

TRABAJO DE DIVULGACIÓN

OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA DE FANGOS ACTIVADOS EN LOS TRATAMIENTOS DE DEPURACIÓN BIOLÓGICA

M. M. Vilaseca*

0.1. Resumen

El sistema de depuración por fangos activados es en realidad un ecosistema artificial en donde los organismos vivos (biocenosis) están representados con mayor o menor abundancia, por grupos de microorganismos que constituyen comunidades biológicas complejas interrelacionadas entre sí y con el medio físico que les rodea en la planta depuradora (biotopo).

El objetivo es reconocer e identificar los distintos tipos de microorganismos más característicos que pueden encontrarse en los fangos activados y que son indicadores del estado de tratamiento de depuración.

Palabras clave: Depuración biológica, fangos activados, microorganismos.

0.2. Summary: MICROSCOPIC OBSERVATION OF ACTIVATED SLUDGES IN THE BIOLOGICAL EPURATION PLANTS

The activated sludges system is an artificial ecosystem where the alive organisms are represented by groups of microorganisms that constitute complex biological communities closely connected with the physical environment that surround them in the plant.

The objective is to identify the more characteristic types of microorganisms which can be found in the activated sludge and that could be indicative of the state of the epuration treatment.

Key words: Biological epuration, activated sludges, microorganisms.

0.3. Résumé: OBSERVATION MICROSCOPIQUE DE BOUES ACTIVÉES DANS LES TRAITEMENTS D'EPURATION BIOLOGIQUE

Le système d'épuration des boues actives est un écosystème artificiel dans lequel les organismes vivants sont représentés par des groupes de microorganismes constituant des communautés complexes rapportées les unes avec les autres et aussi avec les moyens physiques qui les entourent dans la plante d'épuration.

L'objectif est de reconnaître et d'identifier les types de microorganismes les plus caractéristiques qui peuvent se trouver dans les boues activées et qui sont indicatifs de l'état du traitement d'épuration.

Mots clé: Épuration biologique, boues activées, microorganismes.

1. INTRODUCCIÓN

Hasta ahora, el proceso de depuración más habitual en España para todos los efluentes textiles ha sido el tratamiento físico químico de coagulación-floculación (con sales de Fe o de Al y un polielectrolito aniónico), probablemente debido a la idoneidad de este proceso para eliminar el color (más del 95%) y también por su flexibilidad. Sin embargo, las depuradoras físico-químicas generan una cantidad muy importante de fangos y además, muchas de ellas no cumplen la tabla 3 del vigente Reglamento de Vertidos, ya que la reducción de la DQO y DBO es inferior al 75-80%. Por ello, la tendencia actual es decantarse hacia la construcción de depuradoras biológicas. Estas dan mejores rendimientos en la reducción de DQO y DBO, aunque no suelen conseguir la eliminación del color, dado que la mayoría de los colorantes no son biodegradables. En Catalunya existen unas 70 depuradoras de efluentes textiles, de las cuales, más del 10% son biológicas.

La depuración biológica la llevan a cabo grandes cantidades de microorganismos, en su mayor parte bacterias, que utilizan la carga orgánica del efluente para formar biomasa celular y para reproducirse. La caracterización de estos microorganismos en las distintas etapas de la depuración, nos indicará el estado de funcionamiento de la planta.

* M^a Mercè Vilaseca Vallvè, Licenciada en Ciencias Biológicas. Colaboradora de Investigación de la Universidad Politécnica de Catalunya, en el Laboratorio de Control de Contaminación Ambiental del INTEXTER (U.P.C.)

2. MICROORGANISMOS INDICADORES

La observación microscópica de fangos es un buen indicador para conocer el estado y el funcionamiento de las plantas de depuración por fangos activados.

Los microorganismos de las aguas y los suelos son los mismos que actúan en las depuradoras biológicas, constituyendo lo que se denomina fangos biológicos o fangos activados.

Los microorganismos que intervienen en la depuración son aquellos que ejercen una cierta acción sobre los contaminantes del agua residual a tratar, dependiendo de varios factores que favorecerán unas u otras especies. Entre estos factores, cabe destacar:

- La composición del agua residual (contenido en materia orgánica, temperatura, sales,...).
- Las características de la planta y su dimensionamiento (tipo de tratamiento, tiempo de retención, aireación, tratamiento aerobio o anaerobio,...).
- Las características climáticas.
- La estacionalidad de los vertidos y volúmenes.

