and foaming control.

Operational parameters of activated sludge process, microscopic examination of sludge, as well as identification methods of filamentous microorganisms, microbiological basis for understanding behaviour of these bacteria, and bulking and foaming control strategies are reviewed.

**Keywords:**

Bulking, foaming, filamentous microorganisms, activated sludge, wastewater treatment plant.

# Los fenómenos del "bulking" y "foaming" en las estaciones depuradoras de aguas residuales

Por: **José Miguel Carreller Rosa**. Dr Farmacia. Gestor de Medioambiente  
S.A. DAMM, P.I. Manso Mateu s/n,  
08.820 El Prat de Llobregat. Tel 934 109 191

**1. Introducción**

En el conjunto de una EDAR, el tratamiento biológico o tratamiento secundario constituye una de las etapas fundamentales, en la que la mayor parte de la carga orgánica es eliminada por la biomasa presente. El sistema biológico más ampliamente extendido en las estaciones depuradoras de aguas residuales, y especialmente en las urbanas, es el sistema biológico aerobio de fangos activados en suspensión.

Los fangos activados están constituidos por una gran variedad de microorganismos, pero mayoritariamente por bacterias, en menor proporción por protozoos, y ocasionalmente puede observarse la presencia de invertebrados inferiores. Se trata por tanto de un consorcio de microorganismos interrelacionados entre sí y, por tanto, son sistemas complejos y delicados cuyo comportamiento es en ocasiones difícil de predecir. En cualquier caso, para comprender y controlar los sistemas de fangos activados deben tenerse presente las leyes

que rigen el comportamiento de los microorganismos.

En el presente trabajo se revisan los parámetros de operación de los sistemas biológicos de las EDAR, los aspectos fundamentales del examen microscópico del fango, los métodos de identificación de las bacterias filamentosas, los principios microbiológicos que condicionan el comportamiento de estas bacterias, y las estrategias para controlar los fenómenos del "Bulking" y del "Foaming".

## 2. Parámetros de operación de los sistemas biológicos aerobios de fangos activados

Un sistema biológico aerobio convencional de fangos activados, reactor biológico de biomasa en suspensión, con decantador secundario, es desde el punto de vista microbiológico, un reactor en continuo con recirculación de biomasa (**Figura 1**). Existen unos parámetros básicos que deben considerarse para el buen funcionamiento del sistema:

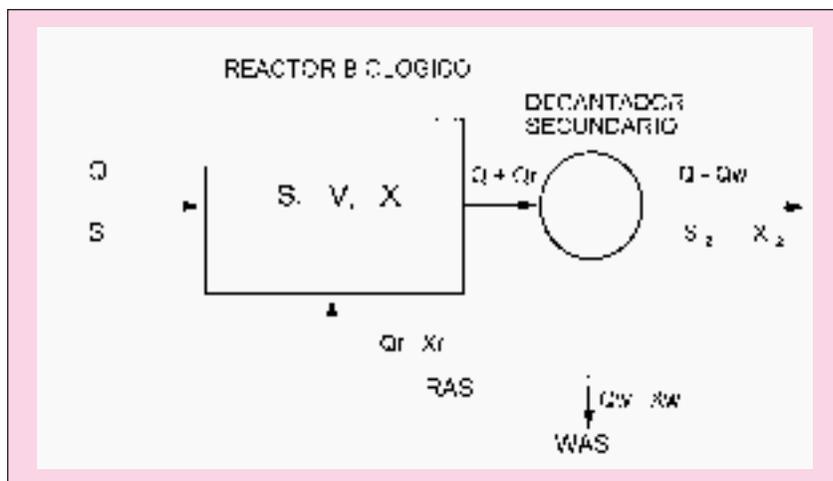


Fig. 1. Reactor biológico de fangos activados con decantador secundario.

### 2.1. Entrada al reactor biológico:

- **Q:** Caudal diario ( $m^3/d$  ó  $m^3/h$ ).
- **$S_1$ :** Concentración de sustrato o materia orgánica, se expresa como  $DBO_5$  ó  $DQO$  ( $mg O_2/l$ )
- **F:** Es la carga orgánica de  $DBO_5$  ó  $DQO$  que entra diariamente en el reactor y se expresa en  $kg O_2/d$ .

### 2.2. Reactor biológico:

- **V:** es el volumen del reactor ( $m^3$ ).
- **X:** Es la concentración de biomasa o fango activado, suele medirse como  $SSVLM$  (sólidos en suspensión volátiles en el licor mixto), aunque algunos autores prefieren expresarlo como  $SSLM$ . (se expresa en  $mg/l$  ó en  $g/l$ ).
- **S:** Es la concentración de sustrato que hay en el reactor biológico. Suele medirse como  $DBO_5$  ó  $DQO$ s (soluble), en  $mg O_2/l$ .
- **M:** Es la biomasa total, es decir, la masa total de fangos existentes en el reactor biológico, se expresa en  $kg$  de  $SSVLM$  o también  $kg$  de  $SSLM$ .
- **F/M:** Denominada carga másica ("food to microorganisms ratio" o "feed/mass"), es la relación entre la carga orgánica diaria F y la biomasa M presente en el reactor. Según los autores se expresa como  $kg$  de  $DBO_5/kg SSVLM \cdot d$ , ó como  $kg DQO/kg SSLM \cdot d$ . Los valores normales de carga másica

para sistemas biológicos convencionales de carga media, oscilan entre 0,2 y 0,6 (6, 8). En los sistemas aerobios con oxígeno puro es recomendable trabajar a valores de carga másica superiores a 0,5 (9).

