

**Avances y perspectivas para la optimización de microorganismos relevantes y limitación de bacterias filamentosas en lodos activados: una revisión**

**Advances and perspectives for the optimization of relevant microorganisms and limitation of filamentous bacteria in activated sludge: a review**

---

Ricardo Chambi Apaza  
ricardochambiapaza@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca  
Katerin Chambi Torres  
katerinchambitorres@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca  
Nestor Deza Chavez  
ene3axs@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca  
Edwin Mamani Coyla  
edwin.123.4@hotmail.com - Universidad Nacional de Juliaca  
Jhelsi Milagros Mamani Quispe  
mili.gros9@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca  
Fiorela Esmeralda Quispe  
fiorelaesmeralda121@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca

### Resumen

Los lodos activados constituyen uno de los procesos más importantes biotecnológicos para el tratamiento de aguas residuales, en este proceso de crecimiento suspendido hay una mezcla compleja de microorganismos, que tienen la capacidad para degradar la materia orgánica, eliminar nutrientes y transformar compuestos tóxicos en productos inofensivos; la comprensión de diversidad de las comunidades microbianas óptimas para el tratamiento y los organismos filamentosos en lodos activados, son fundamentales para abordar cuestiones de la proliferación de estas bacterias, tasa de crecimiento y las limitantes para su desarrollo, factores de aparición y supervivencia incluida la identificación taxonómica de estas bacterias. Estos avances permiten tener claro cómo deben ser los diseños futuros de plantas que involucren el tratamiento con lodos activados; no obstante, sigue siendo un desafío definir parámetros ambientales en zonas de por encima de los 3500 m.s.n.m, la rotación de la comunidad bacteriana, y encontrar vínculos estrechos entre la estructura microbiana de lodos activados y funciones de la planta de tratamiento de aguas residuales. Para resolver esos problemas, esperamos que la investigación futura se enfoque en la caracterización de bacterias filamentosas, utilizando modelos matemáticos para entender la comunidad microbiana de lodos, estructura y utilizar esta información sobre microorganismos filamentosos de lodos activados, para predecir el desempeño de las PTAR que serán vitales para avanzar en el conocimiento de la ecología microbiana de bacterias filamentosas de lodos activados.

**Palabras claves:** *Aguas residuales, bacterias filamentosas, lodos activados, microorganismos.*

## Abstract

Activated sludge is one of the most important biotechnological processes for wastewater treatment, in this suspended growth process there is a complex mixture of microorganisms, which have the ability to degrade organic matter, eliminate nutrients and transform toxic compounds into harmless products. The understanding of diversity of optimal microbial communities for treatment and filamentous organisms in activated sludge, are essential to address issues of the proliferation of these bacteria, growth rate and limitations for their development, factors of emergence and survival including Taxonomic identification of these bacteria. These advances allow us to be clear about the future designs of plants that involve treatment with activated sludge; however, it is still a challenge to define environmental parameters in areas above 3500 m.a.s.l, the rotation of the bacterial community, and to find close links between the microbial structure of activated sludge and functions of the wastewater treatment plant. To solve these problems, we hope that future research will focus on the characterization of filamentous bacteria, using mathematical models to understand sludge microbial community, structure and use of this information on activated sludge filamentous microorganisms, to predict the performance of WWTPs that will be vital to advance the knowledge of the microbial ecology of filamentous bacteria in activated sludge.

**Keywords:** *Wastewater, filamentous bacteria, activated sludge, microorganisms.*

## Introducción

Las aguas residuales tratadas por PTAR es una unidad indispensable de ciudades modernas, que elimina los contaminantes de las aguas residuales resultantes de actividades antropogénicas (Eikelboom, 1975), los métodos biológicos de tratamiento, que generalmente involucran el proceso de lodo activado, son las tecnologías más ampliamente aplicadas en las plantas de todo el mundo (A, 2014; Richard, Daigger, & Jenkins, 2003).

