

## CONTROL DEL CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS FILAMENTOSOS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Víctor F. PACHECO SALAZAR, Bertha JÁUREGUI RODRÍGUEZ, Thelma B. PAVÓN SILVA y Graciela V. MEJÍA PEDRERO

Facultad de Química, UAEM. Paseo Colón y Paseo Tolloca s/n. Col. Centro, Toluca 50120 Estado de México. Tel. (01 722) 2174120, 2173890 y 2175109. Correo electrónico: tbps17@uaemex.mx

(Recibido octubre 2001, aceptado noviembre 2002)

Palabras clave: lodos activados, floculación, microorganismos filamentosos, esponjamiento

### RESUMEN

Se identificaron los principales microorganismos filamentosos en los efluentes de aguas residuales de tres empresas del giro de alimentos, ubicadas en la Zona Industrial Toluca-Lerma; dichas descargas son conducidas a una planta de tratamiento de aguas residuales industriales, cuyo proceso de lodos activados ha sido afectado por la presencia de microorganismos filamentosos, identificados a la entrada de la planta y en la etapa de recirculación. Los microorganismos filamentosos que predominaron en los efluentes de las empresas fueron: Tipo 1863, Tipo 021N, Tipo 0211, *Nostocoida limicola* II, *Thiothrix* I y II y Tipo 0411; mientras que en la entrada a la planta de tratamiento, además de prevalecer los anteriores, aparecen: Tipo 0092, Tipo 0701, Tipo 0041 y *Gallionella*. Durante la recirculación de los lodos, no solamente se identificaron a los microorganismos mencionados en la entrada, sino también a *Microthrix parvicella* (como el principal y de manera abundante), Tipo 1701 y Tipo 0914. Estos últimos resultan interesantes de estudiar, ya que solamente aparecen en la recirculación; lo anterior da pautas para mejorar el tratamiento de dicha planta. Se concluye que el microorganismo filamentosos que afecta el proceso de lodos activados es *M. parvicella*, cuyo crecimiento es generado en la etapa de recirculación del proceso, debido a variaciones estacionales y a condiciones de operación de la planta de tratamiento.

Key words: activated sludge, flocculation, filamentous microorganisms, bulking

### ABSTRACT

Main filamentous microorganisms have been identified in effluents of sewage from three food industries, which lay on Toluca-Lerma industry zone. This sewage is sent to an industrial company to be treated, its activated sludge process has been affected by filamentous microorganisms identified at the entrance and flow circulation during treatment. In effluents of sewage, the main filamentous microorganisms are: Type 1863, Type 021N, Type 0211, *Nostocoida limicola* II, *Thiothrix* I and II y Type 0411, while the main filamentous microorganisms found at the entrance of the sewage treatment company, in addition to those already mentioned, are: Type 0092, Type 0701, Type 0041 y *Gallionella*. Furthermore, during the flow circulation process not only have all the previous microorganisms been identified, but also the following: *Microthrix parvicella* (the main and more abundant), Type 1701 and Type 0914. These three last ones are more interesting to study because they only appear during the flow circulation process, giving models to perform a more efficient sewage treatment process. It is concluded that the development of *M. parvicella*, a filamentous microorganism, affects activated sludge process; the microorganism is created during the flow circulation process by seasonal variations and operational conditions during the treatment process.

---

## INTRODUCCIÓN

Uno de los factores esenciales en el funcionamiento del proceso de lodos activados es la floculación efectiva del lodo, con la subsecuente sedimentación rápida y la compactación, que permite a los sólidos suspendidos volátiles del licor mezcla (SSVLM) del efluente del reactor, separarse rápidamente en el clarificador secundario (Ramalho 1996, Eckenfelder 2000).

Los factores principales que intervienen en la formación del flóculo y su sedimentación son: edad de los lodos, toxicidad (presencia de metales pesados y compuestos orgánicos), descargas de lodos, actividad abundante de los protozoarios ciliados, excesivo esfuerzo cortante, demasiada cantidad de agentes tensoactivos ó surfactantes. Recientemente, se ha mostrado que la floculación resulta de la producción de una capa de polisacárido pegajoso, que provoca que los organismos se adhieran; otros factores, tales como la superficie química y la densidad del flóculo pueden influenciar fuertemente las propiedades de sedimentación (Eikelboom *et al.* 1998). Además, la geometría del sistema y la forma en que el agua residual se aporta al reactor condicionan las características de floculación del lodo (Ramalho 1996).