- **RAS** ("return activated sludge") es la recirculación del fango decantado en el decantador secundario. Tiene que tenerse presente el caudal de recirculación  $Q_r$  normalmente entre el 50 y el 100% del caudal de entrada al reactor biológico (11), y  $X_r$  o la concentración de SST ( $mg/l$ ). El caudal de entrada al decantador secundario será la suma  $Q + Q_r$ .
- **WAS** ("waste activated sludge"). Son los fangos purgados del sistema biológico. Normalmente la concentración de sólidos  $X_w$  (SST en  $mg/l$ ) suele ser la misma que  $X_r$ . El caudal de salida por el decantador secundario será la diferencia entre  $Q$  y  $Q_r$ .
- **$\theta_x$ :** Es la edad del fango. También se le conoce como SRT ("solids retention time") ó MCRT ("mean cell residence time"). Es la relación entre la biomasa total M ( $kg$  de  $SSLM$  en el reactor) y la biomasa purgada diariamente del sistema ( $kg$  SST/d). Debe purgarse diariamente la misma cantidad de fangos que se producen en el sistema para mantener la

biomasa constante. La edad del fango se expresa en días.

- **pH:** Debe encontrarse preferentemente entre 6,5 y 8, dado que el pH óptimo de las bacterias (componentes mayoritarios de la biomasa) está entre 7 y 7,5. Este valor se puede controlar mediante un pH-metro en el reactor o a la entrada al mismo y puede mantenerse mediante la adición de ácidos o álcalis.
- **Temperatura:** La actividad de los microorganismos está influenciada por la temperatura. Los sistemas biológicos aerobios de fangos activados trabajan con floras bacterianas mesófilas y por tanto es deseable que la temperatura esté por encima de los  $15^\circ C$  y que no supere los  $35^\circ C$ . Normalmente la temperatura del reactor está varios grados por encima de la temperatura media del agua que entra debido al calor metabólico disipado como consecuencia de la oxidación biológica de la materia orgánica.
- **Nutrientes:** Dado que en un reactor biológico se está formando biomasa a expensas del agua residual, y que para la formación de la biomasa es necesario un equilibrio entre la fuente de carbono (expresado como  $DBO_5$  ó  $DQO$ ), el nitrógeno y el fósforo, debe controlarse que el agua de entrada al reactor biológico mantenga este equilibrio. La relación adecuada  $DBO_5 : N : P$  es de  $100 : 5 : 1$ . Según el tipo de industria y sobre todo la edad del fango, la  $DBO_5$  puede tener valores más altos (2). El nitrógeno se suele expresar como nitrógeno total Kjeldahl (NTK), y el fósforo suele expresarse como fósforo total aunque algunos autores prefieren considerar sólo los ortofosfatos. Normalmente las aguas residuales urbanas no suelen tener déficit de nutrientes, mientras que en las industriales es frecuente que exista déficit de nitrógeno, de fósforo, o de ambos. El ajuste en la dosificación de nutrientes debe

realizarse dosificando la cantidad teórica más alta e ir disminuyendo la dosis hasta que se aprecie bien por disminución en el rendimiento de depuración o por proliferación de algún tipo filamentoso, que empieza a existir déficit.

- **OD:** La concentración del oxígeno disuelto es esencial para el buen funcionamiento de los sistemas aerobios. Normalmente no debe ser inferior a 2 mg/l (9), y debe controlarse mediante un oxímetro, y suministrar más aire u oxígeno si la concentración descende. Algunos sistemas biológicos con oxígeno puro pueden llegar a trabajar a concentraciones de hasta 15 - 20 mg/l (4), si bien es recomendable mantener concentraciones de 6 mg/l (2).
- **OUR / SOUR** Las tasas de respiración OUR ("oxygen uptake rate") y SOUR ("specific oxygen uptake rate"), indican la velocidad de consumo de oxígeno en el reactor. OUR se expresa como mg O<sub>2</sub>/l h y SOUR como mg O<sub>2</sub>/g SSVLM h. Son dos parámetros relacionados entre sí por la concentración de biomasa en el reactor (SSVLM) y aunque son parámetros más utilizados para dimensionar reactores biológicos, es recomendable determinarlos con una cierta periodicidad (10). Dan una idea de la biodegradabilidad del agua y de la actividad del fango. Puede ser un buen indicador en caso de que se haya producido un "shock tóxico" o si se está procediendo a la cloración del fango.

### 2.3. Decantabilidad del fango

Además del buen funcionamiento del sistema biológico, el fango debe mostrar una buena decantabilidad para que pueda separarse del agua depurada en el decantador secundario. La UNIDAD FUNCIONAL que tiene que depurar y a la vez separarse por decantación es el FLÓCULO que se encuentra pre-

sente en el fango activado del reactor biológico. Los parámetros que definen la decantabilidad de los fangos son:

- **V<sub>30</sub>** : Es el volumen que ocupa el fango cuando un litro de muestra del reactor es decantado durante 30 minutos. Aunque este parámetro es dependiente de los sólidos en suspensión, es un indicador inmediato de si el fango es compacto y decantará bien, o si empieza a abultarse. Se expresa en ml/l.
- **IVF:** El índice volumétrico de fangos (IVF) es el volumen que ocupa 1 g de fango. En general se considera que si el IVF no debe superar el valor de 150, sin embargo es difícil precisar un valor por encima del cual pueda producirse pérdida de fango ya que la eficiencia de un decantador secundario no sólo depende del IVF sino también de otros factores como las dimensiones del decantador, los SSLM, la composición del efluente (por ejemplo, concentración de sales, DQO) etc.  

$$IVF = V_{30} \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1} / \text{SSLM g} \cdot \text{l}^{-1}$$

Si alguno de los parámetros arriba mencionados no se encuentra en los valores adecuados, el sistema biológico puede funcionar deficientemente, o la decantabilidad de los fangos puede verse comprometida por una alteración en la morfología del flóculo.

