



Universidad de Concepción

TECNOLOGIAS PARA LA GESTION DEL AGUA

AGUA

**TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO DE AGUA MEDIANTE
SISTEMAS DE LODOS ACTIVADOS. OBSERVACION
MICROSCOPICA DE ORGANISMOS INDICADORES**

Autores y editores:

Soledad Chamorro y Gladys Vidal

Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA-UDEC)

Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción

Sello Editorial Universidad de Concepción

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra

© UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

Registro de Propiedad Intelectual N°: 256.286 año 2015

I.S.B.N: 978-956-227-390-9

1ª edición, noviembre 2015

Concepción, Chile

**TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO
DE AGUA MEDIANTE SISTEMAS DE
Lodos Activados.
OBSERVACION MICROSCOPICA DE
ORGANISMOS INDICADORES**

Soledad Chamorro y Gladys Vidal
Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA-UDEC)
Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción

Sello Editorial Universidad de Concepción

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra
© UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
Registro de Propiedad Intelectual N°: 256.286 año 2015
I.S.B.N: 978-956-227-390-9
1ª edición, noviembre 2015
Concepción, Chile

CONTENIDOS

PRESENTACION	6
PREFACIO DE LAS EDITORAS	8
AGRADECIMIENTOS	9
CAPITULO 1	
Sistema de Lodo Activado	11
CAPITULO 2	
Observación Microscópica	19
Calidad del Lodo Activo	21
Índice Volumétrico del Lodo (IVL)	23
Microscopía del Flóculo	25
CAPITULO 3	
Diversidad Biótica en Lodos Activados	
Claves Identificativas	29
CAPITULO 4	
Guía para el Reconocimiento de la Microfauna	35
Pequeños Flagelados	35
Grandes Flagelados	36
Ciliados Bacteriófagos Nadadores	38
Formas Sésiles	42
Ciliados Carnívoros	45
ANEXO	
ANEXO: Identificación y Manejo de Microscopio	56



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama esquemático del proceso de lodo activo	12
Figura 2. Muestra de lodo activo	16
Figura 3. Flóculo	20
Figura 4. Colonización bacteriana y formación de flóculo, a) 5µm, b) 50 µm	21
Figura 5. Aspectos fundamentales en la integración de la estabilidad del lodo activo	22
Figura 6. Turbidez del clarificado	23
Figura 7. Determinación de IVL	24
Figura 8. Formas del flóculo. a) compacto, b) abierto.	25
Figura 9. Tamaño del flóculo: a) <150 micras b) 150-500 micras c) > 500 micras	26
Figura 10. Estructura del flóculo	26
Figura 11. Diversidad de organismos en lodos activos	30
Figura 12. Red trófica en lodos activos. Las flechas indican el flujo de materia y energía	31
Figura 13. a) <i>Bodo</i> sp b), <i>Cercobodo</i> sp.	36
Figura 14. a) <i>Euglena</i> sp, b) <i>Peranema</i> sp, c) <i>Amebas</i> , d) <i>Euglypha</i> sp, e) <i>Arcella</i> sp, f) <i>Centropyxis</i> sp.	38
Figura 15. a) <i>Cinetochilum margaritaceum</i> , b) <i>Paramecium caudatum</i> , c) <i>Colpidium</i> sp, d) <i>Tetrahymena</i> sp, e) <i>Glaucoma</i> sp, f) <i>Sathrophilus</i> sp, g) <i>Uronema</i> sp, h) <i>Pseudocohnilembus</i> sp, i) <i>Cyclidium</i> sp, j) <i>Spirostomum</i> sp, k) <i>Acineta uncinata</i> , l) <i>Drepanomonas revoluta</i> , m) <i>Chilodonella</i> sp, n) <i>Trithigmostoma</i> sp, ñ) <i>Trochilia</i> sp, o) <i>Aspidisca cicada</i> , p) <i>Aspidisca lynceus</i> , q) <i>Euplotes</i> sp, r) <i>Stylonychia</i> sp.	42-43
Figura 16. a) <i>Vaginicola</i> sp, b) <i>Vorticella convallaria</i> , c) <i>Vorticella microstoma</i> , d) <i>Vorticella aquadulcis</i> , e) <i>Carchesium</i> sp, f) <i>Zoothamnium</i> sp, g) <i>Opercularia</i> sp, h) <i>Epistylis</i> sp.	46
Figura 17. a) <i>Plagiocampa</i> sp, b) <i>Prorodon</i> sp, c) <i>Coleps hirtus</i> , d) <i>Spathidium</i> sp, e) <i>lito notus</i> sp, f) <i>Amphileptus</i> sp.	47
Figura 18. a) <i>Acineta</i> sp, b) <i>Podophrya</i> sp, c) <i>Tökophrya</i> sp.	48
Figura 19. a) Nematodo, b) Rotífero, c) Gastrotricha, d) Tardigrado	49

INDICE DE TABLA

Tabla 1. Valores típicos de parámetros operacionales para sistemas de lodos activados	15
Tabla 2. Lista de los protozoos ciliados se observa comúnmente en lodos activados y su papel trófico. (Extraído de Madoni 2004)	32

PRESENTACION



Alexander Chechilnitzky
Presidente AIDIS-Chile

AIDIS-Chile es el Capítulo Chileno de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS, que agrupa a profesionales y entidades del mundo público y privado que desarrollan su actividad en temas relacionados con el suministro de agua potable, la recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales, el manejo de residuos sólidos y la protección del ambiente, desde su creación, el año 1948.

Nuestro país tiene desde hace ya largo tiempo una excelente cobertura en el suministro de agua potable urbano intradomiciliario, que además se entrega en muy buenas condiciones de calidad, oportunidad y presión, con todos los beneficios que esto representa para la población en su calidad de vida. Hoy llega al 99,9%.

A partir de comienzos de los 2000, el tratamiento de las aguas servidas, también denominadas residuales,

ha aumentado sustancialmente en Chile, alcanzando un nivel de cobertura cercano al 99,93% respecto a las aguas servidas recolectadas de la población urbana nacional, lo cual ha posibilitado la descontaminación paulatina de los cursos de aguas continentales y de nuestro litoral.

Ambos hechos ponen a nuestro país en un lugar destacado a nivel mundial, y en el tema de tratamiento de las aguas servidas urbanas, ocupa un lugar muy destacado entre los países de la OECD. Mantener y optimizar estas cifras es una tarea de gran relevancia, en la que no se puede cejar.

La tecnología implementada mayoritariamente en las zonas urbanas para remover materia orgánica ha sido la de sistemas de lodos activados, que opera con bacterias libres en condiciones aeróbicas, lo que hace que el control de estos procesos sea muy importante para que la calidad final y la disposición de las aguas servidas tratadas a los cuerpos receptores, se efectúe cumpliendo con la normativa vigente.

En este contexto, libros como el que ahora presentamos constituyen sin duda un gran aporte que nos debe facilitar y ser un estímulo para mantener el cumplimiento de las exigencias de las más estrictas normas de descarga, y a nuestro país en una clara posición de liderazgo.