No todas las bacterias que se desarrollan en los lodos activados son formadoras de flóculos, ya que otros organismos, como los de tipo filamentoso pueden crecer, causando problemas de operación y de calidad del agua tratada (Richard 1991).

La condición que en ocasiones se presenta, por la que el lodo es ligero o inflado y por ello, difícil de sedimentar, se denomina “esponjamiento” (bulking). El lodo de estas características pasa por encima de los vertederos de separación y se escapa con el efluente del clarificador secundario, lo que provoca que la concentración de sustrato presente en el sistema sea insuficiente para mantener el crecimiento de los microorganismos que constituyen el lodo; por lo tanto, los microorganismos se ven obligados a funcionar en régimen de respiración endógena y el efluente tendría demanda bioquímica de oxígeno (DBO) relativamente elevada, lo que no resulta deseable (Ramalho 1996, Pacheco *et al.* 2000).

Durante el proceso de respiración endógena, se metaboliza un material citoplásmico rico en proteínas y ácido ribonucleico (ARN); el residuo está constituido principalmente por cápsulas celulares muy ligeras que se resisten a la sedimentación. Esta es la razón por la cual, las relaciones bajas de F/M (alimento/microorganismo) hacen que el lodo tenga características muy pobres de decantación (flóculos dispersos); mientras que cuando las relaciones de F/M son elevadas (por ejemplo, entre 0.6 y 1.0 kgDBO/kgSSTLM/d) predominan microorganismos de naturaleza filamentosa que provocan la inflación del lodo, que impide la sedimentación al permanecer casi continuamente en suspensión (Ramalho 1996).

Los microorganismos filamentosos se identifican rutinariamente sobre la base de sus características morfológicas y reacciones de varios procedimientos de tinción, siguiendo los métodos detallados en los manuales de Eikelboom y van Buijsen (1983) y de Jenkins *et al.* (1993) y más recientemente, por métodos biológicos moleculares, empleando su secuencia de rDNA 16S para determinar sus relaciones filogenéticas (Bradford *et al.* 1998).

La denominación de los microorganismos filamentosos se hace por medio del género, en otros casos se incluye la especie y en muchos otros, se usa la denominación alfanumérica. Los más comúnmente encontrados son: *Beggiatoa*, *Nocardia sp.*, *Microthrix parvicella*; *Nostocoida limicola* I, II y III, *Sphaerotilus natans*, *Thiothrix* I y II, Tipo 021N, Tipo 0041, Tipo 1863 y Tipo 0211 (Richard 1991, Jenkins *et al.* 1993).

Los microorganismos filamentosos no se desarrollan ni crecen en lodos jóvenes; cuando la edad del lodo se incrementa, los microorganismos filamentosos cortos empiezan a desarrollarse dentro de las partículas del flóculo. Las bacterias formadoras del flóculo, floculan con los microorganismos filamentosos de diferentes longitudes, estos últimos proporcionan resistencia a la acción cortante del medio y permite el incremento significativo en el número de bacterias formadoras de flóculos, afectando la sedimentación. Las partículas floculadas incrementan su tamaño y cambian de la forma esférica a irregular (Ramalho 1996, Eikelboom *et al.* 1998).

El crecimiento de los filamentosos depende en gran medida, de las condiciones de operación de la planta de tratamiento, tales como: concentración de oxígeno disuelto (OD) baja, relación F/M alta, deficiencia de nutrientes (nitrógeno y fósforo), pH bajo, temperatura, carga orgánica baja, DBO residual soluble, composición del agua residual (concentraciones altas en grasa y aceites), mayores tiempos de retención celular (Jenkins *et al.* 1993).

Diversos casos de sistemas de tratamiento de aguas residuales que han presentado problemas de desarrollo de microorganismos filamentosos, utilizan cloro para controlar su crecimiento; sin embargo, es un método costoso que además elimina microorganismos formadores de flóculo al igual que a los filamentosos (Jenkins *et al.* 1993).

Varias empresas establecidas en la zona industrial Toluca-Lerma, que descargan sus efluentes a la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) ubicada en el municipio de Lerma, han instalado pretratamientos de sus aguas residuales (de procesos industriales y de servicios generales), por consiguiente, el agua a tratar por la PTARI contiene un perfil de contaminantes más complejo para depurar (Pacheco *et al.* 2000).