### 3. Los fenómenos de "bulking" y del "foaming"

El "BULKING" (abultamiento), es un fenómeno en el cual, el fango activado que habitualmente se separa eficazmente en el decantador secundario debido a una correcta floculación, pierde esta capacidad de decantar debido generalmente a la proliferación excesiva de bacterias filamentosas, siendo el resultado un incremento en el volumen del fango (hinchamiento o "bulking"). Esto se evidencia por un incremento en la V<sub>30</sub> y por consiguiente en el IVF. Como consecuencia se produce una pérdida de fango en el decantador

*Algunos de estos microorganismos filamentosos pueden dar lugar a la formación de espumas (foaming)*

secundario, lo que conduce a una disminución de la biomasa en el sistema biológico y por lo tanto a una disminución en la eficiencia de depuración. Las deficiencias en la decantabilidad de los fangos pueden ser también debidas a un flóculo muy pequeño ("Pin point floc") que puede acabar en un crecimiento disperso (ausencia de flóculo). En este caso lo que se observa es un efluente turbio por el decantador secundario. En ocasiones se desarrolla un tipo de microorganismo no filamentoso conocido como "*Zooglea ramigera*" que puede dar lugar al denominado bulking zooglear. Estas bacterias tienden a agregarse dando lugar a formaciones ramificadas, que interfieren en la decantación de manera similar a las bacterias filamentosas. En este caso se observa un fango viscoso debido a las cápsulas celulares producidas por dichos microorganismos (9).

Algunos de estos microorganismos filamentosos pueden dar lugar a la formación de espumas ("FOAMING"). En estos casos, estos microorganismos tienden a acumularse por flotación en la superficie del reactor biológico, empujados por las burbujas de aire, y favorecidos también por la presencia de materias grasas en el reactor, dando lugar a unas espumas densas, de color marrón, que pueden llegar a tener una gran consistencia, constituyendo en ocasiones un grave problema eliminarlas. No todas las espumas son producidas por bacterias filamento-

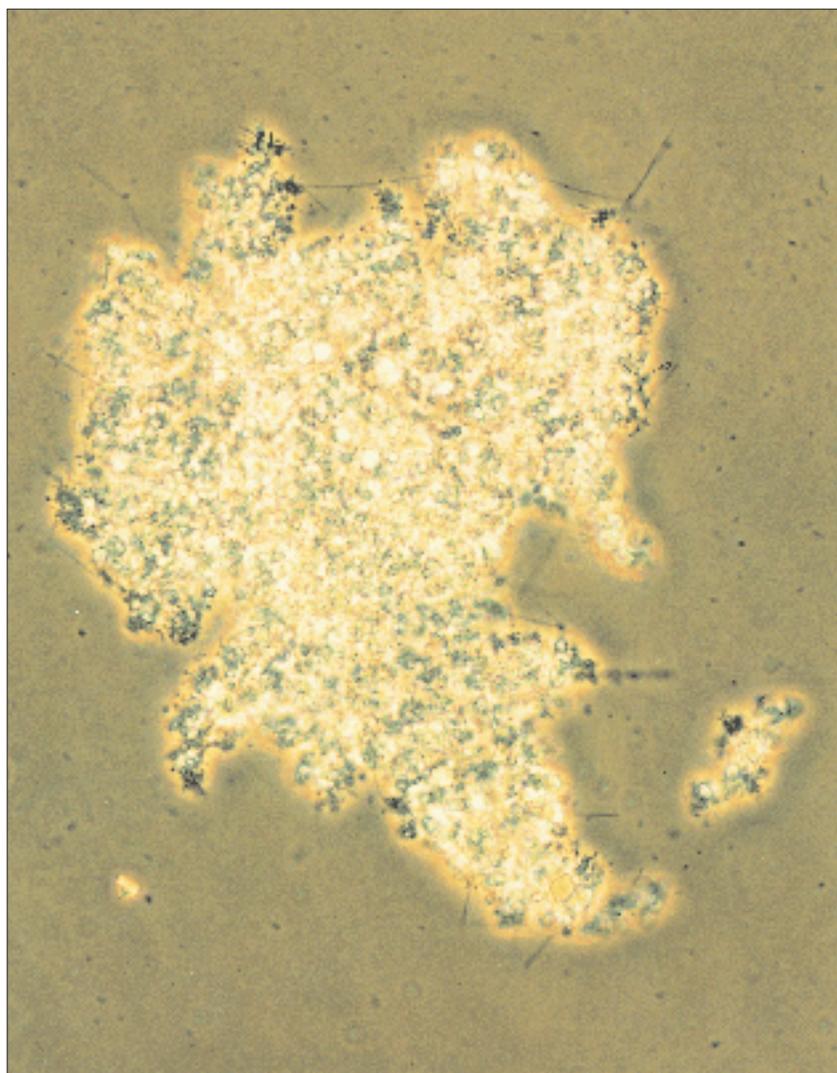


Fig. 2. Flóculo bien formado con algunas bacterias filamentosas que ayudan a mantener su estructura. Contraste de fase 200 aumentos.

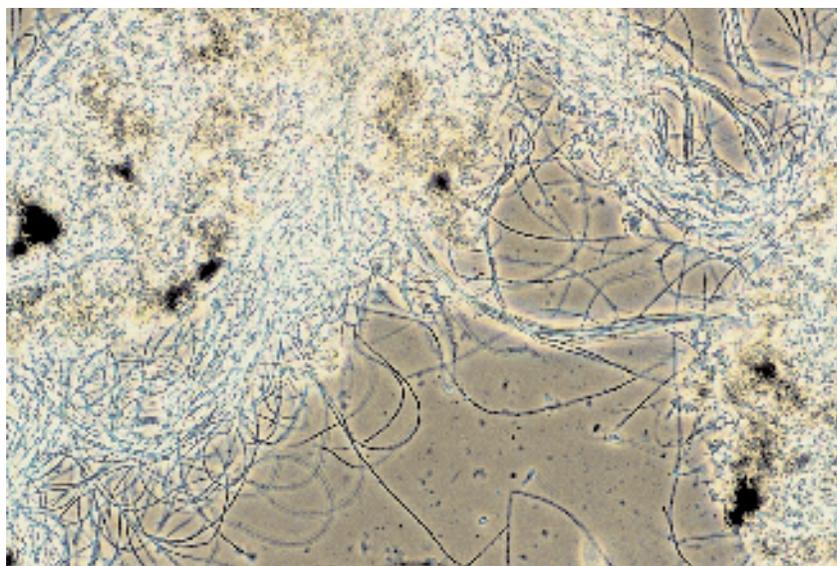


Fig. 3. Presencia de bacterias filamentosas que originan puentes entre los flóculos. Contraste de fases 200 aumentos.

