

Microbiología de lodos activados

Microbiology of the activated sludge

Yamilet Arcos A.*

El tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados se desarrolló por primera vez en Inglaterra en el año 1914 y actualmente es el método estándar en los países desarrollados.¹ 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, disminuyendo de esta forma la carga orgánica contaminante.² Para llevar a cabo este proceso, los microorganismos requieren de un medio adecuado rico en oxígeno y alimento, necesarios para su desarrollo. 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.

La reacción típica que se presenta en la degradación de la materia orgánica en lodos activados se puede observar en la [Ecuación 1](#).

Tanto la edad de lodos como el tiempo de retención hidráulico son parámetros fundamentales para el diseño y operación en sistema de lodos activados. La edad de lodos es el tiempo promedio que los microorganismos permanecen en el reactor antes de ser retirados y varía generalmente entre 5 y 30 días. Los datos del tiempo de retención celular (<5 días) indican que los lodos son difíciles de sedimentar y aparecen los microorganismos filamentosos. En cuanto al Tiempo

de Retención Hidráulico (TRH), se aprecian valores que superan las 8 h que normalmente se emplean en los procesos típicos de lodos activados, lo que representa mayores requerimientos de aireación.³

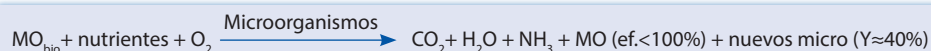
La carga orgánica o relación F/M es el alimento por unidad de biomasa que reciben los microorganismos. Las relaciones bajas de F/M (alimento/microorganismo) hacen que el lodo tenga características muy pobres de decantación (flóculos dispersos); mientras que las relaciones de F/M son elevadas (por ejemplo, entre 0,6 y 1,0 kgDBO/kgSSTLM/d) predominan microorganismos de naturaleza filamentosos que provocan la inflación del lodo, que impide la sedimentación al permanecer casi continuamente en suspensión.^{4,5}

Los microorganismos que constituyen los lodos activados son protozoos, hongos, algas, organismos filamentosos y bacterias, siendo estas últimas el grupo dominante que constituye la mayor parte del proceso (90% a 95%).^{6,17}

BACTERIAS

En su mayoría son aerobias Gram negativas, utilizan la materia orgánica como fuente de carbono (heterótrofas) y, quimiolitotrofas capaces de oxidar el amoníaco y los nitritos, su tamaño oscila entre 0,5 y 5 µm.⁶

Algunas bacterias tienen la capacidad de unirse unas con otras para formar los flocs, característica



Ecuación 1. Reacción típica que se presenta en la degradación de la materia orgánica en lodos activados.

*Bacterióloga y Laboratorista Clínico, MSc. en Biología. Grupo de Investigación de Bioproses Microbianos (BIOMICRO), Escuela de Microbiología, Universidad de Antioquia. Contacto: yaarcos@hotmail.com
 Recepción: 08-25-2014. Aceptación: 09-01-2014.

muy importante en los lodos activados ya que permite una alta eficiencia en el proceso de sedimentación secundaria para obtener un efluente final más transparente y de mejor calidad **Figura 1**.

Los flocs están conformados por microorganismos, materia orgánica e inorgánica, y algunos filamentos unidos por una matriz de glicocalix producida por bacterias como la *Zooglea ramigera* que en unión con las bacterias filamentosas participan en la conformación estructural de los flocs **Figura 2**.⁷

Existen diversos factores que influyen en la formación y sedimentación de los flocs tales como la edad de los lodos, presencia de metales, compuestos orgánicos, agentes tensoactivos, la superficie química y densidad del floc, la presencia de bacterias floculantes y filamentosas.^{8,18}

Estas últimas actúan como un entramado que da consistencia al flóculo de manera que se pueden formar flóculos grandes y compactos que resisten la turbulencia del sistema de agitación. La presencia moderada de filamentos también ayuda a capturar y mantener atrapadas pequeñas partículas durante la sedimentación.