Desde su desarrollo hace 80 años, el proceso de lodos activados ha sufrido muchos cambios en sus características operativas para mejorar tanto su eficiencia como su flexibilidad (Shuval, 1973); los sistemas convencionales fueron diseñados originalmente para eliminar los compuestos orgánicos carbonosos y el amoníaco que eran tóxicos para los peces (Alvarez-Ramirez, Meraz, Monroy, & Velasco, 2002), también muchas plantas ahora se construyen para eliminar otros compuestos que contienen fósforo microbiológicamente; el proceso de lodo activado es una tecnología antigua, pero sigue siendo la más usada para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (Gaval & Pernelle, 2003).

Los lodos activados constituyen uno de los procesos más importantes biotecnológicos para el tratamiento de aguas residuales y protección del medio ambiente (Gao et al., 2016; Podder & Majumder, 2016; Zhang, Xu, & Zhu, 2018), en este proceso de crecimiento suspendido, hay una mezcla compleja de microorganismos que tienen la capacidad para degradar la materia orgánica, eliminar nutrientes y transformar compuestos tóxicos en productos inofensivos (Kadir, Lam, Uemura, Lim, & Lee, 2018). Por esta razón, es crucial entender la estructura de la comunidad microbiana y los procesos que subyacen detrás de los lodos activados (Grengg et al., 2018).

Los estudios sobre microbiología de plantas de tratamiento típicamente involucran la diversidad de inventarios de comunidades y poblaciones importantes de microorganismos (Gaval & Pernelle, 2003), donde a las bacterias filamentosas se deben considerar como componentes normales de la comunidad de microbios de plantas de lodos activados, ellos probablemente desempeñen un papel

importante en la formación de flóculos con buenas propiedades de sedimentación (Wuertz & Okabe, 2004). Sin embargo, los problemas surgen cuando la comunidad de estos sistemas de microorganismos no está en equilibrio y las bacterias filamentosas proliferan, causando abultamiento y espumación (Petrosanu, 2007).

En esta revisión, se hizo un resumen sobre la riqueza microbiana de lodos activados y su diversidad, especialmente de bacterias filamentosas, donde hacemos énfasis en sus formas de supervivencia, como afectan en el proceso del tratamiento de aguas residuales. Al final, hablamos de las estrategias para controlar el filamento y moderar su crecimiento.

### 1. Microorganismos encontrados en los procesos de lodos activados.

El tratamiento de aguas residuales por medio de lodos activados se elaboró por primera vez en Inglaterra el año 1914 y en la actualidad es el método modelo en los países desarrollados (Eikelboom, 1975; Seviour, 1999; Shuval, 1973), la depuración del agua residual a través de este proceso se lleva a cabo mediante la acción de diversos microorganismos aerobios que oxidan la materia orgánica presente en el agua de desecho y la transforman a una forma más estable (Guo, Peng, Wang, Yang, & Yuan, 2014; Richard, 2003), disminuyendo de esta forma la carga orgánica contaminante. Para llevar a cabo este proceso, los microorganismos requieren de un medio adecuado rico en oxígeno y alimento, necesarios para su desarrollo (Drenovsky, Feris, Batten, & Hristova, 2008). En estas condiciones estos microorganismos se multiplican rápidamente formando la biomasa, que oxida los diferentes tipos de materia orgánica presente en las aguas residuales y completan de esta forma el tratamiento biológico (Wan et al., 2011).

Los microorganismos filamentosos se identifican rutinariamente sobre la base de sus particularidades morfológicas y reacciones de varios instrucciones de tinción, siguiendo los métodos minuciosos en los manuales de (Zhang et al., 2018) y (Grengg et al., 2018) más recientemente, por métodos biológicos

(Cantabria & Industriales, 2018). La frecuencia relativa de aparición de organismos filamentosos individuales dominantes en lodos activados y los tipos de organismos filamentosos se observan de manera generalizada en lodos activados y que aproximadamente son 10 a 12 tipos que presentan abultamientos y formación de espumas (Fan et al., 2017).