sas. Cuando se procede a la arrancada de un reactor biológico, o cuando viene una alta carga orgánica, o un aporte de detergentes o tensioactivos, pueden formarse también espumas, en estos casos son normalmente de color blanco. En algunos casos aparecen espumas tan sólo en los decantadores secundarios como consecuencia de procesos de desnitrificación. En estos casos el nitrógeno liberado empuja el fango hacia la superficie del decantador.

Los fenómenos, del “bulking” y “foaming” son uno de los problemas más frecuentes y más difíciles de solucionar con los que se enfrentan los responsables de las estaciones depuradoras. Para poder solucionar estas disfunciones es de capital importancia realizar una observación microscópica detallada del fango, identificar los microorganismos filamentosos responsables y elegir la solución más adecuada en función de los microorganismos identificados.

#### 4. Observación microscópica del fango

La observación microscópica del fango es uno de los análisis rutinarios más importantes que deben ser realizados en una planta de fangos activados. De la observación del aspecto del fango puede deducirse si el sistema está bien equilibrado o existe alguna disfunción. Para la observación microscópica precisamos de un microscopio de campo claro y con contraste de fases, los reactivos para la coloración de Gram, de Neisser, la tinción de PHB (poli  $\beta$ -hidroxibutirato), y el test del azufre.

En el examen microscópico tenemos que observar fundamentalmente:

1. El tamaño, y la morfología del flóculo, la presencia y abundancia de microorganismos filamentosos, y su efecto en el flóculo.
2. La presencia de los tipos de protozoos y de invertebrados inferiores.

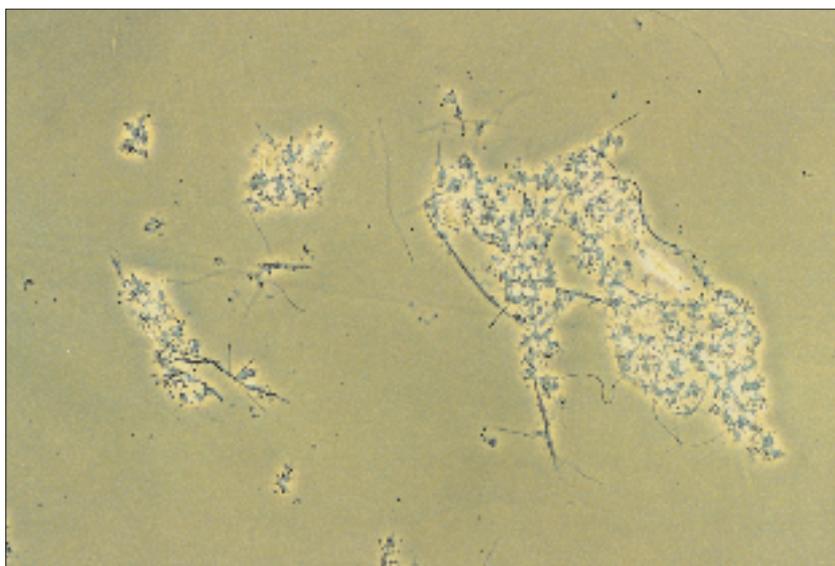


Fig. 4. Presencia de bacterias filamentosas que originan un flóculo de estructura abierta. Contraste de fases, 200 aumentos.

3. La identificación de los microorganismos filamentosos, y la determinación de los tipos mayoritarios.

#### 4.1. Examen microscópico del flóculo

La observación microscópica se realiza primeramente en contraste de fases a 100 o 200 aumentos para ver el aspecto del flóculo. En general en los fangos activados existe una cierta cantidad de bacterias filamentosas. Es deseable que se encuentren en cierta proporción ya

que ayudan a la formación del flóculo, dándole consistencia, como si se tratara de la espina dorsal del mismo (figura 2). Una proliferación excesiva de bacterias filamentosas puede dar lugar a la unión entre flóculos ("interbridging") con lo que el flóculo no actúa como una unidad independiente a la hora de decantar (figura 3), o puede también dar lugar a un flóculo difuso (figura 4), de estructura abierta y poca consistencia ("open floc structure"). En ambos casos el fango muestra una pobre decantabilidad.

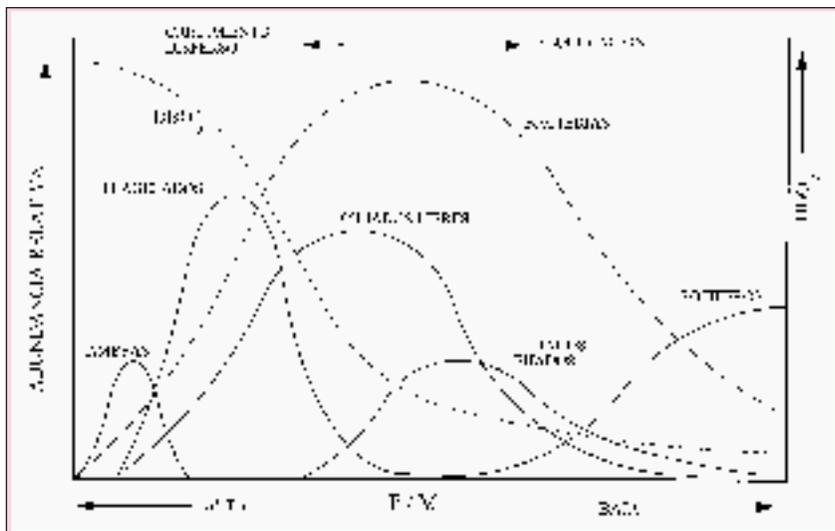


Fig. 5. Abundancia relativa de protozoos e invertebrados inferiores en un fango activado.

