

Artículo Científico

IMPORTANCIA DE LOS MICROORGANISMOS FILAMENTOSOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LODOS ACTIVADOS

Nancy Karina Díaz Fulgan

Ingeniera Química, M.Sc. Ingeniería Sanitaria, ERIS-USAC, Guatemala.

AMSCLAE, Departamento de Saneamiento Ambiental

Dirección para recibir correspondencia: nancyfulgan@yahoo.com

Recibido 19.09.2013 Aceptado 30.01.2014

RESUMEN

Este artículo presenta un compendio sobre los microorganismos filamentosos en el tratamiento de aguas residuales por lodos activados, con el propósito de disminuir o reducir los efectos adversos que este tipo de bacterias causan cuando se ausentan o se da un crecimiento excesivo de las mismas, debido a problemas operacionales o de diseño en las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR). Estos microorganismos son la columna vertebral de la estructura del flóculo, pero cuando crecen en grandes densidades, ocasionan dificultad en la correcta sedimentación y compactación del lodo activo. Con respecto a su control, en el punto de dosificación de Hipoclorito sódico no deben alcanzarse los 35 g Cl/m³ de caudal de recirculación, para no dañar de forma irreversible la fauna. Y se recomienda que las dosificaciones del agente químico antes mencionado no superen los 15 kg Cl/t SSLM*día.

PALABRAS CLAVE: Aguas residuales, Control de calidad del agua, Lodos activados, Microorganismos filamentosos, Monitoreo del agua y Plantas de tratamiento.

ABSTRACT

*This article presents an overview of filamentous microorganisms in waste water treatment by activated sludge, In order to lessen or reduce the adverse effects that this type of bacteria cause when they leave or given an overgrowth of the same, because design or operational plants in waste water treatment plant (WWTP) problems. These microorganisms are the backbone of floc structure, but when grown in high densities, causing difficulty in the correct sedimentation and activated sludge compaction. With respect to the inspection, the dosing point of Sodium hypochlorite should not be reached 35 g Cl/m³ recirculation flow, not irreversibly damage the wildlife. And it is recommended that the dosage of the chemical agent mentioned above do not exceed 15 kg Cl t MLSS*day.*

KEY WORDS: Waste water, Quality control of the water, Activated sludge, Filamentous microorganisms, Monitoring of the water and Treatment plants.

INTRODUCCIÓN

Las bacterias son el componente biótico mayoritario de los lodos activos, llegando a ser el 90-95% de la biomasa.

Este artículo describe la importancia de la evaluación de las bacterias filamentosas de los lodos activos, para ello se da a conocer los efectos de este tipo de bacterias en los sistemas de tratamiento por lodos activados y sobre la estructura flocular. La metodología implementada para su identificación y evaluación abarca varias etapas, desde la toma de muestra y su correcta conservación, para caracterizar

y cuantificar los microorganismos filamentosos existentes en el agua residual en estudio, hasta su monitoreo y control.

MARCO TEÓRICO

Las bacterias de los lodos activos se pueden clasificar en tres grandes grupos según su comportamiento.

- *Bacterias formadoras de flóculo.* Se trata de aquellas bacterias que se aglomeran en cúmulos tridimensionales formando estructuras nebulosas denominadas flóculos. Estas bacterias son las principales responsables del proceso de tratamiento.

- *Bacterias dispersas*. Son aquellas bacterias libres en el líquido intersticial. La presencia de grandes concentraciones de estas bacterias en el líquido intersticial causan problemas en los parámetros de salida de la PTAR, al producir el aumento de los niveles de sólidos en suspensión, DQO y DBO₅.
- *Bacterias filamentosas*. Pueden aparecer formando parte de los flóculos, en la interfase y puentes interfoculares o libres. Su proliferación genera diversos problemas en las PTAR como el esponjamiento de los lodos en los sedimentadores o la formación de espumas y natas en reactores biológicos y sedimentadores.

a. Efectos de las bacterias filamentosas en los sistemas de tratamiento por lodos activados

Los microorganismos filamentosos son parte de los lodos activos, pero bajo diversas condiciones, pueden entrar en competencia con las bacterias formadoras de flóculo, causando una serie de efectos sobre la estructura flocular. Su ausencia puede originar flóculos pequeños y sin cohesión, produciendo un efluente turbio, por otra parte su presencia contribuye a una mejor calidad del lodo, siempre que no se dé un crecimiento masivo.