Tabla 1.  
Tipo de microorganismos filamentosos

Rango	Organismo filamentosos	Dominante	Secundario
1	Nocardioform organisms	31	17
2	Tipo 1701	29	24
3	Tipo 021N	19	15
4	Tipo 0041	16	47
5	Thiothrix spp.	12	20
6	Sphaerotilus natans	12	19
7	Microthrix parvicella	10	3
8	Tipo 0092	9	4
9	Haliscomenobacter hydroxsis	9	45
10	Tipo 0675	7	16
11	Tipo 0803	6	9
12	Nostocoida limicola ( Tipo I, II and III)	6	18
13	Tipo 1851	6	24
14	Tipo 0961	4	6
15	Tipo 0581	3	1
16	Beggiatoa spp.	1	4
17	Fungi	1	2
18	Tipo 0914	1	1

Nota. (SEVIOUR, 1999)

## 2. Características generales de microbios relevantes para lodos activados

Es necesario mencionar algunos principios generales de la microbiología, ya que son estos microorganismos que provocan los cambios químicos que se producen en estas plantas y cuyo papel es tan importante para la operación tanto para el diseño de plantas de modelado como para su operación de rutina (Guo et al., 2014; von Sperling, 2008; Wan et al., 2011).

Los componentes principales de bacterias en lodos activados, son microorganismos, entre 0.2 y 3  $\mu\text{m}$  ; (pero en lodos activados son a menudo de 0,5 a 2  $\mu\text{m}$  pequeños), con morfología celular variable (Milobeldzka, Witeska, & Muszyński, 2016). Estos microorganismos son importantes tanto en términos de su función como de su competencia con bacterias filamentosas (Cyzdik-Kwiatkowska & Zielińska, 2016); estas bacterias a menudo causan serios problemas en el proceso de tratamiento de aguas; conociendo la identidad y las propiedades de estas poblaciones filamentosas son cruciales para abordar adecuadamente cualquier estrategia dirigida a modificar la composición de la biomasa. La

identificación adecuada de una bacteria es un procedimiento complejo, y para muchos años, la identificación de muchas poblaciones microbianas presentes en lodos activados fue realizado utilizando criterios morfológicos (es decir, forma celular, dimensiones, tinción de Gram, etc.) (Hashimoto et al., 2016; Wan et al., 2011).

## 3. Estado taxonómico actual de bacterias filamentosas encontradas en plantas de lodo activado

Comprender algunos de los problemas asociados a la identificación de los filamentosos. Bacterias en lodos activados, es necesario discutir primero los principios de taxonomía (Shuval, 1973)(Eikelboom, 1975).

**Clasificación:** La clasificación describe el ejercicio de organizar los organismos en grupos taxonómicos llamados taxones, en base a sus similitudes y diferencias. En las clasificaciones biológicas, los taxones se organizan jerárquicamente, con las especies que representan el grupo o unidad básica.

Las clasificaciones pueden ser de varios tipos (SEVIOUR, 1999).

a) **Artificial (monotético):** Generalmente diseñado para un propósito especial, de modo que solo aquellos se incluyen los organismos de interés, y el resto se ignoran (Pernelle et al., 2001).

b) **Fenético:** Clasificaciones de propósito general, intentando incluir todos los organismos y todos los aspectos de su fisiología, bioquímica, genética, etc. (Pernelle et al., 2001).

## 4. El crecimiento y nutrición de los microbios

Para crecer todas las células, protozoarios y bacterias presentes en los sistemas de lodos activados requieren de nutrientes para realizar su división celular y expandirse (Painter & Loveless, 1983); en muchos sistemas de lodos activados no es posible brindar condiciones idóneas para que estas bacterias se desarrollen en cultivos axénicos.(SEVIOUR, 1999).

Las fuentes de energía para el desarrollo de estas bacterias son aquellas donde se encuentre el ATP necesario para la biosíntesis conjuntamente con reacciones, así como también es necesario que se cuente con fuentes de carbono que permitan la producción de nuevos compuestos celulares (Molin & Kjelleberg, 1993). Los organismos heterótrofos necesitarán de compuestos orgánicos para metabolizarlos y los organismos autótrofos necesitan de  $\text{CO}_2$  como fuente de carbono, debido a que se necesita gran cantidad de energía para producir estos compuestos orgánicos, los organismos pueden utilizar algunos de estos compuestos preformados si se encuentran disponibles (Gaval & Pernelle, 2003).

El organismo requerirá las condiciones de cultivo como pH, temperatura, disponibilidad de agua y ambiente gaseoso apropiado para ello. Los microbios tienen un rango de tolerancia para todo esto y se deben cumplir ya que si se exceden no habrá crecimiento. (Painter & Loveless, 1983; Sánchez, n.d.; SEVIOUR, 1999).