#### 4.2. Observación de protozoos e invertebrados inferiores

La presencia y abundancia relativa de protozoos e invertebrados inferiores puede indicar si el sistema se encuentra bien equilibrado. Este examen se realiza igualmente a 100, 200 o 400 aumentos, preferentemente en contraste de fases, no se requieren tinciones adicionales, y no existe una necesidad de identificar específicamente los géneros o especies de protozoos presentes. Una abundancia excesiva de flagelados, amebas y ciliados libres de pequeño tamaño indica que existe una sobrecarga orgánica. Una abundancia de ciliados fijados e invertebrados inferiores especialmente rotíferos y también nemátodos, indica que el sistema está trabajando a una carga demasiado baja. La ausencia (desaparición) súbita de protozoos e invertebrados inferiores puede indicar que se ha producido un "shock" tóxico. Esta situación también se da cuando se produce una sobrecloración del fango para eliminar bacterias filamentosas. En un sistema bien equilibrado, existe una buena diversidad de protozoos con un predominio de ciliados libres y fijados (5, 9). En la figura 5 puede observarse la relación entre la abundancia relativa de los distintos grupos de protozoos e invertebrados inferiores, y la concentración de sustrato presente en el medio.

#### 4.3. Identificación de microorganismos filamentosos

La identificación de los microorganismos filamentosos debe realizarse preferentemente a 1.000 aumentos en contraste de fases. Si se considera oportuno pueden realizarse las tinciones de Gram, Neisser y PHB, y así como el test del azufre, para confirmar la identificación.

Para poder identificar los tipos de microorganismos filamentosos, hoy por hoy sólo se dispone de un conjunto de características morfológicas, así como las tinciones y los test



anteriormente mencionados. Entre las características morfológicas tienen que considerarse:

- **Filamento:** Morfología, longitud, diámetro, localización respecto al flóculo (dentro del flóculo, extendiéndose hacia el exterior, o libre en el líquido), presencia de vaina, presencia y aspecto de los septos que separan las células entre si, existencia de crecimiento adherido (bacterias epifíticas), de gránulos de S, (con ó sin el test), y de inclusiones como el PHB.
- **Célula:** Morfología y tamaño celular.

Los métodos convencionales de identificación de microorganismos suponen un aislamiento previo en medios de cultivo, y posteriores pruebas fenotípicas, quimiotaxonómicas y genéticas. Desgraciadamente la mayor parte de los microorganismos filamentosos responsables de procesos de "Bulking" o "Foaming" no han podido aislarse todavía o su aislamiento es sumamente complicado, y por lo tanto no existe una descripción taxonómica adecuada que permita definirlos. De hecho, la mayoría de ellos no se han conseguido aislar.

Después de examinar un gran número de muestras de fangos de muchas depuradoras, Eikelboom (3), desarrolló en 1975 una nomenclatura basada en la observación microscópica de unas características morfológicas, para referirse a una serie de "tipos de microorganismos filamentosos" que aparecían repetidamente. Esta nomenclatura, revisada y actualizada, así como los criterios de evaluación del flóculo y de la abundancia de filamentosas, los métodos de tinción y los test complementarios de identificación, fueron posteriormente recopilados en un manual por Jenkins, Richard y Daigger (4), y en la actualidad este manual es el punto de referencia obligado, y sigue vigente a pesar de que ya se están desarrollando métodos moleculares de identificación, más objetivos y más específicos. A efectos prácticos la obser-

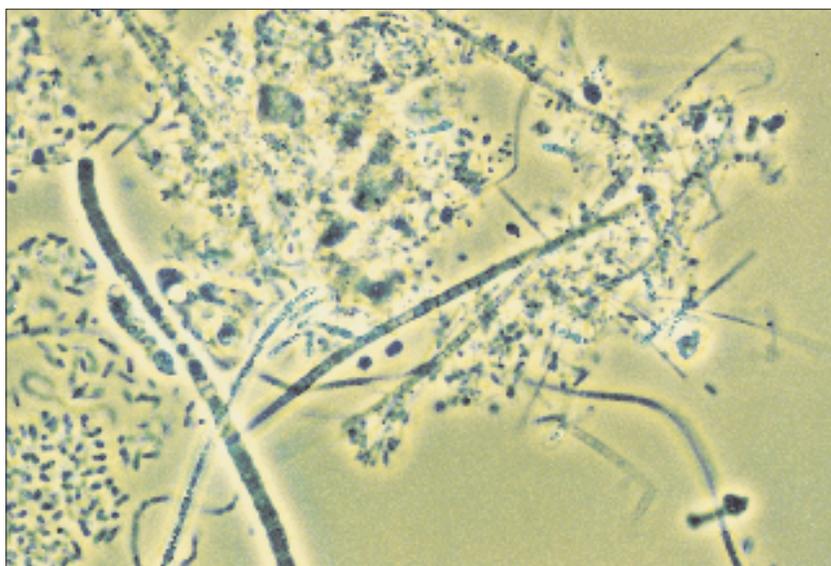


Fig. 6. Presencia de varios tipos de bacterias filamentosas. Pueden apreciarse varios tipos morfológicos en base a su morfología y dimensiones. Contraste de fases, 1.000 aumentos.

vación microscópica es suficiente para identificar estos microorganismos, y por lo tanto, para encontrar la solución más adecuada. En la **tabla 1** se recogen los tipos de microorganismos filamentosos mas frecuentes en base a las claves de identificación del citado manual. Todos los microorganismos presentes en la tabla están relacionados con fenómenos de bulking excepto *Nocardia* y el tipo 1863 que producen "foaming". *M. parvicella* puede producir episodios de "bulking" y de "foaming". En la **figura 6** pueden apreciarse las diferencias morfológicas de varios tipos filamentosos.