El esponjamiento o "bulking" filamentoso se produce cuando en el lodo activo se da un hinchamiento debido a un crecimiento excesivo de bacterias filamentosas, como resultado de este fenómeno el lodo sedimenta lentamente y no se compacta o lo hace pobremente. El "bulking" filamentoso representa un fallo en la macroestructura flocular, se presentan tanto dentro del flóculo como proyectándose y sobresaliendo hacia el exterior.

Para analizar este efecto se toma como referencia el Índice Volumétrico de Lodos (IVL), valores superiores a 150-200 ml/g indican la probabilidad de que se produzca este fenómeno.

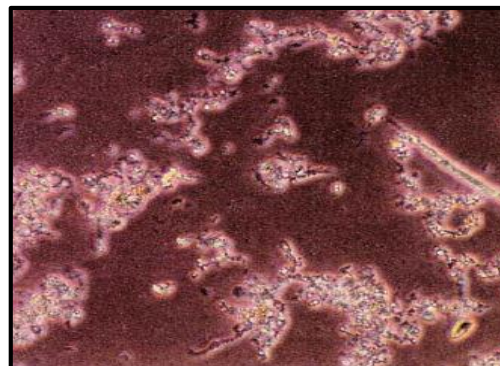
b. Efectos sobre la estructura flocular

La ausencia, moderada presencia o abundancia de microorganismos filamentosos, pueden dar lugar a las siguientes situaciones:

"Pin - floc" ó "Pin point - floc" (Flóculo en punta de alfiler). Estos flóculos solo presentan microestructura, y son de tamaño pequeño y consistencia débil, debido a que hay muy pocos o ningún microorganismo filamentoso. El flóculo se rompe por la turbulencia del tanque de aireación y no sedimenta bien. El IVL es < 75 ml/g, ya que los flóculos grandes sedimentan y se

compactan de forma rápida, pero se produce un sobrenadante turbio con muchos sólidos en suspensión.

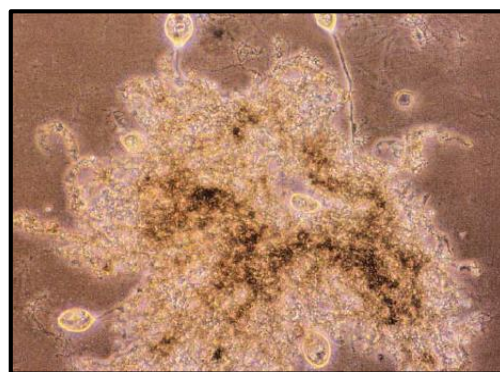
Figura 1 Flóculo en punta de alfiler



Fuente: Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla S.A. (EMASESA). Microorganismos filamentosos en EDAR.

"Flóculo ideal". Las bacterias filamentosas y las formadoras de flóculo crecen en equilibrio. El IVL tiene un valor medio de 75 – 125 ml/g, el cual producirá un efluente poco turbio y con escasa concentración de sólidos en suspensión.

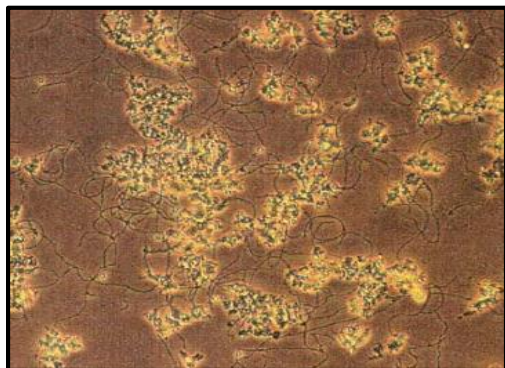
Figura 2 Flóculo ideal



Fuente: Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla S.A. (EMASESA). Microorganismos filamentosos en EDAR.

"Estructura flocular abierta o disgregada". Los microorganismos filamentosos crecen en su mayoría en el interior del flóculo, disgregando su estructura, y este crece adherido alrededor del filamento. La forma del flóculo es irregular con grandes orificios internos. Los valores del IVL son altos > 150 - 200 ml/g.