El libro "Tecnologías de tratamiento mediante lodos activados. Observación microscópica de organismos



indicadores" tiene como objetivo entregar lineamientos básicos para la identificación de microorganismos que están presentes en la operación de un sistema de lodos activados, con la finalidad de lograr que la operación de los sistemas sea estable y se obtenga efluentes tratados de calidad. La información entregada es organizada en los cuatro capítulos: 1) sistemas de lodo activados, 2) observación microscópica, 3) diversidad biótica en fangos activados: claves identificativas y 4) guía para el reconocimiento de la microfauna orgánica.

AIDIS-Chile que al igual que AIDIS tiene dentro de sus objetivos principales el de entregar información actualizada, oportuna y relevante a sus asociados, en los temas sanitarios y ambientales y potenciar una red interamericana de apoyo y consulta entre los miembros de distinto Capítulos, se complace en presentar el libro antes indicado, teniendo la certeza que los temas entregados contribuirán al conocimiento, la capacitación y luego la posterior operación de esta tecnología para cumplir con los requerimientos que ella tendrá no solo en del sector sanitario, sino también en el forestal y pecuario, entre otros.

PRÉFACIO DE LAS EDITORAS



Soledad Chamorro
Editora



Gladys Vidal
Editora

La Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015, lanzada recientemente, indica que el agua dulce y los recursos hídricos en general se hacen cada vez más escasos como consecuencia del crecimiento de la población, del desarrollo económico-social y los efectos del Cambio Climático. Una proporción importante de la humanidad, especialmente en los países en desarrollo, no tiene acceso a este recurso y lo que está disponible muchas veces está contaminado por usos industriales, mineros y por las actividades humanas en general. Desde este punto de vista la operación y control de tecnologías de tratamiento son muy importantes para disminuir la contaminación en los ecosistemas y promover su sustentabilidad.

El saneamiento de las aguas servidas de Chile, así como la industria forestal y pecuaria entre otras han elegido como tecnología para eliminar materia orgánica y/o nitrógeno a los sistemas de tratamiento de lodos activados. La estabilidad de estos sistemas y la

calidad del efluente final dependen en gran medida de la composición de la biomasa. Los problemas operacionales tales como bulking y formación de espuma ocurren cuando la población microbiana está operando en forma inadecuada. Desde este punto de vista, el seguimiento microbiológico del lodo cobra un elevado interés para mantener y controlar la operación de las plantas de tratamiento de lodos activados.

En este contexto este libro “Tecnologías de tratamiento mediante lodos activados. Observación microscópica de organismos indicadores” tiene como objetivos entregar lineamientos básicos para la identificación de microorganismos que están presentes en la operación de un sistema de lodos activados, con la finalidad de obtener efluentes tratados de calidad y una operación estable. La información entregada ha sido ordenada en los cuatro siguientes capítulos: 1) sistemas de lodo activados, 2) observación microscópica, 3) diversidad biótica en fangos activados: daves identificativas y 4) guía para el reconocimiento de la microfauna orgánica.

La publicación fue diseñada pensando en los desafíos que tienen y tendrán los sistemas de tratamiento ya establecidos y que están en operación y falencias del conocimiento básico de las aguas servidas en el sector rural y para que exista un texto básico de referencia en el tema. Sin embargo, puede ser también consultada por técnicos, gestores públicos y de empresas privadas, relacionados con el tema de las aguas servidas y su tratamiento.



AGRADECIMIENTOS

La edición del libro “Tecnologías de tratamiento mediante lodos activados. Observación microscópica de organismos indicadores” es el resultado de un proceso de aprendizaje del Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA-UDEC) de la Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-Chile, durante el cual nos hemos beneficiado de los aportes de instituciones y actividades, de formación, investigación, seminarios y cursos de postgrados que se han realizado en esta Institución. Muy especialmente, los editores desean agradecer a los estudiantes de pre y postgrado que están y han realizado sus trabajos de tesis de pregrado, doctorado y trabajos de postdoctorado relativos a estudios del comportamiento de sistemas de lodos activados, operado bajo diferentes condiciones y con distintos tipos de efluentes, que han favorecido la generación de conocimiento específico para su operación y control

Muy particularmente, las editoras agradecen a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT) por el Apoyo a la Realización de Tesis Doctoral de las Dras. Claudia Xavier, Soledad Chamorro y Mayra Jarpa. Así como el financiamiento de diferentes Proyectos FONDECYT regulares y el proyecto de postdoctorado otorgado a la Dra. Soledad Chamorro. Por otra parte, el “Fondo de Innovación Tecnológica de la Región del Biobío”, de CORFO-Innova Bio Bio que en diferentes convocatorias han apoyado a estudiantes de GIBA-UDEC a la realiza-

ción de Tesis de Educación Superior de Pre y Post Grado, dentro de las que se puede indicar la tesis de pregrado de la Ingeniera Ambiental Gabriela Morales y Silvana Pesante, entre otras. La modalidad de tesis en la Industria, también ha permitido acercarse a la realidad local y poner a prueba estas técnicas en la industria de celulosa y en la empresa de aguas servidas. Muy especialmente a todos los estudiantes que realizaron sus trabajos con ilusión y dedicación, interiorizándonos en el comportamiento de los sistemas de lodos activados, su operación y control mediante la observación microscópica de organismos indicadores entre otras formas de control.

Muy especialmente, queremos agradecer al Licenciado en Ciencias Químicas Andrés Zornoza Zornoza, Responsable del Laboratorio de Bioindicación y Control de Proceso en EDAR y responsable del Aula Bioindicación Gonzalo Cuesta del Grupo de Química y Microbiología del Agua (Instituto Universitario de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universitat Politècnica de València-España), quien apoyo con información e imágenes propias a enriquecer el material entregado en este libro.

Al Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería – CRHIAM - Proyecto CONICYT/FONDAP/15130015 de la Comisión de Ciencias y Tecnología de Chile (CONICYT), por su apoyo en la edición de este libro.



CAPITULO 1

SISTEMA DE LODO ACTIVADO

El agua es uno de los recursos naturales más fundamentales, y junto con el aire, la tierra y la energía constituyen los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo del planeta (Reyes y Chamorro, 2014). Actualmente los vertidos líquidos, ya sea municipales o industriales, son la principal fuente de contaminación de los ecosistemas acuáticos (Vidal *et al.*, 2004; Chamorro *et al.*, 2005; Monsalvez *et al.*, 2009). El tratamiento de estas aguas residuales es de gran importancia ya que ofrece una alternativa de solución a éstos. Para que se logre, se recurre a muchos métodos de los cuales los más utilizados son los que involucran microorganismos debido a que son económicos, eficientes y no generan subproductos contaminantes (Ramalho, 1996; Chamorro *et al.*, 2004 Morales *et al.*, 2014).

El proceso de lodos activos representa la más amplia tecnología para el tratamiento de las aguas residuales a nivel mundial (Belmonte *et al.*, 2008; Xavier *et al.*, 2009; Vidal *et al.*, 2009). La depuración de estas aguas a través de este proceso consiste en generar condiciones favorables para el cultivo y desarrollo de una colonia bacteriana dispersa en forma de flóculos denominados lodos activos (Jenkins *et al.*, 1993; Xavier *et al.*, 2009). En este proceso los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que ésta les sirve de sustrato alimenticio (Morales *et al.*, 2014).