La identificación de microorganismos filamentosos no es tarea fácil, y se requiere una gran experiencia para una correcta identificación. Cuando existe alguna duda en cuanto a la fiabilidad de la identificación, es muy recomendable contrastar con otra persona más experimentada el resultado de la identificación.

## 5. Control del "bulking"

### 5.1. Métodos específicos:

Los fenómenos del "bulking" y del "foaming" son fenómenos muy complejos desde el punto de vista microbiológico. En esencia es un

**Tabla 2**

| Relación entre los tipos de microorganismos filamentosos y las causas que originan su proliferación |   |
|---|---|
| Causa   | Tipos de microorganismos filamentosos   |
| Oxígeno disuelto bajo   | Tipo 1701, <i>S. natans</i> , <i>H. hydrossis</i>   |
| Septicidad (sulfuros)   | <i>Thiothrix spp</i> , <i>Beggiatoa</i> , tipo 021N   |
| Déficit de nutrientes (N,P)   | <i>Thiothrix spp.</i> , <i>S. natans</i> , tipo 021N y posiblemente <i>H. hydrossis</i> , y tipos 0041 y 0675 |
| Carga másica (F/M) baja   | <i>M. parvicella</i> , <i>H. hydrossis</i> , <i>Nocardia spp.</i> , Tipos 021N, 0041, 0675, 0092, 0961        |
| pH bajo (< 6,5)   | Hongos  |

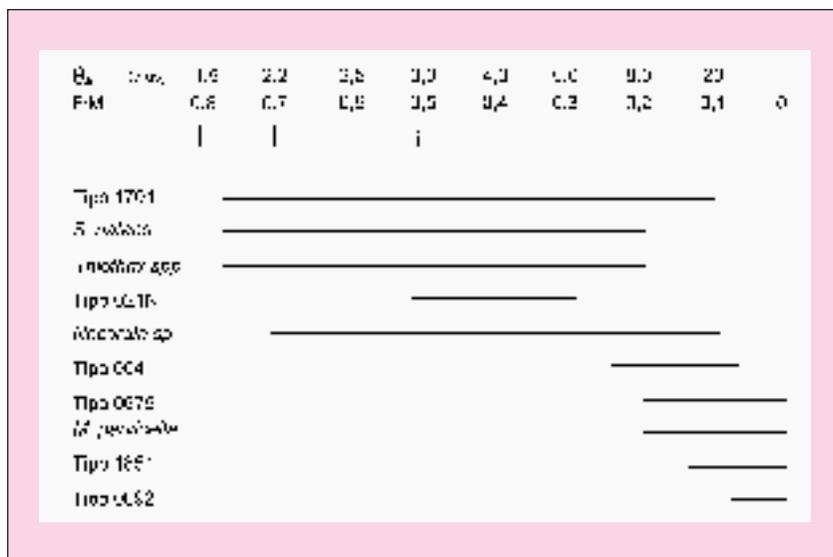


Fig. 7. Crecimiento de microorganismos filamentosos en función de la carga másica F/M, o de la edad del fango  $\theta_x$ .

problema de competencia cinética y metabólica entre dos tipos de microorganismos diferentes: Los formadores del flóculo, y los filamentosos. Existen muchas causas que suponen una ventaja selectiva a los microorganismos filamentosos. Algunas de estas causas son conocidas. La identificación es de gran importancia porque no todos los microorganismos filamentosos proliferan por las mismas causas. En la **tabla 2**, se relacionan algunas de las principales causas, los microorganismos filamentosos que proliferan en estas condiciones (9). Los métodos específicos se basan en prevenir o controlar las causas que favorecen la proliferación de los microorganismos identificados, es decir, incrementando la concentración de oxígeno disuelto, dosificando los nutrientes deficitarios, evitando o controlando la presencia de sulfuros, o corrigiendo el ratio F/M (4, 9). En la **figura 7** se relacionan los valores de carga másica y de edad del fango a las cuales proliferan algunos microorganismos filamentosos. Cuando la causa es una carga másica baja, es recomendable disminuir la edad del fango hasta valores inferiores a 3 días si es posible (11).

Además de las causas citadas, las bacterias filamentosas tienen una

velocidad de crecimiento  $\mu$ , mayor que las formadoras del flóculo, a concentraciones de sustrato más bajas. La relación concentración de sustrato/velocidad de crecimiento viene dada por la ecuación de Monod (**figura 8**). La constante de semisaturación ( $K_s$ ) representa la concentración de sustrato a la que la velocidad de crecimiento de una

bacteria dada es la mitad de la máxima. Las bacterias filamentosas tienen para diferentes sustratos, valores de  $K_s$  notablemente más bajos, lo que indica que están muy bien adaptadas para desarrollarse a concentraciones bajas de materia orgánica (1). En la **figura 9** puede observarse este diferente comportamiento entre las bacterias formadoras del flóculo y las filamentosas. Este comportamiento se acentúa cuando el agua residual es muy fácilmente biodegradable. En estas condiciones es recomendable cambiar la configuración del reactor (si ello es posible) de mezcla completa a flujo pistón. Puede igualmente controlarse el bulking mediante la inclusión de un selector en el cual el fango recirculado se mezcla con el agua de entrada al reactor en un depósito previo de menor tamaño. En estas condiciones se consigue favorecer el crecimiento de las bacterias formadoras del flóculo, de tal manera, que en el cómputo final no se produzca sobrecrecimiento de las bacterias filamentosas respecto a las del flóculo (**figura 10**). Los selectores