El bajo número o la ausencia de las bacterias filamentosas permiten la formación de flocs pequeños y débiles que no sedimentan produciendo un efluente turbio. Y el crecimiento excesivo de estas bacterias causan problemas de operación (i) Bulking o aumento en el volumen de los sólidos sedimentados por mala compactación y (ii) Foaming o formación de espumas

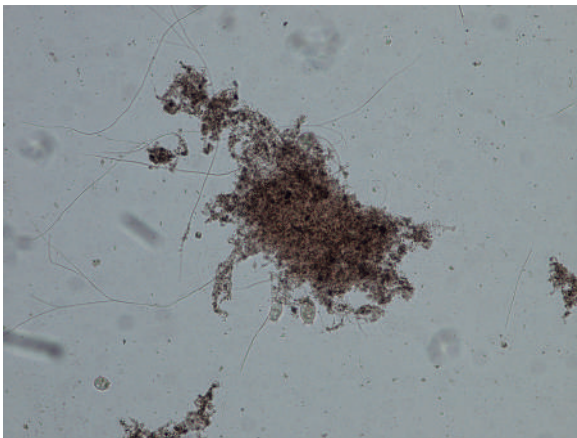


Figura 1. Flóculo en lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), San Fernando. Microscopio compuesto (100x).

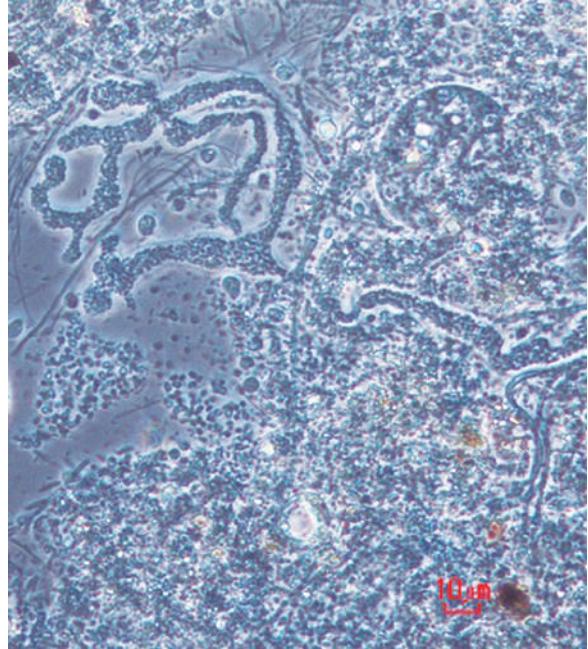


Figura 2. *Zooglea ramigera* en lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), San Fernando. Microscopio contraste de fases (400x).

debido a la presencia de microorganismos hidrofóbicos como *Micthobrix parvicella* o actinomicetos ramificados Gram positivos del género *Nocardia*.^{9,10}

Las bacterias filamentosas más comúnmente encontradas en un sistema de lodos activados son: *Sphaerotilus natans*, *Beggiatoa*, *Nocardia*, *Nostocoida limicola* I, II y III, *Thiothrix* I y II, Tipo 021N, Tipo 0041, Tipo 1863 y Tipo 0211.^{10,11}

Sphaerotilus natans

Bacteria filamentososa con un diámetro entre 1,3 y 2,4 μm , Gram negativa, alargada, delgada, compuesta por células redondeadas por una delgada vaina fina y transparente sin ramificaciones, o en algunos casos con ramificaciones falsas. Su presencia se relaciona con concentraciones bajas de oxígeno disuelto, fósforo y nitrógeno y relaciones F/M entre 0,7 a 0,2 KgD-BO5/KgSSV*d **Figura 3**.⁹

Thiothrix

Bacteria filamentososa recta o ligeramente curvada, septada, con un diámetro entre 0,5 y 1,5 μm , con células rectangulares, y gránulos de azufre en el interior. Está

relacionada con los problemas de bulking debido a la presencia de compuestos azufrados, alta carga orgánica, déficit de nitrógeno [Figura 4](#).⁹

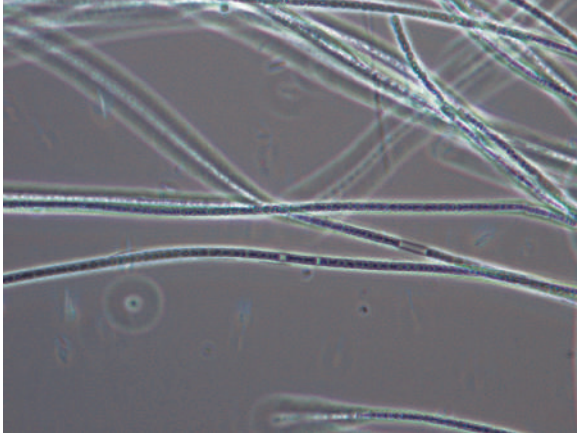


Figura 3. *Spaherotilus natans* en lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), San Fernando. Microscopio contraste de fases (1000x).