De todo ello dependerá el que existan unos u otros tipos de microorganismos.

Los principales microorganismos que se encuentran en los tratamientos biológicos de depuración son:

- Bacterias
- Protozoos
- Hongos
- Algas
- Rotíferos
- Nematodos
- Pequeños Invertebrados inferiores

Las bacterias, hongos y algunos protozoos flagelados son microorganismos descomponedores. Los protozoos y metazoos (rotíferos y nematodos) son microorganismos consumidores.

2.1. Bacterias

Constituyen la población mayoritaria y más importante en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Las distintas actividades bioquímicas de las bacterias como grupo, les permiten metabolizar la mayor parte de los compuestos orgánicos que se encuentran en las aguas residuales. Son microorganismos heterótrofos, es decir, utilizan la materia orgánica como fuente de carbono. En los tratamientos aerobios encontraremos bacterias aerobias y facultativas, mientras que en los tratamientos anaerobios encontraremos bacterias anaerobias y facultativas. Su tamaño oscila entre 0,5 y 5 μm .

Una característica importante de algunas bacterias es su capacidad de flocular. Los flóculos que se forman están constituidos por bacterias unidas unas a otras y también por partículas orgánicas e inorgánicas. Gracias a la formación de

estos flóculos, los fangos sedimentarán mejor y producirán un efluente final más transparente y de mejor calidad.



Figura 1. Flóculos de los fangos activados.

2.2 Protozoos

Son organismos unicelulares que pueden metabolizar tanto alimentos solubles como insolubles. Reducen la concentración de bacterias y materia orgánica particular y ayudan a que el efluente sea más claro y de mejor calidad. Son los organismos más abundantes de la microfauna en los fangos activados, y pueden llegar a alcanzar valores medios de 5.000 individuos/ml en los reactores biológicos, constituyendo aproximadamente el 5% del peso seco de los sólidos en suspensión del licor mezcla.

La mayoría son heterótrofos aerobios, existiendo algunos pocos anaerobios. Básicamente tienen dos funciones:

- Actúan eliminando el exceso de bacterias no floculadas, es decir, consumen bacterias que son libres o no formadoras de flóculos (bacterias dispersas).

- Son un buen indicador directo de toxicidad, ya que son más sensibles a los tóxicos y a los cambios de oxígeno por lo que se utilizan como indicadores del funcionamiento de la planta.

Los grupos básicos que pueden observarse en los fangos activados son: Flagelados. Amebas. Ciliados nadadores libres. Ciliados pedunculados.

Cada uno de estos grupos desempeña una función concreta en el sistema y su aparición y abundancia reflejan las distintas condiciones físico-químicas existentes en los tanques de aeración, por lo que resulta ser un índice muy útil para valorar la eficacia del proceso de depuración.

Para determinar el estado de tratamiento de depuración la identificación hasta especie no es necesaria, es suficiente reconocerlos por grupos.

2.2.1. Flagelados

Son pequeños (5-20 μm) de forma oval o alargados, activamente móviles por uno o más flagelos. Su presencia puede indicar niveles de DBO soluble altos. Los flagelados no son abundantes cuando el proceso de depuración funciona adecuadamente. Su elevada densidad en los reactores se relaciona con las primeras etapas de la puesta en marcha de la instalación, cuando las poblaciones estables de los protozoos ciliados no se han desarrollado todavía. La presencia excesiva en un fango estable indica una baja

oxigenación del mismo o un exceso de carga orgánica.

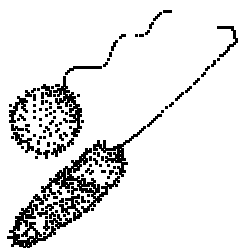


Figura 2. Flagelados

2.2.2 Amebas

Varían de forma y tamaño (10-200 μm) y se mueven mediante pseudópodos o falsos pies. Crecen bien sobre materia orgánica particulada y toleran medias de oxígeno disuelto bajo. Dentro de las amebas podemos distinguir las amebas desnudas, que suelen estar relacionadas con cargas de entrada en la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) alta, y las amebas testáceas que pueden aparecer en instalaciones con buena nitrificación y carga orgánica baja.