Figura 3 Estructura flocular abierta

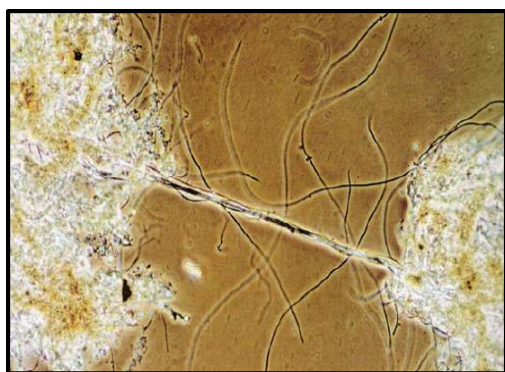


Fuente: Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla S.A. (EMASESA). Microorganismos filamentosos en EDAR.

"Estructura en red" (Enlaces o puentes interfloculares). Los microorganismos filamentosos crecen y se extienden desde la superficie del flóculo hacia el exterior, actuando como barreras mecánicas que mantienen a los flóculos separados e impiden la correcta agregación flocular.

El IVL es alto > 150 - 200 ml/g, cuando el flóculo sedimente producirá un sobrenadante claro, ya que éstos atrapan las pequeñas partículas causantes de turbiedad.

Figura 4 Estructura en red



Fuente: Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla S.A. (EMASESA). Microorganismos filamentosos en EDAR.

METODOLOGÍA

Se llevó a cabo una investigación de los trabajos existentes sobre la importancia de los microorganismos filamentosos en los lodos activos, a

continuación se presentan los pasos para la identificación y evaluación de estos microorganismos:

a. Toma de muestra

- Para la toma de muestra se debe elegir un punto del reactor cercano a la salida que se encuentre en agitación, con al menos 1 metro de distancia de paredes, pilares, turbinas, agitadores o sondas.
- El volumen de la muestra debe ser 2 litros, utilizando para ello recipientes de plástico o vidrio limpios, no necesariamente estériles, con un volumen mínimo de 2,5 litros, para eliminar los problemas de anoxia de la muestra en el transporte.
- La muestra debe ser conservada hasta el momento del análisis en refrigeración (entre 5 y 8 °C). El análisis se debe realizar en el transcurso de 24 horas a temperatura ambiente.
- Otra técnica de conservación es la previa preparación de frotis de la muestra. Una vez preparado se debe mantener en un lugar seco y libre de polvo. Esto permite la preparación de tinciones específicas varios días después de la toma de muestras.

b. Determinación y cuantificación de bacterias filamentosas

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las principales características observables mediante microscopía óptica, empleadas en la identificación de bacterias filamentosas de un lodo.

Tabla I Principales características morfológicas y reactivas a tinciones en bacterias filamentosas del lodo activo

Presencia de ramificaciones	Si, verdadera Si, falsas	No
Coloración <i>in vivo</i> del filamento	Transparente, medio, oscuro	

Morfología del filamento (Tricoma)	Recto, ligeramente curvo, tricoma torcido, cadena irregular de células, tricoma enrollado, tricoma ramificado (micelial).	
Presencia de vaina o cubierta	Si	No
Localización del tricoma	Libre, extendiéndose del flóculo, interior, todos los sitios.	
Crecimiento epifítico	Si	No
Morfología celular	Cuadrada, oval, rectangular, bacilar, discoidal, tonel, cocos.	
Septos celulares visibles	Si	No
Constricciones en los septos celulares	Si	No
Inclusiones celulares gránulos de "S" (in situ)	Si	No
Inclusiones celulares gránulos de "S" (S - test)	Si	No
Inclusiones celulares gránulos de "PHB"	Si	No
Reacción a Gram +	Si	No
Reacción a Neisser	Neisser +/- y gránulo Neisser +	

Fuente: ZORNOZA, A.; REINA, E.; LÓPEZ, R. Control microbiológico operacional en el tratamiento de aguas de la industria fenol-acetona y síntesis de aminas.

En base a la tabla anterior se observa que, además de determinar las características de las bacterias filamentosas detectables in vivo, también se valora la reacción de las mismas a determinadas tinciones, las cuales son:

- Tinción de Gram, la población de bacterias filamentosas del lodo activo está formada en su mayoría por bacterias "Gram negativas".
- Tinción de Neisser.
- Tinción de Poli- β -Hidroxibutirato (PHB) y tinción de vaina.