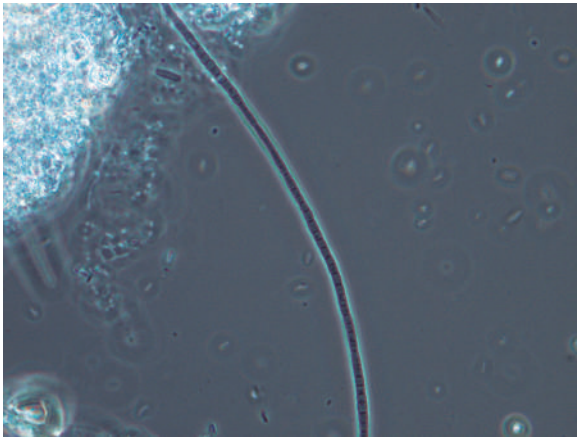


Figura 4. *Thiothrix* en lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), San Fernando. Microscopio contraste de fases (1000x).

Tipo 021N

Bacteria filamentososa con diámetro entre 1 y 2,4 μm , sin ramificaciones y sin presencia de gránulos en el interior, conformado por células discoides o cuadradas. Está asociada a afluentes con alto contenido de compuestos fácilmente biodegradables como ácidos grasos y escasez de oxígeno [Figura 5](#).⁹

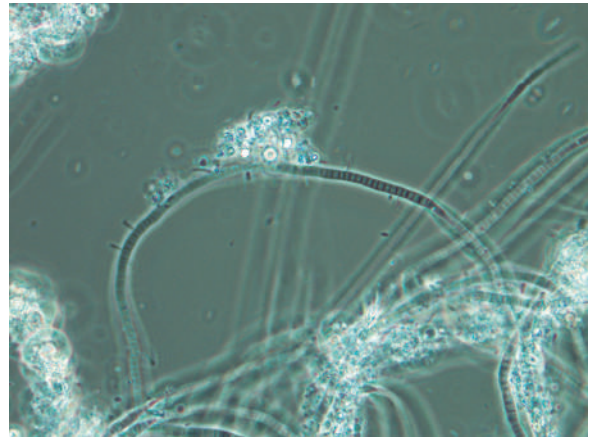


Figura 5. Tipo 021N en lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), San Fernando. Microscopio contraste de fases (1000x).

PROTOZOOS

Son organismos microscópicos, unicelulares, eucariotes, autótrofos, la mayoría heterótrofos y aerobios, actúan como bioindicadores de las plantas de tratamiento ya que son sensibles a compuestos tóxicos y a la ausencia de oxígeno. Después de las bacterias, son los segundos degradadores de materia orgánica soluble e insoluble, se alimentan de bacterias libres. Los principales subgrupos presentes en los lodos activados son los flagelados, ciliados libres y pedunculados y amebas.^{12,13}

Epistylis sp.

Es un protozoo ciliado, pedunculado, móvil, que se alimenta de bacterias libres. Su presencia se relaciona con una carga orgánica media en lodos activados [Figura 6](#).

Vorticella convalaria

Protozoo solitario, fijo al sustrato mediante pedúnculo contráctil. Habita medios con cierta cantidad de materia orgánica y se desarrolla en sistemas de lodos activados con funcionamiento estable y buena sedimentabilidad, es la especie más frecuente en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) [Figura 7](#).¹⁴

Opercularia sp.