Actualmente, los usuarios de la PTARI son 144 empresas, de diferentes giros, sobresaliendo las industrias química, metal mecánica, textil y alimentaria. Debido a la gran diversidad y heterogeneidad de las característi-

cas fisicoquímicas y microbiológicas de cada una de las descargas de las empresas afiliadas, el proceso de tratamiento del agua residual resulta muy afectado.

El objetivo de esta investigación fue identificar la procedencia de microorganismos filamentosos y su correlación con las variables de operación del proceso de lodos activados con el fin de proponer métodos para control de la presencia y del desarrollo de estos microorganismos y así obtener una calidad del agua adecuada, que cumpla con la normatividad para las descargas en cuerpos de agua (NOM 001-ECOL-1996).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Colecta y manejo de muestras

De acuerdo con su perfil de contaminantes, se consideraron los efluentes del giro de alimentos de las 114 empresas, seleccionando tres, mismos que representan alrededor de la mitad del flujo volumétrico total que capta la planta de tratamiento; cabe mencionar que cada una de las empresas seleccionadas (producción de levadura, panificación y frituras de maíz) descarga sus aguas residuales con un pretratamiento biológico.

Se colectaron muestras puntuales de agua residual (1000 ml) en botellas estériles provenientes de los efluentes de las tres empresas seleccionadas, así como del agua de entrada a la PTARI y en la recirculación del tratamiento. Para los análisis de identificación de microorganismos filamentosos se tomaron dos muestras por semana, durante 16 semanas, con un total de 32 muestras por empresa y para los dos puntos especificados de su tratamiento (entrada a planta y recirculación), lo que suma un total de 160 muestras, durante el período de octubre de 2000 a enero de 2001. Las muestras fueron almacenadas a 4 °C y analizadas en el microscopio dentro de las 24 horas posteriores a su muestreo.

### Técnicas de identificación de microorganismos filamentosos

La identificación consiste en un análisis cualitativo, que indica la presencia de algún tipo de microorganismo filamentosos. Lo anterior se realizó siguiendo los métodos detallados en el manual de Jenkins *et al.* (1993), mediante el examen microscópico de los lodos activados (aceite de inmersión e iluminación directa a 1000x) y sobre la base de las características morfológicas y reacciones de tinción de cada microorganismo (descritas en dicho manual), permitiendo además, elucidar las variaciones fenotípicas.

### Evaluación de las condiciones de operación y diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI)

Durante el período de octubre de 2000 a enero de

2001 se realizaron determinaciones del índice volumétrico de lodos (IVL), la relación F/M, oxígeno disuelto (OD), tiempo de retención hidráulico (TRH), tiempo de retención celular (TRC), pH (en la entrada al tanque de aeración), sólidos suspendidos volátiles (SSV) y totales (SST), así como la eficiencia del tratamiento con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO).

El muestreo y las determinaciones fisicoquímicas se basaron en las Normas Oficiales Mexicanas vigentes y, en su caso, de acuerdo con las técnicas descritas por Jenkins *et al.* (1993).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con relación a los principales microorganismos filamentosos identificados en los efluentes de las tres empresas del giro de alimentos, se obtuvieron los siguientes resultados: en la descarga de agua residual de la producción de levadura se presentan los microorganismos siguientes: Tipo 1863, *Thiothrix* II, Tipo 0211, *N. limicola* II y Tipo 021N. Para el giro de panificación, se indica la presencia de *Thiothrix* I y II, Tipo 021N. Con respecto al efluente de las frituras de maíz, están Tipo 1863, *Thiothrix* II, Tipo 021N y en menor cantidad Tipo 0411 y *N. limicola* II. A la entrada de la planta de tratamiento se identifican cinco microorganismos filamentosos: *N. limicola* II, *Thiothrix* II, Tipo 0211, Tipo 1863 y Tipo 021N. Comparando estos resultados con los obtenidos en los efluentes de las industrias de alimentos, hay coincidencia entre los microorganismos *Thiothrix* II y Tipo 1863, presentes en las industrias de levaduras y de frituras de maíz y solamente durante el mes de octubre en la industria de panificación. *N. limicola* II se halla en el influente de la planta de tratamiento durante los cuatro meses de estudio, mientras que, en la industria de la levadura durante tres meses (octubre, diciembre y enero) y en los meses de octubre y enero, para el efluente de frituras de maíz. El microorganismo filamentosos Tipo 0211 se encuentra en el influente de la tratadora y en el efluente de la producción de levadura; por otro lado, para la industria de panificación y frituras de maíz, sólo se identifica durante octubre y noviembre, respectivamente. Los microorganismos Tipo 0092 y Tipo 0041 se hallan en el influente de la tratadora, lo que indica que, provienen de otro tipo de industria o bien, antes de entrar a la planta de tratamiento tienen las condiciones para su crecimiento y desarrollo. Los resultados de la identificación de los microorganismos filamentosos se concentran en la **Tabla I** (Jáuregui 2000). Asimismo, se puede apreciar durante los cuatro meses de estudio, la incidencia de los microorganismos Tipo 0211, Tipo 1863, *Thiothrix* II y *N. limicola* II en la entrada a la planta de tratamiento y cuya presencia, coincide con los microorganismos