Para realizar estos procedimientos se requiere la preparación de frotis fijos en portaobjetos, distribuyendo la muestra homogéneamente. Una vez secos deben ser sometidos al protocolo que determine cada una de las tinciones. Bajo óptica de campo claro a 1000x e inmersión de aceite.

Cuando se establezcan y se determinen las características de la bacteria filamentosa en análisis, haciendo uso de claves identificativas existentes, se determina el morfotipo filamentoso. La identificación del género y especie se realiza basándose en las guías propuestas por Eikelboom y Van Buijsen (1983) y Jenkins et al. (1986, 1993).

Para proceder con la cuantificación de las bacterias determinadas, se recomienda usar un procedimiento útil y fácil de aplicar, como el método cualitativo presentado en Jenkins et al. (1993), basado en la valoración del analista.

Tabla II Valoración de microorganismos filamentosos en función de la abundancia relativa

Valor numérico	Abundancia	Significado
0	Ninguno	
1	Pocos	Hay filamentos, pero se observan sólo en algunos flóculos.
2	Alguno	Se ven filamentos en los flóculos, pero no en todos ellos.
3	Comunes	Se observan filamentos en todos los flóculos, pero en

Valor numérico	Abundancia	Significado
		pequeña cantidad (1-5 filamentos por flóculo).
4	Muy comunes	Se observan filamentos en todos los flóculos, pero con una densidad media (5-20 por flóculo).
5	Abundantes	Hay filamentos en todos los flóculos y con densidad alta (> 20 por floculo).
6	Excesivos	Filamentos presentes en todos los flóculos; más filamentos que flóculos.

Fuente: ZORNOZA, A.; REINA, E.; LÓPEZ, R. Control microbiológico operacional en el tratamiento de aguas de la industria fenol-acetona y síntesis de aminas.

c. Control de los microorganismos filamentosos

Casi el 70 % de los problemas con microorganismos filamentosos, como esponjamiento (bulking) y el espumaje (foaming y floating), se producen por inadecuada manipulación de los procesos biológicos o por problemas de diseño de la PTAR.

Al determinar el tipo o tipos de microorganismos filamentosos que afectan de forma negativa con su presencia excesiva en el licor de mezcla, es necesario eliminar las causas de esta proliferación inadecuada, a continuación se presentan algunas formas de control de estos microorganismos:

- Modificar la operación de la planta, aplicando el afluente en forma escalonada.
- Modificar la operación del sedimentador del proceso de lodos activados.
- Mantener el pH del licor del tanque de aireación entre 6.5 y 8.5, para promover un crecimiento microbial apropiado y evitar el crecimiento de hongos.

- Cambiar la tasa de recirculación y el punto de dosificación de lodos. El aumento de la recirculación disminuye la pérdida de sólidos en el efluente. La retención de lodo, por periodos prolongados en el sedimentador crea condiciones anóxicas controladoras de ciertos microorganismos filamentosos, pero se puede agravar el problema al fomentar los microorganismos filamentosos oxidantes de sulfuros.
- Mantener una relación apropiada de nutrientes. Para una remoción orgánica apropiada se recomienda una relación de DBO/N/P de 100/5/1.
- Si hay deficiencia de nitrógeno se puede suplir con sulfato de amonio y urea, para el fósforo se puede utilizar ácido fosfórico, fosfato de sodio o fosfato de amonio.
- Controlar la septicidad del afluente con oxidantes químicos como el cloro o permanganato de potasio, o mediante precipitación con cloruro férrico.
- Se recomienda una concentración de oxígeno disuelto mínima de 2 mg/l para relaciones alimento/microorganismo hasta de 0.5 kg DBO/kg SSVLM (sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla).
- Modificar la concentración de biomasa en el reactor, para alterar la relación alimento/microorganismos y ajustarla al valor que permita controlar el hinchamiento de lodos por microorganismos filamentosos.

El agente químico, Hipoclorito sódico (NaClO), disminuye el contenido de microorganismos filamentosos. Antes de comenzar a clorar y durante la cloración se deben realizar seguimientos de los principales parámetros: IVL, IVL diluido, V30, edad del lodo, % lodo recirculado, turbidez del efluente y comprobar su evolución, junto con la identificación y conteo de los tipos dominantes de microorganismos filamentosos.