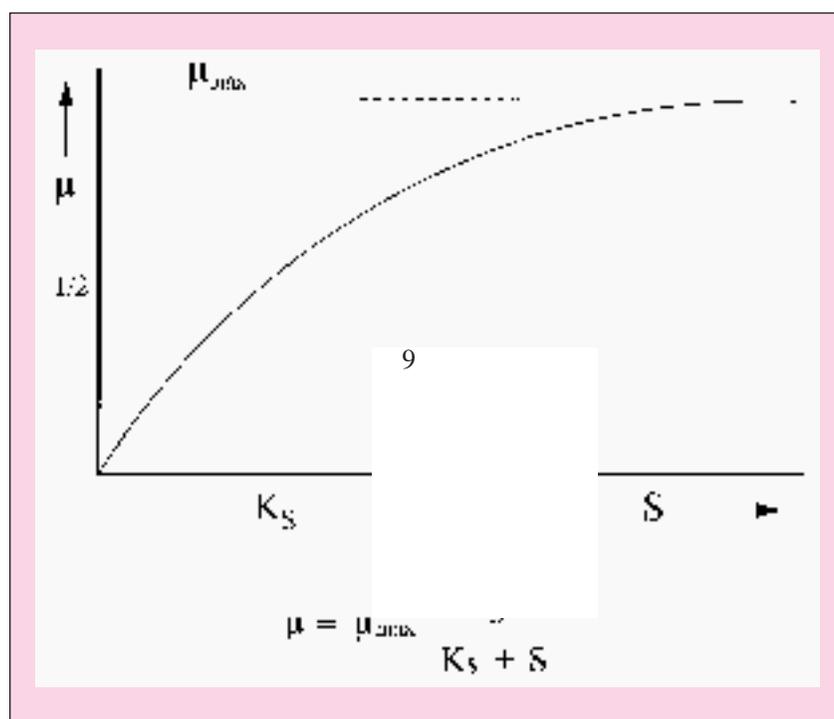


Fig. 8. Relación entre la velocidad de crecimiento de un microorganismos ( $\mu$ ), y la concentración de sustrato (S), según la ecuación de Monod.

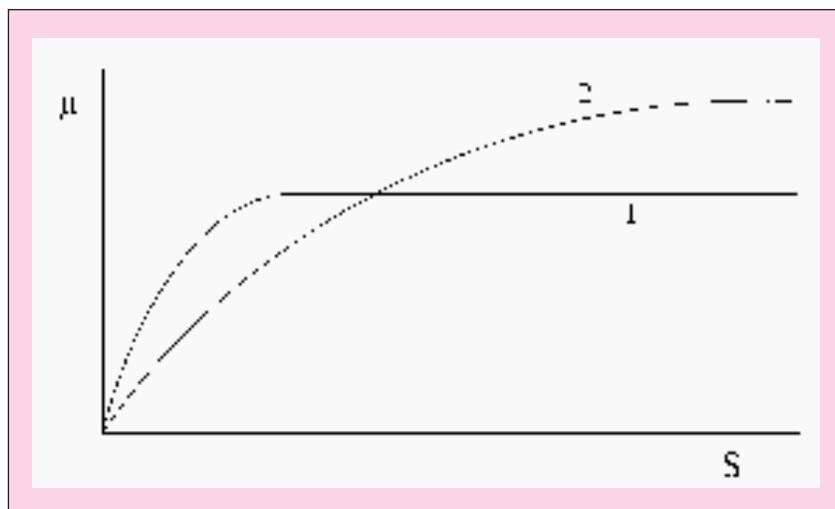


Fig. 9. Comparación entre dos modelos cinéticos de crecimiento:  
Las bacterias filamentosas (1) tienen mayor velocidad de crecimiento a concentraciones bajas de sustrato.  
Las bacterias formadoras de floculo (2) crecen más rápidamente a concentraciones altas de sustrato.

pueden trabajar en condiciones óxicas, anóxicas o anaerobias dependiendo de los tipos filamentosos predominantes (11).

La gravedad de un proceso de bulking depende del grado de predominio de los microorganismos filamentosos y del tipo predominante. En general las bacterias filamentosas de mayor tamaño (longitud y robustez) son las que producen los efectos más indeseables.

### Métodos inespecíficos:

Se basan en incrementar la sedimentabilidad de los fangos en el decantador secundario, mediante la adición de floculantes como el cloruro férrico, alúmina, polielectrólitos, o bien por la adición de agentes inhibidores como el cloro (el más utilizado), el ozono, o más raramente el peróxido de hidrógeno (4). La cloración es el último recurso que debe utilizarse, cuando todas las estrategias no han dado resultado. En este caso lo que se consigue es matar las bacterias filamentosas que se extienden hacia fuera del floculo, aunque se matan también las bacterias del floculo situadas más al exterior. Aunque se matan y a veces se fragmentan parcialmente las filamentosas, físicamente los filamentos o las vainas persisten en el reac-

tor por lo que suelen ser necesario unos días hasta que los filamentos son eliminados del sistema. Los puntos de adición quedan ilustrados

en la **figura 11**, siendo la recirculación del fango (RAS) el punto más recomendable (4).

### 5. Control del "foaming"

El control del "foaming" se basa en los mismos principios que los mencionados para el "bulking": Identificar el agente causal, y eliminar la causa que favorece su proliferación. En algunos casos la presencia de materias grasas (desengrasador que funcione deficientemente) en el biológico predispone o agrava un proceso de "foaming". Normalmente los mejores resultados se consiguen instalando "sprays" en las zonas donde se ponen espumas, disminuyendo la edad del fango, o disminuyendo la aireación (7). El tipo 1863 produce espumas de poca trascendencia, mientras que *Nocardia* que predomina en países o en épocas del año cálidas, y *Microthrix parvicella* que predomina en países