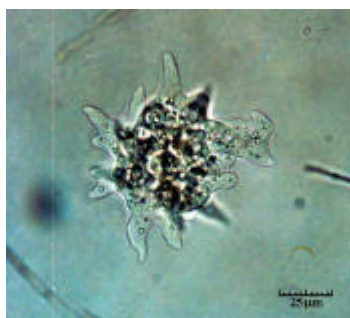


Figura 3. Ameba desnuda. De forma indefinida sin caparazón o teca. Se alimenta de bacterias y materia orgánica del medio



Figura 4. Arcella. Ameba con teca circular que rodea la célula. Presenta un agujero ventral por el que emite los pseudópodos. Se desarrolla donde se producen procesos de nitrificación.

2.3. Ciliados

La presencia de protozoos ciliados en los fangos activos es de gran importancia en el

proceso, ya que contribuyen directamente a la clarificación del efluente a través de dos actividades, que son la floculación y la depredación, siendo esta última la más importante. Existen diversos estudios que han demostrado experimentalmente que la presencia de protozoos ciliados en estaciones depuradoras mejora la calidad del efluente.

Los ciliados se alimentan también de bacterias patógenas, por lo que contribuyen a la reducción de sus niveles. Los ciliados presentes en el licor mezcla se pueden clasificar en dos grandes categorías en función de su relación con el flóculo:

- Ciliados asociados al flóculo: Los pedunculados y los reptantes.
- Ciliados no asociados al flóculo: Los nadadores.

2.3.1. Ciliados nadadores libres. Tienen formas ovales, redondeadas, alargadas (20-400 μm) y se mueven mediante cilios. Generalmente están presentes bajo condiciones de formación de flóculos e indican un buen proceso de fangos activados.

Ejemplo de protozoos nadadores libres: Paramecio, Blepharisma, Litonotus.



Figura 5. *Litonotus sp* Habita en reactores de fangos activados. Se alimenta de pequeños flagelados y cilados.



Figura 6. *Paramecium caudatum* Se alimenta de bacterias y habita en aguas con elevada carga nutritiva.

2.3.2. Ciliados reptantes: Hipotricos. Algunas especies reptan sobre el fango alimentándose de las bacterias que encuentran a su paso, estos presentan estructuras ciliares llamados cirros y también se desplazan libremente a través del agua

libre, (Ej. *Aspidisca*), estos indican un lodo de buena calidad.



Figura 7. *Aspidisca* sp. Habita reactores biológicos de baja carga.



Figura 8: *Euplotes* sp. Se alimenta de bacterias flocculantes y es frecuente en los sistemas de fangos activados

2.3.3. Ciliados Pedunculados: Peritricos. Están asociados al fango. Tienen un pedúnculo que puede ser fijo o contráctil, con el cual se fijan a los flóculos. Algunos están solos y otros forman colonias, se alimentan de bacterias libres. Generalmente son signo de un fango activado estable y las especies encontradas pueden utilizarse como indicadores aproximados del tiempo de retención medio de la planta. Los formadores de colonias aparecen en sistemas con altos tiempos de retención medio.

Ej.: *Vorticella*, *Opercularia*, *Epystilis*.



Figura 7: *Vorticella convallaria*. Se encuentra en medios con cierta cantidad de materia orgánica y se desarrolla en sistemas de fangos activados cuando su funcionamiento es estable.



Figura 10: *Opercularia* sp.. En medios con elevada carga de materia orgánica y baja concentración de oxígeno.

Cuando hay un número elevado de protozoos ciliados, el efluente de salida de la depuradora tiene menor turbidez y menor DBO que cuando no los hay.

2.3.4. Suctorios: De cuerpo redondeado con o sin pedúnculo. Están provistos de unos tentáculos, que rodean su cuerpo, al final de los cuales se hallan unos botones que se fijan a otros protozoos, disuelven la membrana y los vacían.

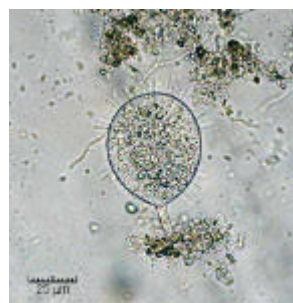


Figura 11: *Podophrya fixa*. Se encuentra en aguas con presencia de materia orgánica

Los ciliados pedunculados y reptantes son los más frecuentes cuando el tratamiento funciona correctamente, ya que el sistema está especialmente diseñado para la creación de flóculos, que son utilizados como sustrato de fijación por estos microorganismos. Su capacidad de fijación o relación con el flóculo supone una ventaja adaptativa en este sistema y los que no la poseen son eliminados en el efluente.