#### 4.1. Cinética del crecimiento

Los hongos filamentosos y posiblemente algunas bacterias filamentosas, encontradas en las espumas de la planta de lodos activados crecen de manera diferente (Painter, 1986). El mecanismo de crecimiento de las bacterias filamentosas no se ha logrado entender bien (Seviour, E.M., Williams, C, DeGrey, B., Sod dell, J.A, Seviour, R.J. and Lindrea, 1994) Aunque en la mayoría de las bacterias, incluidas algunas de las filamentosas, la división celular se produce por fisión binaria, proceso que se ve afectado por una amplia gama de factores. El tiempo de generación o duplicación es menor para las bacterias que para un microbio eucariota como los hongos. (SEVIOUR, 1999). El resultado final de todas estas reacciones catabólicas y anabólicas dentro de la célula la lleva a un aumento de su tamaño y posterior división celular.

Las células se pueden cultivar en laboratorio utilizando dos tipos de sistemas; el primero es cerrado o cultivo por lotes con una entrada y salida, una vez que el cultivo ha sido inoculado con células en cultivo discontinuo, el medio ambiente y por tanto la fisiología de los organismos está cambiando continuamente, esto no puede ser controlado adecuadamente y por lo tanto no son alcanzables. En este tipo de cultivo se dan los cambios en la población según la curva de crecimiento microbiano que consta de las fases de latencia, exponencial, estacionaria y por último la fase de muerte (SEVIOUR, 1999).

En cambio el cultivo abierto o cultivos continuos se pueden lograr la entrada de nuevos medios de crecimiento controlados y eliminación del medio gastado y células del vaso de crecimiento, de esta manera es posible mantener un crecimiento exponencial de una población de forma indefinida y lograr condiciones estables. (Hall et al., 2016; Li, Wu, Li, & Fu, 2016). Más comúnmente los sistemas de cultivo continuo se ejecutan como quimiostatos donde la tasa de crecimiento específico del organismo se controla mediante el control de tasa en el que el sustrato de crecimiento limitante (Por ejemplo, la fuente de carbono o nitrógeno). Se proporciona al cultivo, por tanto en un quimiostato es posible hacer crecer la población a la tasa deseada, esto proporciona un muy poderoso sistema experimental. (SEVIOUR, 1999). Se ha considerado que los sistemas de lodos activados funcionan de manera similar a los quimiostatos.

#### 4.2. Cinética de cultivos en quimiostato

Existen ecuaciones de equilibrio simples que intentan explicar aquello que podría ocurrir en un quimiostato, donde se agrega continuamente medio fresco a un recipiente que tenga un volumen constante, medio gastado y células eliminadas. Las producciones de la biomasa por el cambio neto de la densidad celular intervienen en factores como el crecimiento de las células, células perdidas por dilución y muerte celular. La tasa de dilución se verá influida por el incremento y muerte de la población, al tener valores establecidos para este parámetro se podrá conseguir el estado estacionario, siendo así el valor autorregulable. Los quimiostatos funcionan mejor con bajos valores en su tasa de dilución. (SEVIOUR, 1999).

#### 5. Control y prevención del crecimiento de microbios

El crecimiento y viabilidad de las células quizá se vea afectado por un rango de factores físicos y químicos. Algunos de estos químicos pueden matar células, pero frecuentemente no son selectivos, en otras palabras, matan células de mamíferos. Los ya conocidos desinfectantes y antisépticos, que son más utilizados para tratar objetos inanimados, como metales pesados (nitrato de plata, sulfato de cobre, halógenos como el yodo y el cloro) estos utilizados para eliminar patógenos, compuestos fenólicos y detergentes. (SEVIOUR, 1999).

Cierta cantidad de compuestos químicos tienen su modo de acción dirigida a células bacterianas, dejando a las células eucariotas intactas. Los antibióticos se dirigen exclusivamente a ciertas actividades metabólicas, como las penicilinas y cefalosporinas. La selectividad que presentan es por ser de naturaleza eucariota. (SEVIOUR, 1999)

Algunos factores físicos también suelen matar células, afectando sus tasas de crecimiento, incluimos la temperatura, pH, potencial redox, concentración de  $O_2$  y disponibilidad de agua. Los parámetros ya mencionados decidirán si los organismos pueden o no crecer en comunidades naturales incluyendo plantas de lodos activados (Gaval & Pernelle, 2003) quienes detallan mejor sus influencias, los procariontes al parecer son más resistentes ante extremos que los eucariotas, que a menudo se dañan más rápidamente.