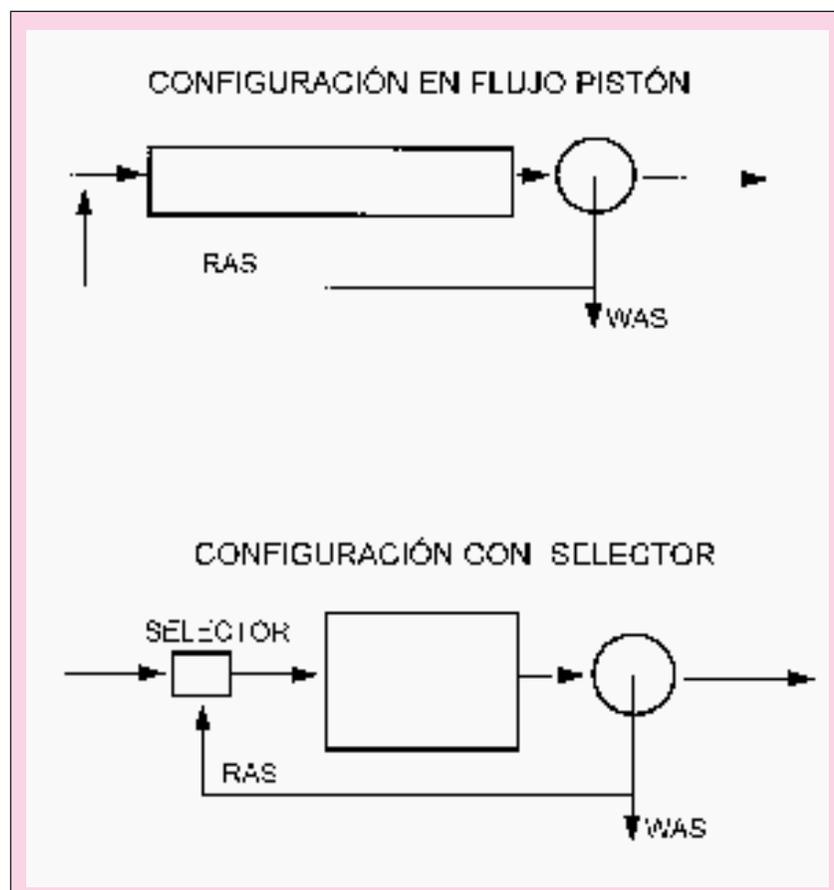


Fig. 10. Control cinético del "bulking" utilizando la configuración de flujo en pistón o mediante la incorporación de un selector.

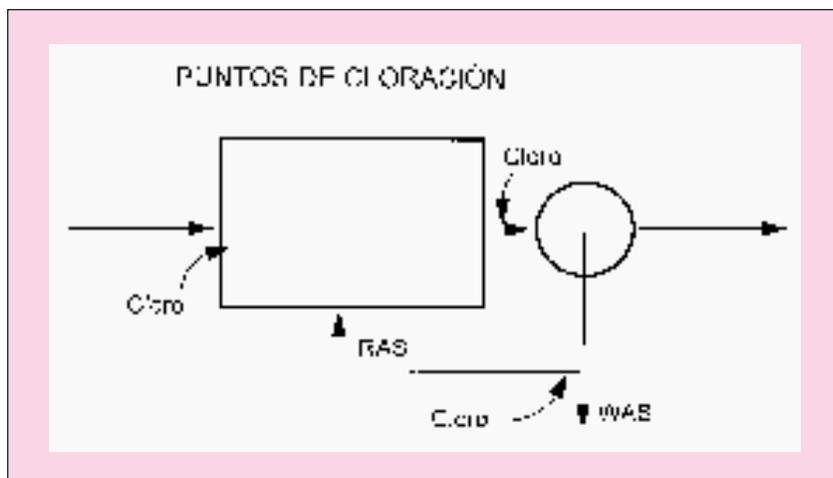


Fig. 11. Control del "bulking" mediante la adición de hipoclorito

o en épocas del año más frías, dan lugar a episodios de "foaming" más graves.

## 6. Bibliografía

1. Chudova, J. 1985. "Control of activated sludge filamentous bulking" - VI: Formulation of basic principles". Water res. 19(8): 1017-1022.
2. Eckenfelder, W.W. y J.L. Musterman. 1995. "Activated sludge treatment of industrial wastewater". Technomic publishing. Lancaster, PA.
3. Eikelboom, D. 1975. "Filamentous organisms observed in activated sludge". Water res. 9: 365-388
4. Jenkins, D., M.G. Richard y G.T. Daigger. 1993. "Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming". 2nd Ed.. Lewis publishers. Chelsea. MI
5. Madoni, P. 1994. "A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis". Water res. 28 (1): 67-75.
6. Metcalf-Eddy. 1994. Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Ed.. Labor.
7. Pitt, P. y D. Jenkins. 1990. "Causes and control of Nocardia in activated sludge". J. Water Pollut. Control Fed. 62(2): 143-150.
8. Ramalho, R.S. 1993. Tratamiento de aguas residuales.. De. Reverté. Barcelona.
9. Richard, M.G. 1989. "Activated sludge Microbiology" Water Pollution Control Federation. Alexandria. VA
10. Spanjers, H., P. Vanrollenghem, G. Olsson y P. Dold. 1996. "Respirometry in control of the activated sludge process". Wat. Sci. Technol. 34:117-126.
11. Wanner, J. 1994. "Activated sludge bulking and foaming control". Technomic Publishing co. inc. Lancaster, Basel.

## PROGRAMACION EDITORIAL '98



- Nº 176P - Junio: Edición en PORTUGUES. Distribución exclusiva en Portugal y en lengua portuguesa.
- Nº 177 - Junio: Abastecimiento de aguas.
- Nº 178 - Julio: Válvulas. Bombas. Tubos.
- Nº 179 - Agosto: Aguas residuales. Distribución especial en: AQUATECH'98 (Amsterdam, 22-25 Septiembre de 1998).
- Nº 180 - Septiembre: Análisis del agua. Distribución especial en EXPO-ANALITICA'98 (Madrid, 6-9 Octubre 1998).
- Nº 181 - Octubre: Instrumentación y control
- Nº 182- Noviembre: ETAPs. Estaciones de tratamiento de aguas potables.
- Nº 183 - Diciembre: Aguas residuales industriales.