La comprensión del funcionamiento de este sistema es esencial, ya que asegura una depuración eficiente de los vertidos en cuanto a materia orgánica y advierte la detección temprana de problemas operativos (Diez *et al.*, 2002; Chamorro *et al.*, 2006).

En general, el sistema de lodo activado se compone de dos partes, un tanque de aireación y uno de sedimentación, como se observa en la Figura 1. El tanque de aireación contiene un licor de mezcla, formado los por microorganismos y el contacto de la materia orgánica e inorgánica (Xavier *et al.*, 2005). El ambiente aerobio se logra mediante la utilización de aireadores mecánicos, que sirven además para mantener el licor completamente mezclado. Los microorganismos estabilizan la materia orgánica mediante reacciones de oxidación biológica, después de lo cual,

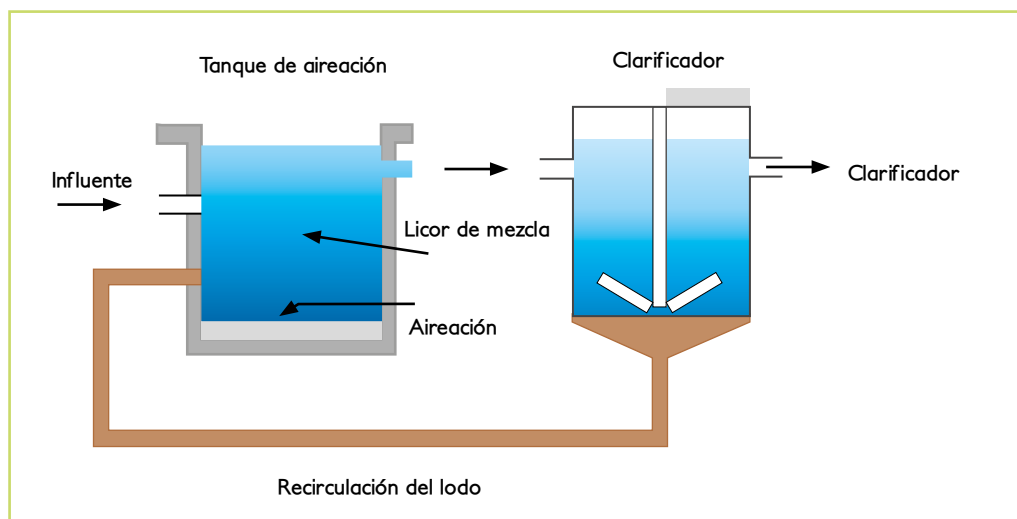


Figura 1. Diagrama esquemático del proceso de lodo activo.

el licor de mezcla pasa al tanque de sedimentación donde los flóculos decantan, separándose el agua clarificada, que luego es vertida en un cauce. Parte del lodo que sedimentó es recirculado y combinado con la alimentación inicial para mantener en el reactor la concentración de células deseadas. Una fracción es purgada y corresponde al crecimiento de tejido celular (Metcalf and Eddy, 2003).

El proceso de lodos activados implica un sistema biológico muy complejo, el que puede verse modificado a raíz de cambios en las condiciones ambientales. Por tanto, es necesario considerar variables del sistema y alternativas de control que estén disponibles para operar adecuadamente (Xavier *et al.*, 2006). Así, se considera que parámetros como el pH, el oxígeno disuelto y la temperatura, deben estar dentro de rangos determinados para la adecuada proliferación y desarrollo de los microorganismos (Pozo *et al.*, 2011). Adicionalmente, existen



condiciones de funcionamiento que inciden en la eficiencia del proceso, tales como el tiempo de residencia y las características del agua residual, incluyendo relación entre materia orgánica y nutrientes, la toxicidad, la cantidad de microorganismos presentes en el tanque de aireación, la tasa de recirculación, entre otros (Belmonte *et al.*, 2008; Chamorro *et al.*, 2009). A continuación, se describen parámetros operacionales de importancia para el control del sistema de lodos activados.

pH: La concentración del ion hidrógeno (H^+) es un indicador de calidad del medio y permite la adecuada proliferación y desarrollo de organismos. Los niveles de pH deben encontrarse entre 4,0-9,5, pues es el rango tolerado por las bacterias, existiendo un intervalo óptimo de 6,5-7,5 (Ramalho, 1996). Con valores de pH inferiores a 6,5 se produce el crecimiento de hongos filamentosos en lugar de bacterias, mientras que un pH por sobre 9 inhibe la actividad bacteriana. Fluctuaciones repentinas del pH en el reactor tienen como consecuencia la muerte de microorganismos, lo que afectará de manera indirecta la eficiencia de eliminación de materia orgánica del proceso (Pozo *et al.*, 2012).

Temperatura: La importancia de la temperatura se debe a su influencia, tanto en el desarrollo de los microorganismos como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción. En particular, la solubilidad del oxígeno disminuye a medida que la temperatura aumenta. Además, un cambio brusco de temperatura puede generar la mortalidad de gran parte de los microorganismos (Metcalf and Eddy, 2003; Ramalho, 1996).

Oxígeno Disuelto: Debido a que el sistema de lodos activados es un proceso aeróbico, una concentración adecuada de Oxígeno Disuelto (OD) en el reactor es vital para permitir la respiración de los microorganismos. Este parámetro debe hallarse en concentraciones superiores a $2 \text{ mgO}_2/\text{L}$, siendo este valor el mínimo necesario para el correcto desarrollo de la biomasa (Chamorro *et al.*, 2009).

Tiempo de Retención Hidráulico (TRH): Se denomina al tiempo de residencia del agua residual en el sistema, el cual debe ser suficiente para permitir un contacto adecuado entre la materia orgánica disuelta y los microorganismos. Los sistemas convencionales presentan TRH entre 3-10 h, mientras que los de aireación extendida de 12-36 h (Metcalf and Eddy, 2003).

La Velocidad de Carga Orgánica (VCO):

Se refiere a la cantidad de materia orgánica que ingresa al sistema (relativo a la de Demanda Biológica de Oxígeno; DBO_5), representándose como la alimentación de DBO_5 por unidad de volumen de reactor, expresada como $(kg\ DBO_5/m^3 \cdot d)$. La carga orgánica varía con la operación de la planta, tanto en flujo como en concentración de material orgánico. Típicamente, los valores de diseño son entre $0,3-1,6\ kgDBO_5/m^3 \cdot d$ (Ramalho, 1996).

Concentraciones de los Sólidos Volátiles en Suspensión (SSV):

Es la concentración de la biomasa en el reactor: También denominados SSVLM (Sólidos Suspending Volátiles del Licor de Mezcla), que comprenden los microorganismos vivos, muertos y restos celulares. En un reactor convencional, los SSV tienen valores de concentración entre $1500-5000\ mg/L$ (Metcalf and Eddy, 2003).

Relación Alimento Microorganismos (A/M):

Hace referencia a la cantidad de materia orgánica alimentada, expresada como DBO_5 ó DQO (Demanda Química de Oxígeno) por unidad de biomasa presente en el reactor, como $kgSSV$. Valores típicos de la relación A/M se encuentran en el rango de

$0,2 - 0,9\ kgDBO_5/kgSSV \cdot d$, siendo la relación óptima de $0,3 - 0,6\ kgDBO_5/kgSSV \cdot d$ (Ramalho, 1996). Este parámetro puede ser modificado desde la operación del sistema, ya que la concentración de microorganismos puede ser rectificada aumentando o disminuyendo la purga de lodos (Metcalf and Eddy, 2003).