Se debe calcular en primer lugar la cantidad (kg) de lodo biológico en todo el sistema. En los sedimentadores se recomienda considerar una profundidad del lecho de lodos de un metro. La masa total de lodos se expresara como toneladas (t) de materia seca de SSLM (sólidos suspendidos en el licor de mezcla).

La cloración se debe hacer donde exista suficiente agitación para asegurarse de que el reparto de cloro sea de forma homogénea y rápida. Se recomienda

dosificar en la corriente de recirculación, en las proximidades de bombeo (antes o después) de lodos activados. Esta corriente clorada no debe entrar en contacto hasta que pasen unos minutos, con el tanque de aireación (licor de mezcla) o con el agua procedente de la sedimentación primaria. Cuando la recirculación deje de funcionar se debe parar inmediatamente la dosificación. A continuación se presentan tres formas diferentes de cloración:

Cloración "lenta", a dosis bajas (5-10 kg Cl/t SSLM*día), la operación puede prolongarse durante días e incluso semanas. Se detiene la dosificación cuando los parámetros de seguimiento como IVL o la observación microscópica de filamentos indiquen que han alcanzado valores normales o deseables.

Este tipo de cloración, a bajas dosis y lenta, daña menos las poblaciones de microorganismos del lodo activo, pero consume mayores cantidades de Hipoclorito sódico.

Cloración "rápida", aumenta la dosis hasta máximos de 25-40 kg Cl/t SSLM*día, reduciendo considerablemente el tiempo de aplicación, normalmente de unas horas, a lo sumo durante un día. Este tipo de cloración da mejores resultados. Una vez terminada la cloración, las poblaciones de microorganismos se recuperan al cabo de unos días (dos o tres).

Cloración de "alta dosificación en corto tiempo", se utilizan muy altas dosis (25-40 kg Cl/t SSLM*d), el tiempo de dosificación dura unas horas (las suficientes para efectuar un solo paso de toda la masa de licor mixto). Se efectúa una parada posterior de la cloración, durante horas; reanudando la cloración, al día siguiente, por un tiempo similar, en caso de seguir siendo necesario. Así, hasta que las observaciones microscópicas o el seguimiento de parámetros nos aconsejen la interrupción total de la cloración.

CONCLUSIONES

Los microorganismos filamentosos son la "columna vertebral" de la estructura del flóculo, permitiendo la formación de flóculos grandes y compactos, pero cuando crecen en grandes densidades, ocasionan dificultad en la correcta sedimentación y compactación del lodo activo.

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

Tanto en los casos de cloración lenta como en los de rápida, se debe asegurar de que al menos durante una vez (normalmente se aconsejan dos o tres veces), toda la masa de licor mixto ha pasado por el punto de cloración.

En el punto de dosificación no deben alcanzarse los 35 g Cl/m³ de caudal de recirculación (entendido como g Cl/h/m³/h lodo recirculado), para no dañar de forma "irreversible" la microfauna. Se recomienda que los sistemas convencionales de cloración trabajen con dosificaciones que no superen los 15 kg Cl/t SSLM*día.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos por su apoyo como asesor, a los catedráticos M.Sc. Ing. Pedro Saravia Celis, M.Sc. Ing. Zenón Much Santos y M.Sc. Ing. Joram Gil Laroj de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS).

BIBLIOGRAFÍA

- Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla S.A. (EMASESA). *Microorganismos filamentosos en EDAR*. Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla. Sevilla, mayo de 2005. 183 p.
- METCALF & EDDY, INC. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tomo I*. 1ª ed. en español. México, D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, 1996. 415-453 p.
- ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Tercera reimpresión. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010. 481-489 p.
- VARIOS AUTORES. *Microorganismos filamentosos en el fango activo*. Editado por la Empresa Municipal de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla, 1997.
- ZORNOZA, A.; REINA, E.; LÓPEZ, R. *Control microbiológico operacional en el tratamiento de aguas de la industria fenol-acetona y síntesis de aminos*. V Jornadas de Transferencia de Tecnología sobre Microbiología del Fango Activo. Sevilla, 2008. 55 p.

INFORMACIÓN DEL AUTOR

Ingeniera Química, Nancy Karina Díaz Fulgan, graduada de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) en el año 2010, con experiencia en el área de Aseguramiento de Calidad en el proceso de embotellado de bebidas gaseosas y Tratamiento de Aguas Residuales por 2 años.

M.Sc. en Ingeniería Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.