**TABLA I.** PRESENCIA DE MICROORGANISMOS FILAMENTOSOS EN EFLUENTES DE EMPRESAS DEL GIRO DE ALIMENTOS Y EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (PTARI) DURANTE EL PERÍODO DE ESTUDIO (Promedio mensual)

| Microorganismos filamentosos identificados   |                                                                                               |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Efluente de la industria de levaduras        |                                                                                               |
| Oct.                                         | Tipos 1863, 021N, 0211, <i>N. limicola</i> II                                                 |
| Nov.                                         | Tipos 1863, 021N, 0211, <i>Thiothrix</i> II                                                   |
| Dic.                                         | Tipos 1863, 0211, <i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> II                                  |
| Ene.                                         | Tipos 1863, 021N, 0211; <i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> II                            |
| Efluente de la industria de panificación     |                                                                                               |
| Oct.                                         | Tipos 1863, 021N, 0211, <i>Thiothrix</i> I y II                                               |
| Nov.                                         | Tipo 021N, <i>Thiothrix</i> I y II                                                            |
| Dic.                                         | Tipo 021N, <i>Thiothrix</i> I y II                                                            |
| Ene.                                         | Tipo 0411, <i>Thiothrix</i> I y II                                                            |
| Efluente de la industria de frituras de maíz |                                                                                               |
| Oct.                                         | Tipos 1863, 021N, <i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> II                                  |
| Nov.                                         | Tipos 1863, 021N, 0211, 0411, <i>Thiothrix</i> II                                             |
| Dic.                                         | Tipos 1863, 021N <i>Thiothrix</i> II                                                          |
| Ene.                                         | Tipos 1863, 0411, <i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> II                                  |
| Entrada a la planta de tratamiento           |                                                                                               |
| Oct.                                         | Tipos 1863, 021N, 0092, 0211, <i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> II                      |
| Nov.                                         | Tipos 1863, 021N, 0211, <i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> II                            |
| Dic.                                         | Tipos 0041, 1863, 0211, 0701, <i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> II                      |
| Ene.                                         | Tipos 0041, 1863, 0211, 0092, <i>Gallionella</i> , <i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> II |

filamentosos identificados en los tres efluentes de las industrias, a excepción de *N. limicola* II que no está en la industria de la panificación. Diversos estudios reportan que los microorganismos anteriores han sido observados en plantas municipales e industriales de lodos activados (Lacko *et al.* 1999).

Con respecto a la fase de recirculación de lodos activados, considerada como una operación de la planta, ya que se recircula un determinado porcentaje de SSV con el fin de mantener constante la cantidad de microorganismos en el reactor aerobio (**Tabla II**), se encontró que el microorganismo filamentoso dominante es *Microthrix parvicella*, además se identificaron Tipo

**TABLA II.** PRESENCIA DE MICROORGANISMOS FILAMENTOSOS EN LA ETAPA DE RECIRCULACIÓN DEL PROCESO DE Lodos ACTIVADOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (PTARI) DURANTE EL PERÍODO DE ESTUDIO (Promedio mensual)

| Mes  | Microorganismos filamentosos identificados en la recirculación de la PTARI                                                      |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Oct. | Tipos 1863, 021N, 0092, 1701, <i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> I y II, <i>Microthrix parvicella</i>                      |
| Nov. | Tipos 0041, 1863, 021N, 0092, 1701, 0914, <i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> I y II, <i>Microthrix parvicella</i>          |
| Dic. | Tipos 021N, 0211, 0092, 0914, <i>Gallionella</i> , <i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> I y II, <i>Microthrix parvicella</i> |
| Ene. | Tipos 0041, 021N, 0092; <i>Gallionella</i> , <i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> I y II, <i>Microthrix parvicella</i>       |

1701, Tipo 0914 y Tipo 0092, este último durante los meses de estudio en la recirculación, asociado a *M. parvicella*, que de acuerdo con los estudios realizados por Richard (1991) se les encuentra comúnmente juntos en el proceso de lodos activados.