Son colonias de ciliados sésiles, con tallos ramificados, con vacuola contráctil y micronúcleos visibles, su presencia indica la entrada de efluentes industriales y baja sedimentación [Figura 8](#).¹⁵

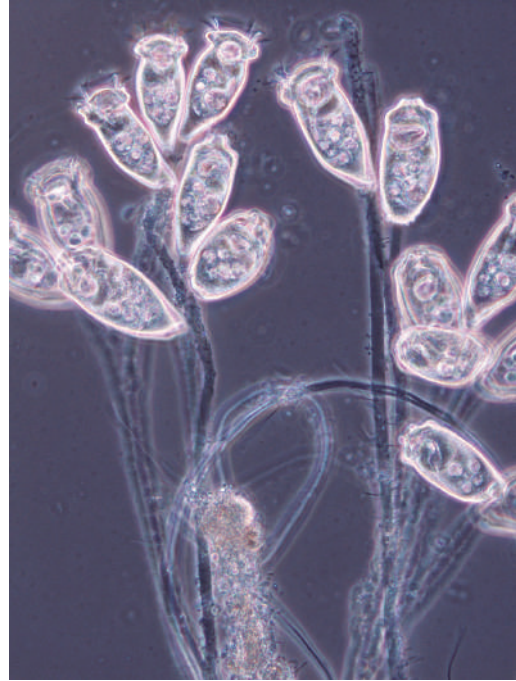
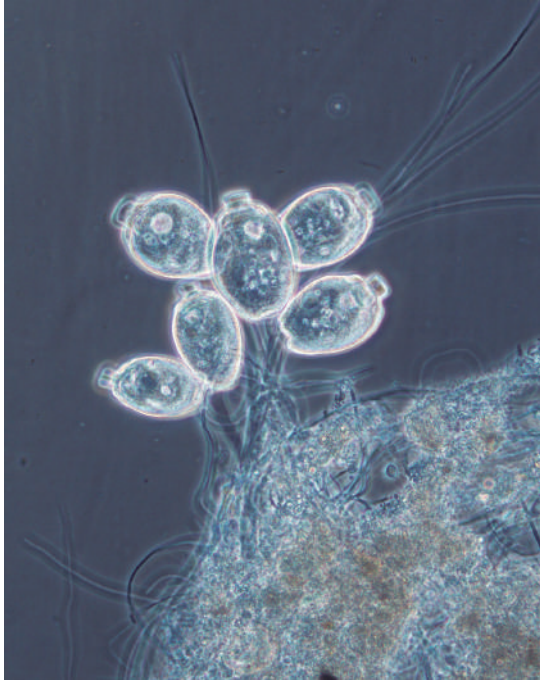


Figura 6. *Epistylis* sp., en lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), San Fernando. Microscopio contraste de fases (400x).

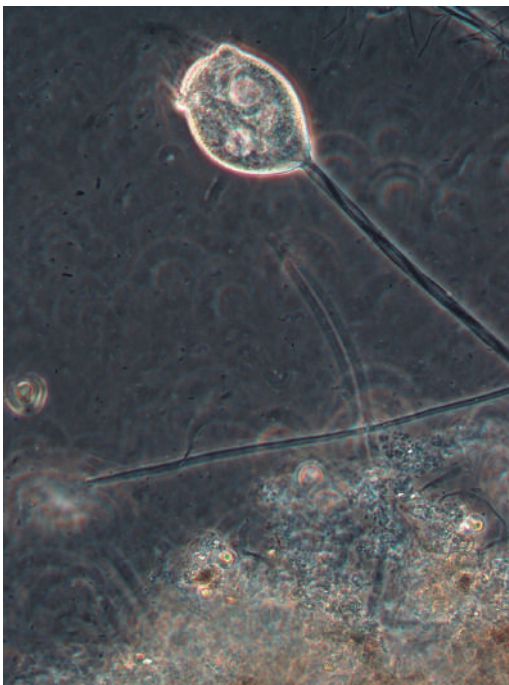


Figura 7. *Vorticella convallaria* en lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), San Fernando. Microscopio contraste de fases (400x).

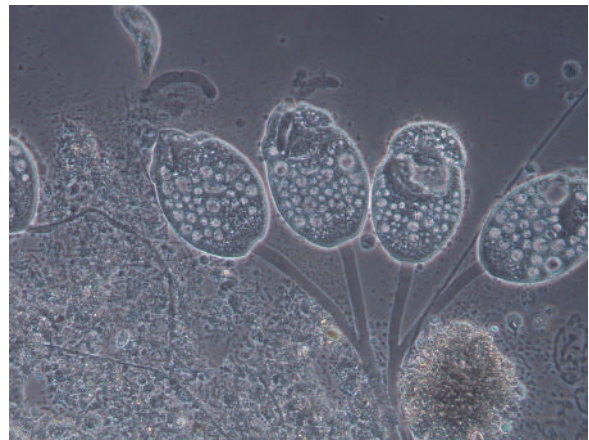


Figura 8. *Opercularia* sp., en lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), San Fernando. Microscopio contraste de fases (400x).