Probablemente sea la temperatura el factor más importante para lograr un adecuado crecimiento bacteriano (Pernelle, Gaval, Cotteux, & Duchêne, 2001). En condiciones de temperaturas altas el crecimiento se dará de manera acelerada, pero si la temperatura se eleva demasiado esto puede ser letal por el hecho de desnaturar las enzimas y proteínas (Gaval & Pernelle, 2003). De manera similar ocurre con bajas temperaturas, es así que lo óptimo para el crecimiento es que los microorganismos se encuentren en sus

condiciones de temperatura adecuadas (SEVIOUR, 1999).

### 5.1. Las comunidades microbianas

Las plantas de lodos activados representan ecosistemas microbianos que tienden a ser lo suficientemente complejos como para desalentar a la mayoría de los ecologistas microbianos, en especial aquellos predispuestos a trabajar con cultivos puros, por lo que la metodología disponible, todavía no es adecuada para permitirnos entender cómo funciona. (R.J. SEVIOUR, 1999).

### 5.2. Los flóculos

Los flóculos están conformados por microorganismos, materia orgánica e inorgánica, y algunos diversos factores que influyen en la formación y sedimentación de los flóculos tales como, la edad de los lodos, presencia de metales, compuestos orgánicos, agentes tensoactivos, la superficie química y densidad del flóculo. (R.J. SEVIOUR, 1999).

En cuanto al excesivo crecimiento de microorganismos filamentosos donde se unen los flóculos entre sí, llega a producirse un defecto en la sedimentación del sólido a este defecto se denomina "bulking" que es el aumento de volumen de los sólidos sedimentados por compactación defectuosa. Si estos microorganismos son de naturaleza hidrofóbica, como el mycolata o el 'Microthrix parvicella' se produce la formación de espumas biológicas, fenómeno conocido como "foaming" (Yamilet Arcos A, 2013)

## 6. Métodos para estudiar poblaciones microbianas en lodo activado

### 6.1.1. Determinación de la actividad respiratoria

Las medidas de respiración métricas son determinaciones en los cambios que se producen con la velocidad de respiración que se da en los microorganismos presentes, estos al ser expuestos a la presencia de diferentes sustratos, en la actividad respiratoria de una muestra de barro activado, que es respuesta al agregado de un cierto sustrato, son un indicador de la presencia de microorganismos capaces de oxidar dicho sustrato, asimismo la velocidad de respiración es un indicador de la cantidad de estos microorganismos. (Edgardo Contreras, 2014).

### 6.1.2. Composición de la comunidad microbiana.

Los componentes microbianos relacionados a los flóculos se determinan sobre todo a nivel de grupo, sin llegar a género debido principalmente a la falta de precisión en la identificación. En la calidad nutricional del flóculo puede variar

substantialmente de 12 a 49 y 13 a 46% de proteína cruda y lípidos, respectivamente. Las variaciones pueden ser resultado de una diferente relación C, N, intensidades de luz, salinidad y sobretodo, de la conformación del microbiota. (Pérez Rodríguez, María, Campos, & Salgado Silva, 2013).

En la composición de la comunidad microbiana, según estudios previos en lodos activados industriales se muestra la prevalencia de filos bacterianos tales como Proteobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes y Actinobacteria, este patrón no difiere en forma sustancial del que se encuentra en plantas de tratamiento municipales (Ibarbalz, 2016).

### 6.1.3. Manipulaciones de la comunidad microbiana en plantas de lodo activado

En el campo de la microbiología la introducción de microbios con atributos metabólicos tiene un realce en plantas de lodos activados y así mejorar su capacidad para degradar compuestos particulares.