La presencia de varios microorganismos filamentosos en industrias específicas, como producción de levadura, panificación y frituras de maíz, se puede atribuir a la composición del agua residual por sus distintos tipos de manufactura; que por lo general contienen sustratos metabolizables (glucosa, lactosa, maltosa) y contenidos elevados de grasas y aceites, lo cual promueve el crecimiento de los microorganismos filamentosos, principalmente Tipo 1863, Tipo 021N, Tipo 0211 y *Thiothrix* II.

Con respecto a las condiciones de operación y diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI), la **tabla III** concentra los resultados del índice volumétrico de lodos (IVL), la relación F/M, oxígeno disuelto (OD), tiempo de retención hidráulico (TRH), tiempo de retención celular (TRC), pH y sólidos suspendidos totales (SST), además se reporta la eficiencia de remoción del proceso de acuerdo con DQO y DBO, entre 37 y 45 % y 80 y 87 %, respectivamente. Dichos parámetros se correlacionaron con la presencia de los microorganismos filamentosos identificados en la entra-

**TABLA III.** VARIABLES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (PTARI) Y SU EFICIENCIA DURANTE EL PERÍODO DE ESTUDIO (Promedio mensual)

| Mes  | Variables de operación    |             |             |             |      |     | Eficiencia de Remoción (%) |       |       |
|------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|------|-----|----------------------------|-------|-------|
|      | IVL<br>Días <sup>-1</sup> | F/M<br>mg/L | OD<br>Horas | TRH<br>Días | TRC  | pH  | SST<br>mg/L                | DBO   | DQO   |
| Oct. | 263                       | 0.88        | 1.2         | 10.32       | 2.37 | 7.9 | 315                        | 82.74 | 43.17 |
| Nov. | 320                       | 0.65        | 1.1         | 14.27       | 1.94 | 7.9 | 277                        | 84.75 | 45.68 |
| Dic. | 377                       | 0.82        | 0.5         | 16.24       | 1.27 | 7.8 | 376                        | 80.54 | 37.89 |
| Ene. | 234                       | 0.47        | 0.7         | 16.10       | 1.90 | 7.9 | 227                        | 86.89 | 43.58 |

**TABLA IV.** RELACIÓN DE MICROORGANISMOS FILAMENTOSOS IDENTIFICADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (PTARI) CON LAS PRINCIPALES VARIABLES DE OPERACIÓN

| Filamentosos identificados en la PTARI                                                                               |                                                                                                                                                  | IVL | F/M<br>días <sup>-1</sup> | Variables de operación |              |             |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------|------------------------|--------------|-------------|---------------|
| Entrada a planta                                                                                                     | Recirculación                                                                                                                                    |     |                           | OD<br>mg/L             | TRH<br>horas | TRC<br>días | SST<br>(mg/L) |
| Tipo 1863, Tipo 021N,<br><i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> II,<br>Tipo 0092, Tipo 0211                         | Tipo 1863, Tipo 021N,<br><i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> I y II,<br>Tipo 0092, <i>M. parvicella</i> , Tipo 1701                          | 263 | 0.88                      | 1.2                    | 10.32        | 2.37        | 315           |
| Tipo 1863, Tipo 021N,<br>Tipo 0211, <i>N. limicola</i> II,<br><i>Thiothrix</i> II                                    | Tipo 0041, Tipo 1863,<br>Tipo 021N, <i>N. limicola</i> II,<br><i>Thiothrix</i> I y II, Tipo 0092,<br><i>M. parvicella</i> , Tipo 1701, Tipo 0914 | 320 | 0.65                      | 1.1                    | 14.27        | 1.94        | 277           |
| Tipo 0041, Tipo 1863,<br>Tipo 0211, <i>N. limicola</i> II,<br><i>Thiothrix</i> II, Tipo 0701                         | Tipo 021N, Tipo 0211,<br><i>Gallionella</i> , <i>N. limicola</i> II,<br><i>Thiothrix</i> I y II, Tipo 0092,<br><i>M. parvicella</i> , Tipo 0914  | 377 | 0.82                      | 0.5                    | 16.24        | 1.27        | 376           |
| Tipo 0041, Tipo 1863,<br>Tipo 0211, <i>Gallionella</i> ,<br><i>N. limicola</i> II, <i>Thiothrix</i> II,<br>Tipo 0092 | Tipo 0041, Tipo 021 N,<br><i>Gallionella</i> , <i>N. limicola</i> II,<br><i>Thiothrix</i> I y II,<br>Tipo 0092, <i>M. parvicella</i>             | 234 | 0.47                      | 0.7                    | 16.10        | 1.90        | 227           |

da a la planta y en la recirculación de los lodos (**Tabla IV**).