Relación Materia Orgánica y Nutrientes:

Se considera el nitrógeno y el fósforo por ser nutrientes esenciales en el desarrollo de los microorganismos, en especial el nitrógeno, ya que es la base para la síntesis de proteínas (Pozo *et al.*, 2012). La deficiencia de nutrientes puede afectar el crecimiento microbiano y modificar los tipos de microorganismos presentes, alterando la velocidad de crecimiento y la cantidad y actividad de los mismos. Es decir, una dosificación inadecuada limitaría el consumo de materia orgánica por las bacterias (Pozo *et al.*, 2011). La relación óptima entre materia orgánica y nutrientes, expresada en unidad de masa como $DBO_5:N:P$, corresponde a $100:5:1$ en los sistemas de lodos activados convencionales (Diez *et al.*, 2002).

Edad del Lodo: Corresponde al tiempo promedio en que los microorganismos permanecen en el proceso de tratamiento. La edad del lodo puede variar de $4-15\ d$, en sistemas convencionales. Cabe destacar que un lodo anti-



guo estará caracterizado por un crecimiento disperso y tendrá como resultado una pobre sedimentación (Metcalf and Eddy, 2003).

Eficiencia de Eliminación: Un reactor que mantenga un control permanente de los parámetros antes descritos llevará a cabo un proceso eficiente, lo cual será evidenciado en la concentración de materia orgánica en el efluente medida como DBO_5 ó DQO. Un sistema de lodos activados, funcionando de manera óptima, alcanza eficiencias de eliminación de un 60% para DQO y de un 95% para DBO_5 (Xavier *et al.*, 2009).

La Tabla 2 resume parámetros de operación relevantes en los procesos de lodos activados de las dos configuraciones más empleadas y

sus respectivas eficiencias de eliminación alcanzadas.

El proceso de lodos activados tiene grandes ventajas pero también algunos inconvenientes. A favor de este medio de estabilización del material orgánico podemos decir que es: versátil, altamente eficiente, es el más conocido y estudiado desde el punto de vista de ingeniería, y es el más ampliamente utilizado como medio de depuración de aguas residuales (Xavier *et al.*, 2011). Alta Eficiencia de remoción de carga orgánica sustancialmente más alta que la que se alcanza en otros procesos como los del tipo convencional (Tabla 1). Minimización de olores y ausencia de insectos. Además se puede incorporar la desnitrificación al proceso. En la generación de

Tabla 1. Valores típicos de parámetros operacionales para sistemas de lodos activados.

Tecnología de lodos activados	TRH (h)	VCO ($\text{kgDBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$)	A/M ($\text{kgDBO}_5/\text{kgSSVLM} \cdot \text{d}$)	Edad del lodo (d)	SSVLM (g/L)	Eliminación de DBO_5 (%)
Convencional	3-8	0,3-0,7	0,2-0,9	4-15	1,5-50	85-95
Aireación extendida	12-36	0,1-0,3	0,05-0,2	20-60	2,5-6,0	93-98

TRH: Tiempo de Retención Hidráulico, VCO: Velocidad de Carga Orgánica, A/M: Relación Alimento Microorganismos, SSVLM: Sólidos Suspendedos Volátiles del Licor de Mezcla, DBO_5 : Demanda Biológica de Oxígeno. Fuente: Metcalf and Eddy (2003), Ramalho (1996), (Xavier *et al.*, 2009).

lodos secundarios “estabilizados” al igual que los sistemas convencionales pueden ser aprovechados como fertilizantes, mejoradores de suelo y obtención de biogás, entre otros.

Entre las desventajas del proceso están su alto costo de inversión y de operación en plantas de este tipo. Otra desventaja es que el medio microbiano que se encuentra en el digestor de lodos está en contacto directo con el agua que se trata, por lo que la presencia momentánea de condiciones desfavorables al medio como pueden ser variaciones en el valor del pH, la presencia de tóxicos en el agua, etc., causan daños y desajustes en el medio de cultivo y es posible que se pierdan las condiciones óptimas para lograr un máximo de eficiencia (Morales *et al.*, 2014).

La observación microscópica rutinaria de los lodos es un buen indicador para conocer el estado y el funcionamiento de estos sistemas de tratamientos (Morales *et al.*, 2014). El examen microbiológico de este lodo revela que está formado por una población de microorganismos que cambian continuamente en función de las variaciones de la composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales (Pozo, 2011). Los microorganismos presentes son bacterias, hongos, microalgas, protozoos y rotíferos. De éstos, las bacterias

son las más importantes, encontrándose en todos los tipos de procesos de tratamiento biológico (Chamorro *et al.*, 2006). [GIBA](#)

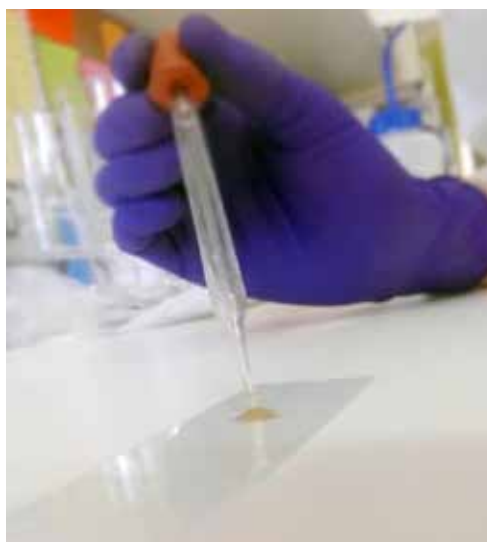


Figura 2. Muestra de lodo activo.

TECNOLOGIAS
PARA LA GESTIÓN DEL AGUA





CAPITULO 2

OBSERVACION MICROSCOPICA

La observación microscópica de los lodos es un buen indicador para conocer el estado y el funcionamiento de las plantas de tratamiento por lodos activados (Madoni, 1993). Los microorganismos de las aguas y los suelos son los mismos que actúan en los tratamientos biológicos, constituyendo lo que se denomina lodos biológicos o fangos activados (Jenkins *et al.*, 1993). Los microorganismos que intervienen en la depuración son aquellos que ejercen una cierta acción sobre los contaminantes del agua residual a tratar, dependiendo de varios factores que favorecerán unas u otras especies (Pacheco *et al.*, 2010).

La evaluación de la eficiencia y el estado en los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales utilizando protistas como indicadores, ha sido un instrumento explorado por muchos autores (Madoni, 1994). Las condiciones ambientales en los reactores biológicos determinan las especies capaces de sobrevivir en ellos. Por esta razón, los protistas y secundariamente las bacterias filamentosas dominantes son buenos bioindicadores tanto de la calidad del efluente como del estado biológico de los sistemas de tratamientos (Zornoza *et al.*, 2010).