La mayoría de los cultivos disponibles comercialmente que se han examinado fueron ineficaces en la mejora del rendimiento. En algunos laboratorios los nuevos organismos genéticamente modificados, llevan plásmidos específicos para la degradación de ciertos xenobióticos que han sido más alentadores, donde estas cepas aparentemente sobreviven en condiciones tan competitivas, siempre y cuando dependiendo de las características operativas de la planta. En el futuro para la eliminación de determinados productos químicos tóxicos en los residuos. Darán el resultado también implica que estos plásmidos pueden transferirse frecuentemente a otras bacterias presentes en plantas a escala de laboratorio, y si se demuestra que son verdaderas en plantas a gran escala, este evento genético debe aumentar enormemente la biodiversidad dentro de la comunidad de lodos activados. (R.J. SEVIOUR, 1999).

## 7. Factores que afectan la supervivencia de un microorganismo filamentosos

El sistema de fangos activados o lodos activados actúa principalmente como un sistema continuo de cultivo de biomasa, si los organismos existentes no se adaptan a las condiciones que prevalecen en el sistema es probable que mueran. A continuación, se cita los factores que afectan la capacidad del organismo para permanecer en el sistema.

### 7.1. Tasa de crecimiento

Este factor determinará la capacidad que tiene un microorganismo para competir con otras poblaciones microbianas en los reactores aerobios, así mismo la disponibilidad del sustrato puede que limite el crecimiento de organismos, y

cualquier otro factor que le afecte definirá el destino de los organismos en los lodos activados (Richard, 2003).

Esto no necesariamente ocurrirá con todos los organismos, como es el ejemplo de organismos formadores de flóculos que probablemente su cinética de crecimiento será diferente a las células suspendidas libremente, las poblaciones de bacterias mixtas es otro ejemplo de ello, ya que estudios de laboratorio mostraron que puede lograr estabilidad a largo plazo contra las predicciones del modelo (Bitton, 2005).

En los sistemas de lodos activados se aprecia en mayor número organismos quimio heterótrofos, los mismos que degradan los compuestos orgánicos carbonosos en el afluente de la planta, así como la mayoría de compuestos orgánicos presentes. Otras fuentes que requerirán los microorganismos para crecer es nitrógeno utilizable, azufre y fósforo, y cationes como  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ . Los cuales estarán presentes en el afluente, a veces en cantidades limitadas lo cual puede afectar negativamente el rendimiento de la planta especialmente con  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $K^{+}$  en plantas que eliminan el fósforo (Petrosanu, 2007).

## 7.2. Tolerancia a factores abióticos y toxinas

También será importante la capacidad de los organismos para tolerar las condiciones abióticas como temperatura, pH y potencial redox prevaletentes en el reactor, lo cual afectará la tasa de crecimiento. La misma importancia se debe de dar a compuestos químicos tóxicos incluyendo los metales pesados que ingresen a los tanques del sistema de lodos activados, ya que si exceden el rango de tolerancia del organismo, éste morirá. La falta de datos experimentales de estudios in situ dificulta evaluar la importancia de estos factores para determinar la composición de la comunidad de activados (Guo et al., 2014).

## 8. Factores que afectan la aparición de bacterias filamentosas en planta de lodos activados

Las bacterias filamentosas son de normal aparición en el tratamiento de aguas residuales del sistema de tratamiento por lodos activados lo más probable es que son favorables en la formación de flóculos y demás propiedades como de sedimentación que se les atribuyen. El problema con las bacterias filamentosas es cuando su proliferación se da de manera desmedida formando así abultamiento y espumación lo cual causa problemas operacionales en el sistema de tratamiento de lodos activados (Bitton, 2005).

El desarrollo de estas bacterias filamentosas en el tratamiento de aguas residuales con la tecnología de lodos activados genera serios problemas en la parte operativa, específicamente en el clarificador secundario, además que la proliferación de estas bacterias hace que se

genere mayor cantidad de espumas, natas. uno de estos problemas también es el arrastre de los sólidos al tratamiento final (Activated Sludge the Microbiology of, n.d.; Nielsen, Kragelund, Seviour, & Nielsen, 2009) esto es debido al resultado del deterioro de lodos (Adonadaga & Martienssen, 2015).