Por el contrario los ciliados nadadores no son constituyente típicos de las comunidades estables, sino que aparecen durante la fase de colonización del mismo, cuando los flóculos están en vías de formación y no se han establecido aún los ciliados pedunculados y reptantes. En consecuencia la presencia dominante de ciliados nadadores en un lodo bien formado es indicio de anomalías en el proceso, como una carga excesiva o un fango poco oxigenado.

En ocasiones, también puede estar relacionado con la entrada de vertidos tóxicos, ya que se eliminan las comunidades estables del proceso, presentando los reactores una situación semejante a la puesta en marcha.

2.3. Metazoos

Su presencia en los fangos activados es menor que la de los protozoos. Podemos encontrar rotíferos y nematodos.

2.3.1. Rotíferos

Son organismos pluricelulares. Tienen distintas formas y tamaños (50-500 μm) y tienen una estructura más compleja que los protozoos. La mayoría son móviles. Se encuentran en sistemas con una estabilización buena y con oxígeno disuelto sobrante. Metabolizan partículas sólidas y se alimentan de protozoos y bacterias. Contribuyen a la clarificación del efluente. Indican tiempos de retención medio altos. Algunas especies contribuyen a la formación del flóculo por secreción de mucus.



Figura 10: *Philodina sp*

2.3.2. Nematodos

La mayor parte de los que aparecen son predadores de bacterias dispersas y protozoos, pero también pueden aparecer formas saprozoicas capaces de alimentarse de la materia orgánica disuelta e incluso de la materia de los flóculos. En plantas con tiempos de retención medios altos y son muy frecuentes en filtros percoladores.

2.4. Crustáceos

Se encuentran en sistemas bien estabilizados utilizando organismos pequeños como fuente principal de alimento. Contribuyen a clarificar el efluente e indican efluentes de alta calidad.

3 SECUENCIA DE INTERVENCIÓN DE LOS MICROORGANISMOS

El buen funcionamiento de un sistema de depuración puede definirse por la presencia o ausencia de determinados tipos de organismos que intervienen. El examen microscópico puede ser útil en la previsión de la calidad del efluente y en la

determinación de las causas de un mal funcionamiento.

Los fangos activados son ecosistemas sujetos a una entrada continua de materia orgánica, por lo que el desarrollo normal de la sucesión ecológica no se lleva a cabo. La sucesión se mantiene en una etapa concreta de régimen estacionario, en la que el rendimiento de depuración sea máximo y exista un equilibrio entre el fango producido, purgado y recirculado.

Entre la puesta en marcha y la estabilización de la estación depuradora se producen sucesiones en las poblaciones de microorganismos. En la fase inicial dominan las bacterias dispersas y los protozoos que entran con el influente. Aumenta el número de bacterias. Aparecen los ciliados nadadores libres. Los flóculos se van formando y disminuye el número de bacterias libres y de protozoos flagelados. Se desarrollan los ciliados pedunculados y reptantes con estructuras bucales eficaces para la captura de alimento, estos acaban por desplazar a los ciliados nadadores. Más tarde, aparecen los metazoos por encontrarse en el final de la cadena.

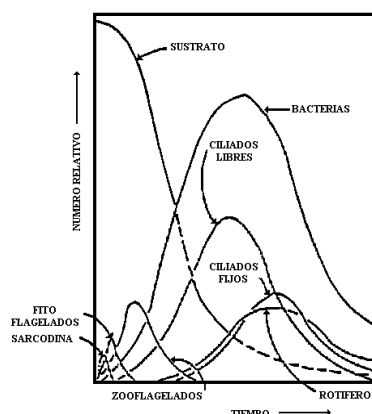


Figura 11: Secuencia de la aparición de los microorganismos en los fangos activados:

No obstante, las sucesiones de microorganismos que tienen lugar en el sistema de fangos activados no solo ocurren como resultado de relaciones tróficas, sino que pueden ser debidas también a alteraciones ocasionales pero significativas del proceso de depuración, provocadas a veces para mejorar el rendimiento como es la actuación sobre el tiempo de retención celular.

En particular, los ciliados y rotíferos son los primeros que se ven afectados por los tóxicos y así ellos nos sirven como bioindicadores frente a los productos tóxicos o a condiciones adversas en los procesos de fangos activados.