Con relación a los parámetros de proceso de la planta de lodos activados (**Tabla III**), los valores de F/M se encuentran dentro del rango de 0.47 a 0.88 días<sup>-1</sup> y los de IVL, están comprendidos entre 234 y 377, que indican la presencia de esponjamiento provocado por microorganismos filamentosos. Ya que en el tratamiento de las aguas residuales, el valor óptimo de la relación F/M está dentro de los límites siguientes:  $0.6 > F/M > 0.3$ . Asimismo los valores típicos de IVL con características apropiadas de sedimentación están comprendidos dentro del intervalo de 35 a 150 (Ramalho 1996).

Como se observa en la **Tabla III**, las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) oscilan en un intervalo de 0.5 a 1.2 mg/L, lo que también es determinante en el crecimiento de microorganismos filamentosos. Al respecto, los estudios de Scruggs y Randall (1998) en reactores de flujo continuo a escala laboratorio e industrial sugieren que la concentración de oxígeno disuelto (OD) y la relación F/M son los factores clave que afectan el crecimiento de varios tipos de filamentosos presentes en un sistema de tratamiento de lodos activados de aguas residuales industriales. Asimismo, aislaron los efectos de la concentración de OD y la relación F/M sobre el crecimiento de los microorganismos filamentosos: *Microthrix parvicella*, *N. Limicola* II, Tipo 0041 y Tipo 1863, observando que la mayoría de las bacterias que causan esponjamiento se encuentran asociadas a F/M bajas (Scruggs y Randall 1998).

En cuanto al tiempo de retención hidráulico (TRH), se aprecian valores que superan las 8 horas que normalmente se emplean en los procesos típicos de lodos acti-

vados, lo que representa mayores requerimientos de aireación; asimismo, los datos del tiempo de retención celular (<5 días) indican que los lodos son difíciles de sedimentar y aparecen los microorganismos filamentosos (Metcalf y Eddy 1996).

Como se aprecia en la **Tabla IV**, los microorganismos filamentosos son afectados por las características de los influentes y las condiciones de operación de la planta de tratamiento. En este estudio, es de notarse la presencia de *Microthrix parvicella*, microorganismo identificado de manera abundante en la etapa de recirculación, asociado a bajas concentraciones de oxígeno y elevado tiempo de retención celular, además la relación F/M es mucho mayor que la recomendada por Ramalho (1996).

La presencia abundante y frecuente de *Microthrix parvicella* en plantas de lodos activados y principalmente en la etapa de recirculación ha sido estudiada por diversos autores. Su ocurrencia indica que el microorganismo tiene la habilidad suficiente de consumir sustratos no degradables, como los ácidos oleico, palmítico y los triglicéridos, por ejemplo, en los efluentes de industrias de frituras de maíz; no consumiendo los más simples (acético, etanol y glucosa, entre otros) y bajo condiciones aerobias o anaerobias (Andreasen y Nielsen 1998, Mamais *et al.* 1998). Su excesivo crecimiento es favorecido a tiempos altos de retención en los clarificadores secundarios, que permiten además, la producción de ácidos grasos volátiles en la recirculación de lodos activados (degradación anaerobia), influyendo también la profundidad de los clarificadores (Hagland *et al.* 1998).

Tandoi *et al.* (1998) describen a *Microthrix parvicella* como organismo aeróbico, con capacidad de crecer a concentraciones bajas de oxígeno disuelto; pero

este crecimiento es lento; exhibe versatilidad nutricional, ya que emplea compuestos simples y complejos como fuentes de carbono, nitrógeno y fósforo. Además utiliza su capacidad de reducir nitrato a nitrito como mecanismo de sobrevivencia en la zona anóxica. En condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno disuelto y de nitrato) utiliza como estrategia la hidrólisis de gránulos de polifosfato que almacena dentro de la célula (Dillner Westlund *et al.* 1998, Mamais *et al.* 1998).