El crecimiento de la bacteria filamentosas cumple en gran medida, con los contextos de operación, como la disminución de oxígeno disuelto (OD), la relación bacteria/materia orgánica, deficiencia de nutrientes, el pH bajo, la temperatura, la carga orgánica baja, el DBO residual soluble, la constitución del agua residual y los incrementos de tiempos de retención celular.

## 8.1. Estrategias para controlar el filamento y modelar su crecimiento

La carga orgánica que llega al reactor de fangos activos tiende a ser muy baja y es donde principalmente se elimina el DQO Particulado lentamente biodegradable; en el proceso llegan a aparecer microorganismos de lento crecimiento como los autótrofos en dicho reactor que elimina el exceso de nitrógeno amoniacal mediante nitrificación. Un pre-tratamiento mediante una etapa de biopelícula, es una forma alternativa de controlar el crecimiento filamentosos que se da en lodos activados. El proceso puede operar permitiendo un ligero exceso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en el efluente final, donde sus nutrientes son reducidos. Este proceso consiste en reducir la producción de fangos en los casos en los que se requiere una adición de nutrientes. (Cantabria & Industriales, 2018).

## Conclusiones

El conocimiento de la microbiología de los lodos activados beneficia la comprensión de la ecología microbiana y operación de las PTARs, para las perspectivas de la comunidad de microbios; Las comunidades filamentosas en lodos activados, la aplicación del conocimiento sobre la diversidad microbiana de lodos y los nuevos conceptos ecológicos es valioso para el óptimo tratamiento de lodos activados.

La identificación de microbios presentes en lodos activados y los rasgos funcionales microbianos proporcionan valiosa información, son importantes para comprender y predecir las estructuras de la comunidad microbiana y sus funciones en lodos activados.