El sistema de lodos activados facilita la agregación de los microorganismos que están incrustados dentro o en la superficie de una estructura compleja y heterogénea llamado flóculo. Ellos permanecen suspendidos libremente en el licor de mezcla interactuando con los protistas, permitiendo el esclarecimiento del efluente (Chamorro *et al.*, 2006).

La evaluación de la eficiencia en los sistemas tratamiento de aguas residuales mediante el análisis físico-químico y el estado de los microorganismos como indicadores, nos aporta una visión inte-

grada sobre el funcionamiento de los sistemas biológicos (Chamorro *et al.*, 2004). Un estado óptimo supone el desarrollo de una población capaz de degradar y flocular la materia orgánica presente en estas aguas. En este sentido, el conocimiento de la abundancia, diversidad y estructura de la comunidad de microorganismos es fundamental para evaluar el grado de depuración y la calidad del efluente, permitiéndonos prever la aparición de problemas tales como el “bulking” (Jenkins *et al.*, 1993; Zornoza *et al.*, 2011) o en el caso de alteraciones ya establecidas, controlarlas desde su origen, contribuyendo a la toma de decisiones junto a los parámetros operacionales del tratamiento (Zornoza *et al.*, 2010).

El lodo activado o licor mezcla podríamos considerarlo como un cultivo en suspensión en el que la unidad ecológica y estructural es el flóculo (Figura 3), alrededor del cual se establecen comunidades de organismos interrelacionados entre sí y característicos de ambientes saprobios (organismos heterótrofos). Esta microbiocenosis, muy dinámica, la encontramos variando continuamente en relación a los factores ambientales.

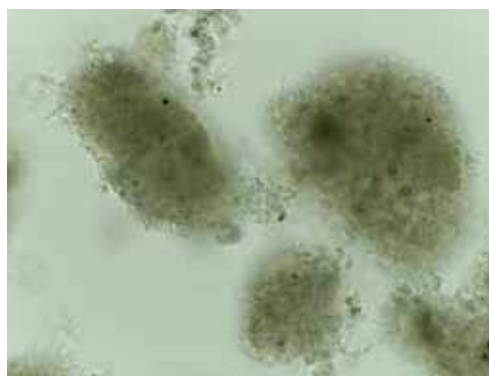


Figura 3. Flóculo. Fotografía: Grupo Ingeniería y Biotecnología Ambiental GIBA.

Las comunidades biológicas dentro de los reactores de plantas de lodos activados están compuestas principalmente por bacterias que alcanzan 90-95% de la biomasa. Las bacterias se encuentran libres o formando parte de los flóculos (aislados, agrupados o en una forma filamentosa) (Arregui *et al.*, 2010) (Figura 4). Estas poblaciones son responsables de la biodegradación de la materia orgánica. Son los colonizadores principales del reactor durante los primeros pasos del proceso y directamente implicadas en la formación de flóculos.

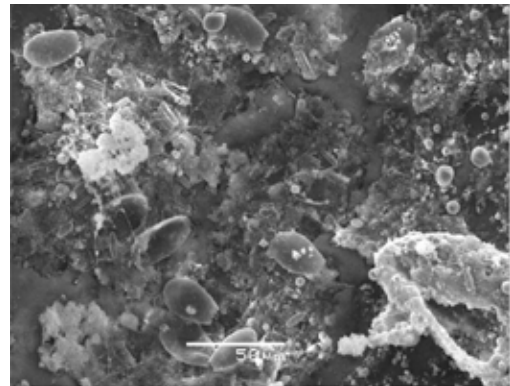
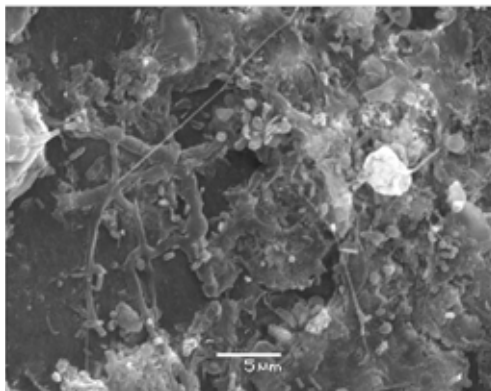


Figura 4. Colonización bacteriana y formación de flóculo. a) 5 μm ; b) 50 μm . Fotografías: Grupo Ingeniería y Biotecnología Ambiental GIBA.

Los protistas y otros microorganismos representan el 5-10% de la biomasa total biológica. Los protistas están implicados en la depredación de las poblaciones bacterianas y en el proceso de floculación permitiendo así la obtención de un efluente. En relación a los organismos ciliados, se observa que estos se encuentran en una proporción de 1000 células por mL de lodo activado, lo que constituye aproximadamente el 9% de los sólidos suspendidos (Madoni, 2004).

CALIDAD DEL LODO ACTIVO

El estudio de los componentes del lodo activo es un campo extremadamente amplio que está en continua investigación. Existen tres aspectos fundamentales que se han de contemplar desde una visión integrada, ya que se refuerzan mutuamente y ayudan a observar la estabilidad de los lodos activos. Para ello es necesario el análisis macroscópico referente al Índice Volumétrico del Lodo (IVL), análisis de la composición biótica y análisis microscópico referente al flóculo (Figura 5).

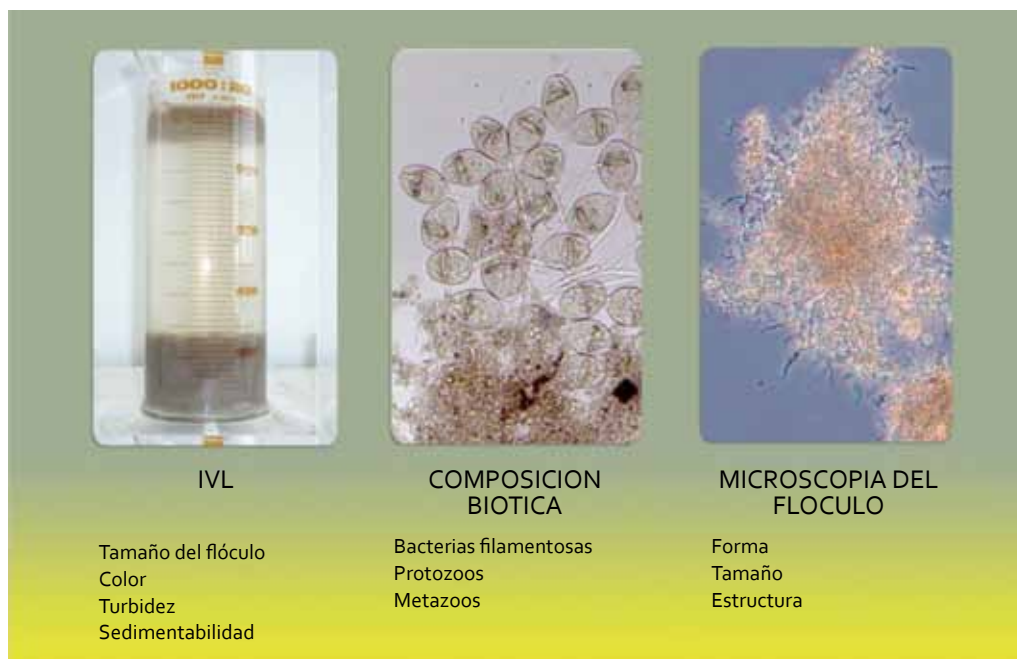


Figura 5. Aspectos fundamentales en la integración de la estabilidad del lodo activo.