En sus trabajos de investigación, Knoop y Kunst (1998), encontraron que el crecimiento óptimo de *Microthrix parvicella* en lodos activados, se induce a temperaturas bajas (<12 a 15 °C) y cargas bajas de DBO<sub>5</sub> (<0.1 kg/kg d). Asimismo, Eikelboom y Grovenstein (1998) y Rothman (1998), observaron que dicho microorganismo muestra un patrón estacional con un máximo en invierno (lo que coincide con el período de estudio) y un mínimo durante verano.

Diversas investigaciones señalan a *Microthrix parvicella* como el microorganismo principal responsable de los problemas de separación de sólidos, por esponjamiento y formación de espuma en los sistemas de lodos activados, debido principalmente a su naturaleza hidrofóbica (Andreasen y Nielsen 1998, Knoop y Kunst 1998, Mamais *et al.* 1998, Tandoi *et al.* 1998).

## CONCLUSIONES

El examen microscópico del lodo revela que está formado por una población heterogénea de microorganismos, que cambian continuamente en función de las variables de la composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales. Por lo general, los lodos con esponjamiento son el resultado de aguas residuales tratadas en un proceso de mezcla completa o con deficiencia de oxígeno y/o nutrientes, que está asociado a la presencia de microorganismos de naturaleza filamentosos.

Los microorganismos filamentosos identificados en las descargas de aguas residuales de las tres empresas analizadas, coinciden parcialmente, con los detectados en el influente a la tratadora; *Thiothrix* II es el microorganismo que está presente durante el mayor tiempo, así como en la etapa de recirculación de la planta de tratamiento.

De acuerdo con los microorganismos filamentosos encontrados en la etapa de recirculación del tren de tratamiento de agua residual industrial, se concluye que es el punto en el cual se genera *Microthrix parvicella*, conservándose *Tipo 0092 Thiothrix* I y II y *Nostocoida limicola* II; por lo cual, la eficiencia de remoción en el agua clarificada podría ser mejorada, ya que solo se alcanza entre 80 y 86 %.

El desarrollo de *M. parvicella* en la etapa de recirculación, puede ser debido a factores como baja DBO, ya que el proceso la consume en 80 % en prome-

dio, dejando una concentración alta como DQO, que está indicado como sustrato de mayor complejidad que puede metabolizar un microorganismo como *M. parvicella*. Asimismo, la concentración baja de oxígeno disuelto (0.5 a 1.2 mg/L) favorece su crecimiento, considerando que en la etapa de recirculación que es inmediata a la sedimentación, la concentración de oxígeno disuelto es nula; por lo tanto, apoyado en lo reportado en la literatura, la etapa de recirculación favorece el crecimiento de *M. parvicella*. Confirmando lo anteriormente expuesto, debido a una relación F/M elevada y al índice volumétrico alto de lodos.

Al efectuar cambios en la etapa de recirculación (parámetros de control) se debe eliminar el crecimiento de *M. parvicella*; como es, reduciendo el gasto de recirculación para no alimentar al microorganismo con el alimento rico en material difícil de degradar (alta carga de material medido como DQO con respecto a una baja carga como DBO).

En el caso de sólidos suspendidos totales a la salida de la planta, están por arriba de la normatividad, considerando el agua para uso agrícola (150 mg/L), esto es debido a la presencia de microorganismos filamentosos en el proceso.

Finalmente, el crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de lodos activados es indicador de un proceso de tratamiento deficiente; su control dependerá entonces, de la calidad del influente, de las condiciones de operación, del diseño de la planta de tratamiento, de las variaciones estacionales y sobre todo, del tipo de microorganismo filamentosos.

## AGRADECIMIENTOS

Al apoyo y a las facilidades brindadas por el Ing. Clemente de Jesús Ávila González, Gerente Operativo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, en la realización de la presente investigación.

## REFERENCIAS

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF). (1989). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 17ª. Ed. APHA, Washington.
- Andreasen K. y Nielsen P. H. (1998). *In situ* characterization of substrate uptake by *Microthrix parvicella* using microautoradiography. *Water Sci. Technol.* 37, 19-26.
- Bradford D., Christensson C., Jakab N. y Blackall L. L. (1998). Molecular biological methods to detect *Microthrix parvicella* and to determine its abundance in activated sludge. *Water Sci. Technol.* 37, 37-45.