El primer signo de toxicidad o estrés es por lo general, la disminución o cese de movimiento en los ciliados. Luego aumenta el número de flagelados y pequeños ciliados móviles. Los

flóculos se rompen con lo cual hay un aumento de bacterias dispersas, lo que implica un aumento de la turbidez. Estas bacterias dispersas son utilizadas por los flagelados y pequeños ciliados como fuente de alimento. Finalmente, en algunos casos, estos protozoos muertos pueden causar espumas en los fangos activados (espumas blancas que contienen protozoos y fragmentos de protozoos).

Los tóxicos capaces de causar todo esto son principalmente metales pesados y cianuros, también una disminución del oxígeno disuelto, un rango de pH distinto al neutro 6-8 y un aumento de la temperatura.

4. "BULKING"

Si bien la mayor parte de las bacterias que forman la biomasa que depura el agua residual en el tratamiento biológico tiene forma unicelular, hay algunos microorganismos que presentan sucesiones de células, de forma que aparecen filamentos. Si la cantidad de filamentos es alta y el proceso de depuración es por fangos activados podemos encontrarnos con dos tipos de problemas biológicos:

- Esponjamiento filamentoso o "Bulking": los filamentos interfieren en la compactación del flóculo en el decantador secundario.
- Espumamiento biológico o "Foaming": los microorganismos filamentosos producen una espesa espuma coloreada, blanca o marrón, y en muchos casos abundantes flotantes en decantación secundaria.

El bulking está formado por organismos filamentosos que se extienden a través de los flóculos e interfieren en la compactación, sedimentación, espesamiento y concentración de los fangos, produciendo una estructura difusa del flóculo. En casos extremos se forma una capa de fango que flota en el decantador, con lo que existe el peligro de que se pierdan los fangos. El sobrenadante es extremadamente claro a causa del gran número de organismos filamentosos que sirven de filtro a las pequeñas partículas causantes de la turbidez. Los motivos de su aparición pueden ser diversos, por ejemplo un mal diseño de la planta, deficiencia de algún nutriente, aeración incorrecta, etc.

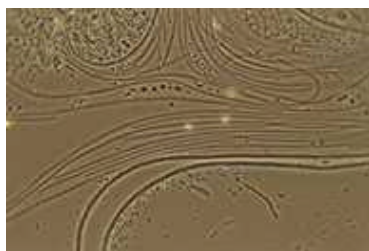


Figura 12: Fango con filamentos

Mediante el empleo del microscopio óptico y una serie de técnicas de cultivo, medición y tinción, podemos identificar los microorganismos filamentosos. Si aplicamos alguna rutina de recuento podemos además cuantificar su presencia y relacionarla con los efectos que producen en el tratamiento biológico.

5. CONCLUSIONES

5.1. La observación microscópica de fangos activados en los tratamientos de depuración biológicos se considera como un bioindicador del estado de funcionamiento de la planta, reflejando cualquier anomalía o accidente que se haya producido.

5.2. La identificación de los organismos hasta nivel de especie nos da mayor información, pero ante la dificultad que ello representa, con la observación a nivel de grupos diferenciados es suficiente para realizar un seguimiento de la planta, ya que cada uno de ellos desempeña una función concreta en el sistema.

5.3. Según el tipo de organismo que esté presente se podrán resolver problemas incluso de dimensionamiento de la planta.

5.4. El buen funcionamiento de un sistema de depuración puede definirse por la presencia o la ausencia de los tipos de organismos que intervienen.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Jenkins, D., Richard, M. G., Daigger G. T., "Manual on the Causes and Control of Activated Sludge and Foaming", Lewis Publishers 2nd Edition (1993)
2. Eikenboom, D. H., Van Buijsen, H. J. J., "Microscopic Sludge Investigation Manual", TNO (1981)
3. Bick, H. "Ciliated Protozoa", World Health Organization, Geneva (1972)
4. Curds, C. R., "An Illustrated Key to the British Freshwater Ciliated Protozoa commonly found in Activated Sludge" (1969)
5. "Wastewater Biology: The Microlife". Special publication of Water Pollution Control Federation, (1990)
6. Sharon, G. Berk, Gunderson, John H., "Wastewater Organisms a color atlas", Lewis Publishers (1993)
7. J. De Dios Trillo, García del Campo, I., "El bulking en sistemas de fangos activados", Tecnología del Agua **155**, (1996)
8. "Atlas de microorganismos", Ayma Agua y Medio Ambiente. (1999)
9. Gutiérrez, M. C., "Contribución al estudio de la decoloración electroquímica de colorantes reactivos en aguas residuales textiles", Tesis doctoral. Dpto. Ingeniería química, UB, (2000)