Estos tres aspectos fundamentales se han de contemplar desde una visión integrada y nunca individualmente, ya que se refuerzan mutuamente y ayudan a comprender mejor la situación. Todo esto, junto con el análisis visual de planta y el cálculo de los parámetros de proceso, ofrece a los responsables del proceso el estado en el que se encuentra en todo momento el sistema de tratamiento.



ÍNDICE VOLUMÉTRICO DEL LODO (IVL)

Los aspectos macroscópicos del IVL, y análisis microscópico del flóculo son los exámenes más relevantes desde una perspectiva descriptiva. El análisis de la composición biótica y su capacidad bioindicadora ofrece mayor comprensión sobre la resolución de episodios. Para la determinación de IVL, se deben tomar muestras “in situ” de lodo activado, agitar con suavidad la muestra para homogeneizarla, (1000 mL) y depositarla en una probeta o cono Imhof, tras una espera de 30 minutos, evaluar el contenido decantado.

A nivel macroscópico (sobre IVL) se definen:

Turbidez del clarificado

- Alta: visibilidad muy baja a través de la probeta.
- Media visibilidad media a través de la probeta.
- Baja: visibilidad clara a través de la probeta.

Flóculos en suspensión en el clarificado

- Alta: abundancia de microflóculos.
- Media: presencia de microflóculos.
- Baja: prácticamente ausencia de microflóculos.

Sedimentabilidad del fango

- Alta: la mayor parte del fango decanta en los 10 primeros minutos del ensayo y el fango está muy compactado.
- Media: la mayor parte del fango decanta entre 10-20 minutos y se observa un ligero esponjamiento.
- Baja: la mayor parte del fango decanta después de 20 minutos y se observa un claro esponjamiento.

A nivel orientativo y con relación a la turbidez, se muestran algunas fotografías que permiten ajustar los tres rangos de este parámetro (Figura 6).



Figura 6. Turbidez del clarificado. Fotografía: Grupo de Química y Microbiología del Agua. Instituto Universitario de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA).

Como referencia, se toma un objeto y se coloca en parte trasera de la probeta. Si la forma del objeto se observa claramente, la muestra se define como poco turbia (turbidez baja). En este caso incluso se pueden apreciar los dibujos existentes sobre el objeto. Si los contornos se aprecian pero no es posible observar el dibujo de la superficie, se define turbidez media. Por último, si no es imposible observar ningún dibujo y los contornos del objeto quedan difuminados e incluso no se ven, se habla de turbidez alta.

El conjunto de características microscópicas recogidas durante la observación microscópica se refiere al examen del estado morfológico y estructural del flóculo de lodo activo (forma, tamaño, estructura, textura, cobertura, etc.) y al examen del componente biótico del “ecosistema lodo activo”, representado por las poblaciones de bacterias filamentosas y de protozoos (principalmente ciliados).

La evaluación de estas características proporciona información sobre las propiedades de decantación y compactación del lodo activo durante la fase de clarificación del licor mezcla, así como el nivel y estado de colonización de la microfauna, aludiendo indirectamente al grado de actividad biológica del proceso depurador.

Para determinar el IVL, se debe homogenizar la muestra (agitar con suavidad la muestra), con el fin de garantizar una suspensión lo más homogénea posible, pero sin que se altere la estructura macroflocular del fango activo. Tomar 1L, colocar en un cilindro graduado, decantar por 30 min. Pasado el tiempo, medir el volumen (en mL) ocupado por el material decantado (Figura 7). Expresar como mL/L.

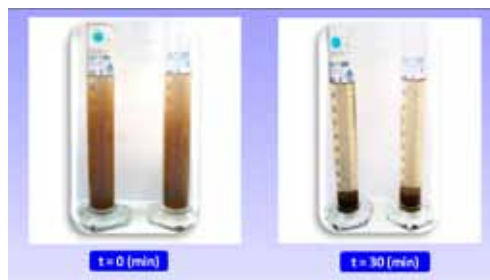


Figura 7. Determinación de IVL. Fotografías: Grupo Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA-UdeC).



Para realizar sólidos suspendidos totales, se debe homogenizar la muestra, pesar un 1 mL, llevar a 105°C por 1 hora, enfriar a temperatura ambiente en un desecador, y volver a pesar. Por diferencia calcular el peso seco. Expresarlo en mg/L de licor mezclado.

$$IVL \text{ (mL/gSS)} = \frac{\text{Volumen decantado después de 30 min (mL/L) } \cdot 1000}{\text{Concentración de sólidos totales del licor mezclado (mg/L)}}$$

MICROSCOPIA DEL FLÓCULO

A nivel microscópico se definen:

Forma del Flóculo:

característica que define la morfología externa del flóculo como regular si aparece de forma redondeada e irregular si difiere de esta configuración (Figura 8).

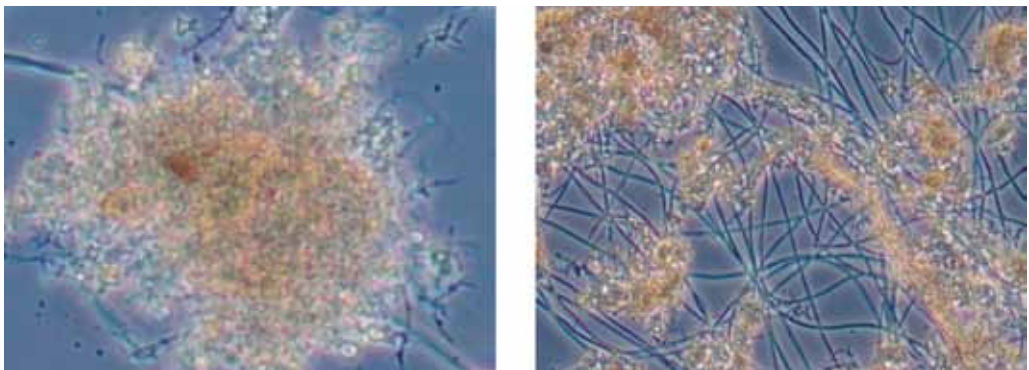


Figura 8. Formas del flóculo. a) Compacto; b) Abierto. Fotografía: Grupo de Química y Microbiología del Agua. Instituto Universitario de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA).

Tamaños floculares



Figura 9. Tamaño del flóculo: a) <150 micras; b) 150-500 micras; c) > 500 micras. Fotografías: Grupo Ingeniería y Biotecnología Ambiental GIBA.



Figura 10. Estructura del flóculo. Fotografía: Grupo de Química y Microbiología del Agua. Instituto Universitario de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA).

Estructura del flóculo:

- Compacto: no existen prácticamente huecos en la estructura interna del flóculo.
- Medio: se detectan algunos huecos.
- Abierta: existen bastantes huecos dentro del flóculo que rompen la unidad interna.



Textura del flóculo:

Característica que alude al grado de cohesión entre las partículas que forman el flóculo, estableciéndose las categorías “fuerte” y “débil” (Figura 10), en función a la sustancia o presencia de disgregación de los flóculos, respectivamente, tras punción sobre el cubreobjetos.