- Colín C. A. (2000). Estudio integral de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales Reciclagua. Informe Final. Proyecto de Investigación Clave 1431/2000. Facultad de Química, UAEM. pp. 1-28.
- Comisión Nacional del Agua (2000). *Opciones Técnicas para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Diseño, Operación y Evaluación*. México, 80 p.
- Daigger G. T. y Buttz, J. A. (1998). *Upgrading wastewater treatment plants*. 2a. Ed. Water Quality Management Library, Pennsylvania, Vol. 2, 243 p.
- Dillner Westlund A., Hagland E. y Rothman M. (1998). Foaming in anaerobic digesters caused by *Microthrix parvicella*. *Water Sci. Technol.* 37, 51-55.
- Eckenfelder W. (2000). *Industrial water pollution control*. 3ª. Ed. McGraw Hill, Singapur, 584 p.
- Eikelboom D. H. y van Buijsen H.J.J. (1983). Microscopic sludge investigation manual. TNO, Delft, Holanda.
- Eikelboom D. H. y Grovenstein J. (1998). Control of bulking in a full scale plant by addition of talc (PE 8418). *Water Sci. Technol.* 37, 297-301.
- Eikelboom D. H., Andreadakis A. y Andreasen, K. (1998). Survey of filamentous populations in nutrient removal plants in four European countries. *Water Sci. Technol.* 37, 281-289.
- Goodfellow M., Stainsby F. M., Davenport R., Chun J. y Curtis T. (1998). Activated sludge foaming: the true extent of actinomycete diversity. *Water Sci. Technol.* 37, 511-519.
- Hagland E., Dillner Westlund A. y Rothman M. (1998). Sludge retention time in the secondary clarifier effects on the growth of *Microthrix parvicella*. *Water Sci. Technol.* 37, 47-50.
- Henry J. G. y Heinke G. W. (1997). *Ingeniería ambiental*. 2ª ed. Prentice, México. Vols. 1 y 2, 778 p.
- Jáuregui R. B. (2000). Identificación de microorganismos filamentosos. Convenio General de Colaboración Reciclagua-Facultad de Química. UAEM, Toluca
- Jenkins D., Richard M. G. y Daigger G. T. (1993). *Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming*. 2ª ed. Lewis Publishers, Nueva York, 193 p.
- Jorand F., Boué-Bigne F, Block J. C. y Urbain V. (1998). Hydrophobic/hydrophilic properties of activated sludge exopolymeric substances. *Water Sci. Technol.* 37, 307-315.
- Knoop S. y Kunst S. (1998). Influence of temperature and sludge loading on activated sludge settling, especially on *Microthrix parvicella*. *Water Sci. Technol.* 37, 27-35.
- Lacko N., Bux F. y Kasan H. C. (1999). Survey of filamentous bacteria in activated sludge plants in KwaZulu-Natal. *Water SA*. 25, 63-68.
- Mamais D., Andreadakis A., Noutsopoulos C. y Kalergis C. (1998). Causes of, and control strategies for *Microthrix parvicella* bulking and foaming in nutrient removal activated sludge systems. *Water Sci. Technol.* 37, 9-17.
- Metcalf y Eddy, Inc. (1996). *Ingeniería de aguas residuales. tratamiento, vertido y reutilización*, McGraw Hill, México. Tomos 1 y 2, 1485 p.
- Pacheco S.V.F., Pavón S.T.B. y Jáuregui R. B. (2000). Proyecto sobre microorganismos filamentosos. Convenio General de Colaboración Reciclagua-Facultad de Química, UAEM, Toluca, pp. 1-47.
- Ramallo R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverté, México, 705 p.
- Richard M. (1991). *Activated sludge microbiology*. The Water Pollution Control Federation, Virginia, 73 p.
- Rothman M. (1998). Operation with biological nutrient removal with stable nitrification and control of filamentous growth. *Water Sci. Technol.* 37, 549-554.
- Scruggs C. E. y Randall C. W. (1998). Evaluation of filamentous microorganism growth factors in an industrial wastewater activated sludge system. *Water Sci. Technol.* 37, 263-270.
- Sepúlveda V. H. J. (1998). Treatment of industrial wastewaters: EPCCA Case. Roundtable on Municipal Water. Canadá. (Inter-American Program for Environmental Technology Cooperation in the Key Industry Sectors).
- Stratton H., Seviour B. y Brooks P. (1998). Activated sludge foaming: what causes hydrophobicity and can it be manipulated to control foaming? *Water Sci. Technol.* 37, 503-509.
- Tando V., Rossetti S., Blackall L. L. y Majone M. (1998). Some physiological properties of an Italian isolate of "*Microthrix parvicella*". *Water Sci. Technol.* 37, 1-8.