Arcella

Es una de las amebas más comunes en los ecosistemas de agua dulce, con un orificio en el centro por donde emergen los pseudopodos. Su presencia en lodos activados se relaciona con baja carga orgánica (Patterson),

buenas concentraciones de oxígeno y buena depuración. Cuando las temperaturas son altas se observa mayor cantidad de estas, son de color amarillo cuando están envejeciendo [Figura 9](#).⁸

Ameba

Células desnudas que cambian constantemente de forma, están rodeadas por una capa exterior transparente llamada ecdoplasma, una interna granular llamada endoplasma, están asociadas a cargas orgánicas altas y a bajos rendimientos en los procesos de depuración [Figura 10](#).^{8,16}

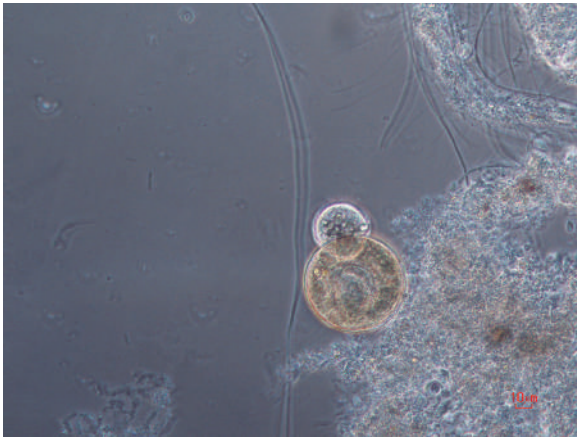


Figura 9. Arcella en lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), San Fernando. Microscopio contraste de fases (400x).

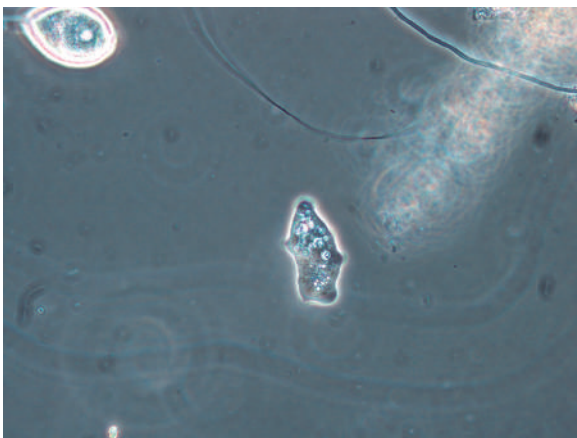


Figura 10. Ameba en lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), San Fernando. Microscopio contraste de fases (400x).

ROTÍFEROS

Son metazoos, pluricelulares con estructuras más desarrolladas que los protozoos, son móviles, metabolizan partículas sólidas y se alimentan de protozoos y bacterias. Su presencia se relaciona con una elevada edad de lodos y una buena calidad del efluente [Figura 11](#).²

En el sistema de lodos activados existen factores que limitan el crecimiento de los microorganismos presentes en los lodos activados:

- **Temperatura.** Es una variable muy importante en el sistema de lodos activados, dado que es la que favorece la velocidad de la actividad enzimática, los

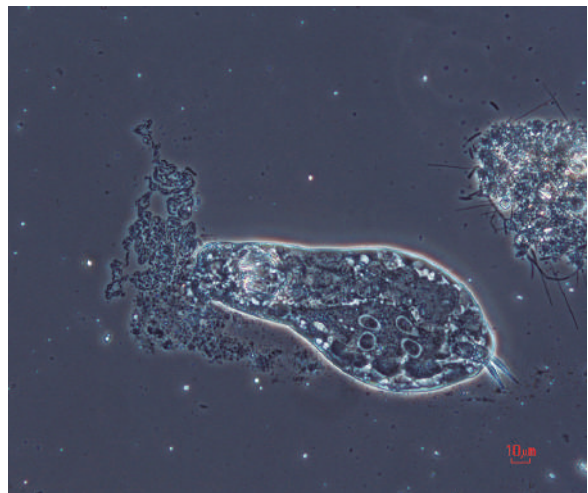


Figura 11. Rotífero en lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), San Fernando. Microscopio contraste de fases (400x).