Cobertura:

Característica que valora si la unión de todos los flóculos presentes en el ocular de 10X cubre menos del 10% de su superficie, del 10-50% o más del 50%.

Filamentos en el flóculo:

- Menos de 5 filamentos/flóculo.
- Entre 5-20 filamentos/flóculo (incluidos ambos valores).
- Más de 20 filamentos/flóculo.

Filamentos en disolución:

Característica que cuantifica la existencia de filamentos libres entre los espacios interfloculares del licor mezcla. Si no son observables será “baja” (categoría bacteriana <2), mientras que si se observan normalmente será “alta” (categoría bacteriana >2).

Nota: la categoría bacteriana 2 se define como “abundancia de algún filamento; se ven filamentos en los espacios interfloculares, pero no en todos ellos”.

Diversidad de protozoos:

- Menos de 4 especies.
- De 4-7 especies (incluidos ambos valores).
- Más de 7 especies.

Otras observaciones:

Presencia/ausencia de crecimiento disperso, presencia/ausencia de fibras orgánicas, presencia/ausencia de partículas orgánicas, presencia/ausencia de bacterias helicoidales, presencia/ausencia de *Zoogloea* sp, etc.

La información que se deduce de las observaciones microscópicas, junto con la obtenida durante el ensayo de decantación en probeta (IVL), permite otorgar un valor final de puntuación que evaluará la calidad del lodo. **GIBA**



CAPITULO 3

DIVERSIDAD BIOTICA EN LODOS ACTIVADOS: CLAVES IDENTIFICATIVAS

En el ecosistema de lodos activos, en el que la producción de biomasa juega un papel fundamental en el proceso de flujos de energía y ciclado de nutrientes, los protozoos son organismos unicelulares, que constituyen aproximadamente el 5% del peso seco del licor mezcla (Vilaseca, 2001).

Son muy importantes en la reutilización de nutrientes, por tratarse de organismos de vida muy corta (metabolismo muy alto) (Ramalho, 1996), además reducen la concentración de bacterias y materia orgánica obteniendo un efluente más claro y de mejor calidad.

Estos grupos de organismos reaccionan, junto con la materia orgánica del medio, formando estructuras ecológicas de menor tamaño, con capacidad tanto depuradora como diferenciadora de fases. Estas estructuras ecológicas mínimas se denominan flóculos (Zornoza *et al.*, 2011). Un flóculo está compuesto por materia orgánica, bacterias filamentosas y formadoras de flóculo y constituye en sí mismo el núcleo de la depuración. El estudio del flóculo (entramado, compactación, etc.) genera información sobre su formación y sobre la población de bacterias filamentosas, lo que permite diagnosticar y prever el estado y rendimiento del proceso (Pacheco *et al.*, 2003). La concentración de bacterias filamentosas que se encuentran en el flóculo es fundamental, ya que crea el entramado sobre el que se asienta el resto de componentes floculares. Un descenso excesivo en la concentración de filamentos provoca un debilitamiento y rotura del flóculo, que al ser agitado en el reactor, se rompe y escapa con el efluente en forma de microflóculo (ver Figura 9). En el caso contrario, una concentración elevada provoca un aumento de la superficie flocular, lo que dificulta la decantación y promueve la liberación de sólidos con el efluente (Arregui *et al.*, 2010).

La diversidad biótica presente en los lodos activados está representada fundamentalmente por los grupos de bacterias, protozoos y pequeños metazoos (Figura 11).

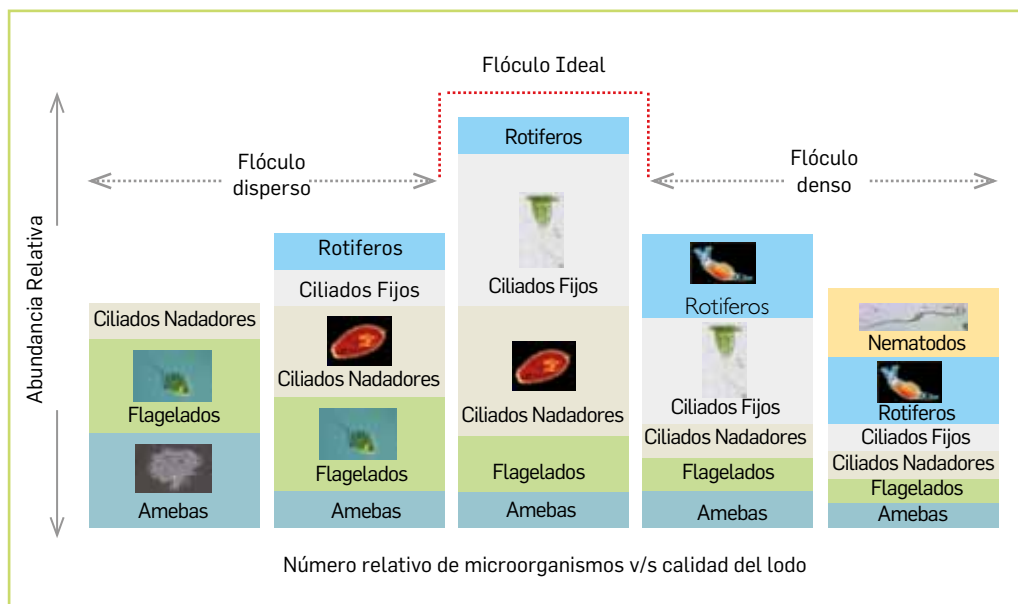



Figura 11. Diversidad de organismos en lodos activos.



En los sistemas de lodos activos cada microorganismo presenta un rol preponderante y crucial en la depuración de materia orgánica. Es así que se evidencia una verdadera red alimentaria cuyo esquema simplificado se presenta en la Figura 12. Las bacterias heterotróficas representan a los organismos descomponedores y la cantidad de ellas va en directa relación con la calidad y cantidad de materia orgánica disuelta. Para los

depredadores, sin embargo, el crecimiento depende de la disponibilidad de presas. La bacterias dispersas son entonces la comida para los flagelados heterotróficos y ciliados bacteriófagos que a su vez se convierten en presa de la organismos carnívoros. En la Tabla 2 se presentan los principales ciliados implicados en el proceso de depuración en los sistemas de tratamiento biológico. 