## Referencias bibliográficas

- A, Y. A. (2014). Microbiología de lodos activados. *Microbiology of the activated sludge*, 4(2), 117–122.
- Adonadaga, M.-G., & Martienssen, M. (2015). In situ Identification of Filamentous Bacteria from Activated Sludge Wastewater Treatment Plants in Ghana. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 3(3), 75–81. Alvarez-Ramirez, J., Meraz, M., Monroy, O., & Velasco, A. (2002). Feedback control design for an anaerobic digestion process. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*.
- Bitton, G. (2005). *Wastewater microbiology*.
- Cantabria, U. D. E., & Industriales, T. (2018). Trabajo Fin de Grado Análisis del proceso BAS para el tratamiento biológico de un efluente residual a escala laboratorio ( Analysis of the BAS process for the biological treatment of the residual effluent to laboratory scale ) Autor : Rubén Riancho López.
- Cyzdik-Kwiatkowska, A., & Zielińska, M. (2016). Bacterial communities in full-scale wastewater treatment systems. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*.
- Drenovsky, R. E., Feris, K. P., Batten, K. M., & Hristova, K. (2008). *University of Notre Dame New and Current Microbiological Tools for Ecosystem Ecologists: Towards a Goal of Linking Structure and Function*. Source: *The American Midland Naturalist* (Vol. 160).
- Fan, N., Qi, R., Rossetti, S., Tandoi, V., Gao, Y., & Yang, M. (2017). Factors affecting the growth of *Microthrix parvicella*: Batch tests using bulking sludge as seed sludge. *Science of the Total Environment*, 609(18), 1192–1199.
- Gao, P., Xu, W., Sontag, P., Li, X., Xue, G., Liu, T., & Sun, W. (2016). Correlating microbial community compositions with environmental factors in activated sludge from four full-scale municipal wastewater treatment plants in Shanghai, China. *Applied Microbiology and Biotechnology*.
- Gaval, G., & Pernelle, J. J. (2003). Impact of the repetition of oxygen deficiencies on the filamentous bacteria proliferation in activated sludge. *Water Research*, 37(9), 1991–2000.
- Grengg, C., Mittermayr, F., Ukrainczyk, N., Koraimann, G., Kienesberger, S., & Dietzel, M. (2018). Advances in concrete materials for sewer systems affected by microbial induced concrete corrosion: A review. *Water Research*.
- Guo, J., Peng, Y., Wang, S., Yang, X., & Yuan, Z. (2014). Filamentous and non-filamentous bulking of activated sludge encountered under nutrients limitation or deficiency conditions. *Chemical Engineering Journal*, 255(14), 453–461.
- Hall, K. R., Herbert, M. E., Sowa, S. P., Mysorekar, S., Woznicki, S. A., Nejadhashemi, P. A., ... Hecky, R. E. (2016). Reducing current and future risks: Using climate change scenarios to test an agricultural conservation framework.
- Hashimoto, K., Tsutsui, H., Takada, K., Hamada, H., Sakai, K., Inoue, D., ... Ike, M. (2016). Changes in bacterial community structure in a full-scale membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. *Journal of Bioscience and Bioengineering*.
- Ibarbalz, F. M. (2016). Metagenómica de lodos activados. Factores determinantes del ensamblado de comunidades bacterianas en el tratamiento de efluentes.
- Kadir, W. N. A., Lam, M. K., Uemura, Y., Lim, J. W., & Lee, K. T. (2018). Harvesting and pre-treatment of microalgae cultivated in wastewater for biodiesel production: A review. *Energy Conversion and Management*.
- Li, F., Wu, W., Li, R., & Fu, X. (2016). Adsorption of phosphate by acid-modified fly ash and palygorskite in aqueous solution: Experimental and modeling.
- Lim, S. Y., Kim, S., Yeon, K. M., Sang, B. I., Chun, J., & Lee, C. H. (2012). Correlation between microbial community structure and biofouling in a laboratory scale membrane bioreactor with synthetic wastewater. *Desalination*.
- Milobeldzka, A., Witeska, A., & Muszyński, A. (2016). Factors affecting population of filamentous bacteria in wastewater treatment plants with nutrients removal. *Water Science and Technology*, 73(4), 790–797. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.541>
- Pérez Rodríguez, C., María, J., Campos, C., & Salgado Silva, V. (2013). Tratamiento de aguas residuales con tecnologías alternativas en una pequeña unidad doméstica-productiva. *UNICIENCIA*, 27(1), 2013. Recuperado de
- Pernelle, J. J., Gaval, G., Cotteux, É., & Duchéne, P. (2001). Influence of transient substrate overloads on the proliferation of filamentous bacterial populations in an activated sludge pilot plant. *Water Research*, 35(1), 129–134.
- Petrosanu, M. (2007). Lodo activado EPISODIOS de aumento de volumen y bacterias filamentosas dominante en TRATAMIENTO DE AGUA residuos vegetales CONSTANȚA SUD ( Rumanía ), 83–88.
- Podder, M. S., & Majumder, C. B. (2016). Kinetic, mechanistic and thermodynamic studies of removal of arsenic using *Bacillus arsenicus* MTCC 4380 immobilized on surface of granular activated carbon/MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> composite. *Groundwater for Sustainable Development*.
- Richard, M. (2003). Michael Richard, Ph.D. Sear-Brown Fort Collins, CO. *20th Annual USEPA National Operator Trainers Conference*, 1–21.
- Richard, M., Daigger, G., & Jenkins, D. (2003). *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems, 3rd Edition*.
- Sánchez, O. (n.d.). *Editor PhD Environmental Engineering Activated Sludge Processes*. Recuperado de [www.appleacademicpress.com](http://www.appleacademicpress.com)
- Shuval, I. (1973). International association on water pollution research. *Water*
- von Sperling, M. (2008). Basic principles of wastewater treatment. In I. Publishing (Ed.), *Choice Reviews Online* (p. 208). Brazil: London SW1H 0QS. Wan, C. Y., De Wever, H., Diels, L., Thoeve, C., Liang, J. Bin, & Huang, L. N. (2011). Biodiversity and population dynamics of microorganisms in a full-scale membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. *Water Research*.

- Wuertz, S., & Okabe, S. (2004). Microbial source tracking (MST) View project Genotype-dependent behaviors of human noroviruses in water-related environments View project.
- Zhang, B., Xu, X., & Zhu, L. (2018). Activated sludge bacterial communities of typical wastewater treatment plants: distinct genera identification and metabolic potential differential analysis. *AMB Express*.

### **Agradecimientos**

*Agradecemos al Mg.Sc René Henry Barcena Rodríguez, por inculcarnos la investigación en aguas residuales y por el tiempo dedicado a enseñarnos sus fundamentos.*