microorganismos más comunes en este sistema son los mesófilos que toleran temperaturas entre 20°C y 40°C, algunos estudios han demostrado que la presencia de estos microorganismos aumentan la remoción de DQO, por lo tanto el rango de temperatura ideal en los procesos de lodos activados es de 20°C a 35°C.⁴

- **Oxígeno disuelto.** Es un factor que determina si la degradación de materia orgánica se lleva a cabo por la presencia de microorganismos aerobios o anaerobios. Concentraciones de oxígeno disuelto menores de 2 mg/L están relacionados con el crecimiento excesivo de bacterias filamentosas y flóculos abiertos por lo que se presenta una baja sedimentabilidad.⁴
- **pH.** El pH interno en la mayoría de los microorganismos está en el rango de 6,0 a 7,0, por lo que es en este rango que se debe trabajar el sistema de lodos activados.⁴

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Oladier Hoyos Bastidas, Microbiólogo Industrial y Ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de San Fernando, Empresas Públicas de Medellín (EPM).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Metcalf & Eddy.** Ingeniería de las aguas residuales (Vol.1), Madrid: McGraw-Hill. 1995.
2. **Vilaseca Vallè M, Gutiérrez MC.** Boletín INTEXTER 119. Universidad Politécnica de Catalunya. 2001.
3. **Pacheco V, Jáuregui B, Pavón T, Mejía G.** Control del crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de aguas residuales industriales Rev. Int. Contam. Ambient. 2003; 19(1) p.47-53.
4. **Duncan M, Horan N.** Handbook of Water and Wastewater Microbiology Elsevier publishers. 2003; p. 525-30.
5. **Ramalho RS.** 1996. Tratamiento de aguas residuales. Ed. Reverté, México, p.705.
6. **Chudoba C, Farkac JS, Grau P.** Control of activated sludge filamentous bulking - experimental verification of a kinetic selection theory. Water Research. 1985; vol. 19, p.191.
7. **Bitton G.** Wastewater Microbiology, Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. 2005.
8. **Rodríguez E.** Biotecnología como herramienta de la gestión EDAR. Grupo de Sevilla. (GBS). 2012.
9. **Eikelboom DH, Grovenstein J.** Control of bulking in a full scale plant by addition of talc (PE 8418). Water Sci. Technol. 1998; 37, 297-301.
10. **Jenkins D.** Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separations Problems, Third Edit. Published August 27. 2003.
11. **Eikelboom DH.** Process Control of Activated Sludge Plants by Microscopic Investigation, IWA Publishing. 2000.
12. **Hausmann K, Hulsmann N, Radek R.** Protistology. 3ª Edition. Berlin, Stuttgart. 2003.
13. **Juárez T, Villagra A, López S, Bocanera MI, Navarro A.** Consideraciones sobre la taxocenosis de ciliados en un proceso de tratamiento de un efluente citrícola (Tucumán-Argentina). Ecología en Bolivia. 2002; 37(1): 59-69.
14. **Madoni P.** Applicazione dell indice biotico del fango (SBI) nel processo di depurazione a fanghi attivi. Parma, Italia: Università degli studi di Parma. 2004. p.1-68.
15. **Salvadó H.** La microfauna en el tratamiento biológico de aguas residuales mediante fangos activos. Curso Microbiología de los fangos activados. Universidad de Barcelona. Formación continuada Les Heures. 2000.
16. **Patterson DJ.** Free-living freshwater protozoa. A colour Guide. London: Manson Publishing Ltd. 1998; 1.223 p. ISBN 1-874545-40-5.
17. **Aonofriesl F, Petrosanu M.** Activated Sludge Bulking Episodes and Dominant Filamentous Bacteria at Waste Water Treatment Plant Constanța Sud (Romania). Proc. Rom. Acad., Series B, 2007; p. 83-7.
18. **Zornosa A, Alonso J, Serrano S, Fajardo V, Zorrilla F, Bernácer I, et al.** Estudio integrado del proceso de fangos activos. Análisis descriptivo de factores fisicoquímicos y biológicos implicados en su dinámica. Documentación presentada en VII jornadas de Transferencia de Tecnología sobre Microbiología del fango activo. Sevilla, España. 2010; p. 1-25.