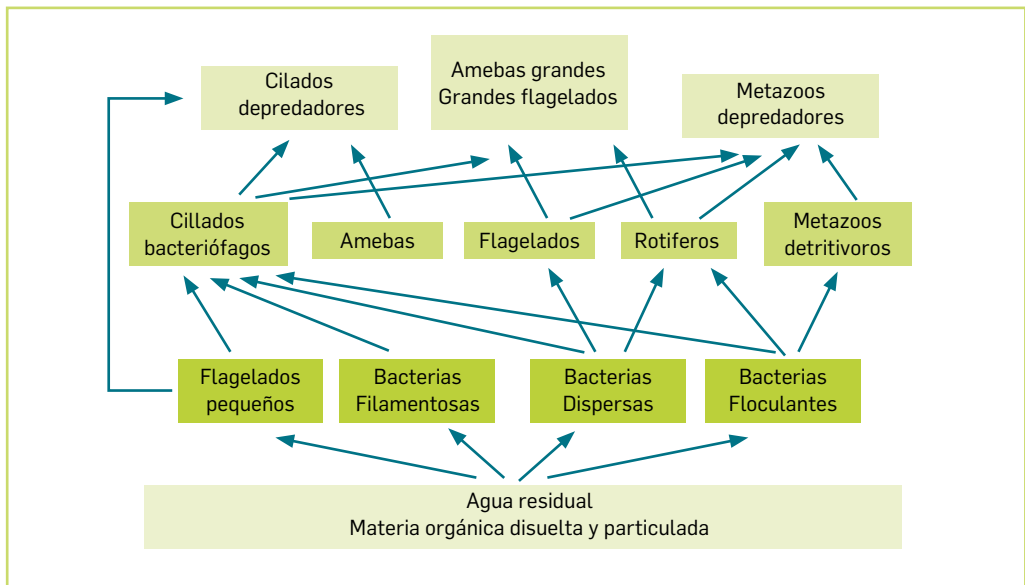


Figura 12. Red trófica en lodos activos. Las flechas indican el flujo de materia y energía. Extraída y modificada de Madoni (2004).

Tabla 2. Lista de los protozoos ciliados se observa comúnmente en lodos activados y su papel trófico (Extraído Madoni, 2004).

Carnívoros	Bacteriofagos		
	Nadadores	Móviles	Sésiles
<i>Amphileptus</i> sp	<i>Cinetochilum margaritaceum</i>	<i>Acineria uncinata</i>	<i>Carchesium</i> spp
<i>Coleps hirtus</i>	<i>Colpidium colpoda</i>	<i>Aspidisca cicada</i>	<i>Epistylis</i> spp
<i>Litonotus</i> spp	<i>Cyclidium glaucoma</i>	<i>Aspidisca lynceus</i>	<i>Opercularia coarctata</i>
<i>Plagiocampa rouxi</i>	<i>Dexiostoma campylum</i>	<i>Chilodonella uncinata</i>	<i>Opercularia microdiscus</i>
<i>Prorodon</i> sp	<i>Dexiotricha</i> sp	<i>Drepanomonas revoluta</i>	<i>Opercularia minima</i>
<i>Spathidium</i> spp	<i>Glaucoma scintillans</i>	<i>Euplotes affinis</i>	<i>Stentor</i> spp
<i>Suttori</i> spp	<i>Paramecium</i> spp	<i>Euplotes moebiusi</i>	<i>Vaginicola crystallina</i>
<i>Acineta</i> spp	<i>Pseudocohnilembus pusillus</i>	<i>Euplotes patella</i>	<i>Vorticella aquadulcis</i>
<i>Metacineta</i> sp	<i>Sathrophilus</i> sp	<i>Stylonychia</i> spp	<i>V. convallaria</i>
<i>Podophrya</i> spp	<i>Spirostomum teres</i>	<i>Trithigmostoma cucullulus</i>	<i>V. microstoma- complex</i>
<i>Tokophrya</i> spp	<i>Tetrahymena</i> sp	<i>Trochilia minuta</i>	<i>V. infusionum - complex</i>
	<i>Uronema nigricans</i>		<i>Zoothamnium</i> spp

TECNOLOGIAS
PARA LA GESTIÓN DEL AGUA





CAPITULO 4

GUIA PARA EL RECONOCIMIENTO DE LA MICROFAUNA

Flagelados:

Tienen solo un tipo de núcleo y uno o más flagelos. Se reproducen asexualmente por fisión binaria longitudinal. Entre estos hay protozoos, organismos (autótrofos) con la ayuda de pigmentos fotosintéticos (fitoflagelados) y otros heterótrofos (zooflagelados). Algunas especies son capaces de comportarse de forma autótrofa o heterótrofa dependiendo de las condiciones ambientales. En el lodo activado los pequeños flagelados heterotróficos son generalmente muy comunes y a menudo muy numerosos. Pequeñas cantidades de flagelados de gran tamaño se puede observar en aguas residuales que presentan dilución con una baja carga de lodos.

PEQUEÑOS FLAGELADOS

Bodo sp: Flagelado incoloro con tamaño aproximado de 5-15 micras. Presenta dos flagelos, uno para la natación (corto) y otro más largo (2 a 3 veces el cuerpo). En forma de huevo, aplanado, se alimenta de bacterias: a) *B. saltans* y b) *B. caudatus*. Parámetros bioindicadores asociados: Aparece en las fases iniciales de colonización del lodo, no obstante, si aparece en fangos con cierta madurez indican un empeoramiento en el estado de depuración del sistema (Figura 13a).

Cercobodo sp: Protozoo biflagelado pequeño (10-15 micras), de cuerpo generalmente piriforme. Los flagelos son de igual longitud. Se alimenta de bacterias y sustancias disueltas. Natación en rotación lenta. Parámetros bioindicadores asociados: Aparece en las fases iniciales de colonización del lodo, no obstante, si aparece en fangos con cierta madurez, indican un empeoramiento en el estado de depuración del sistema (Figura 13b).

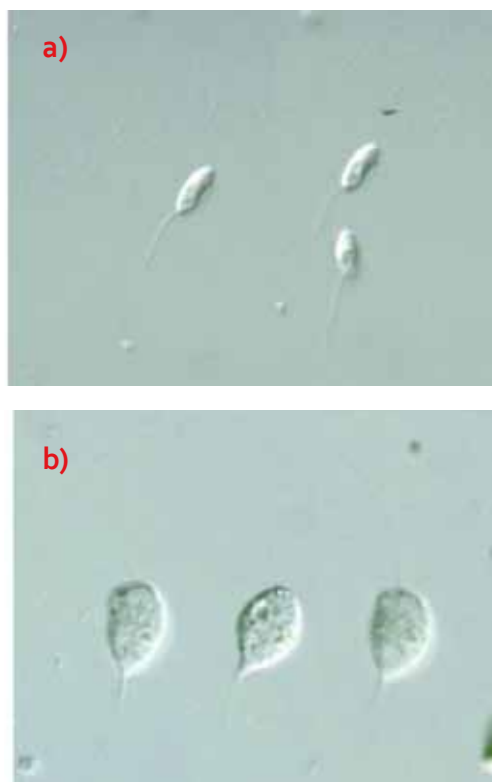


Figura 13. a) *Bodo* sp, b) *Cercobodo* sp
Fotografías: <http://protisti.hosei.ac.jp/pdb>.

GRANDES FLAGELADOS

***Euglena* sp:** Flagelado de forma alargada, de tamaño de 40-60 micras. Presenta varios flagelos en el cuerpo. La célula contiene cloroplastos que le confieren el característico color verde. Parámetros bioindicadores asociados a condiciones de baja carga orgánica en el reactor (Figura 14a).

***Peranema* sp:** Flagelado incoloro, con flagelo rígido. Su tamaño medio que oscila entre 30 a 70 micras. Organismo heterótrofo con práctica de fagotrofía. Puede ingerir presas relativamente grandes. Parámetros bioindicadores asociados: Carga orgánica débil en el reactor, no obstante compatible con buenos proceso de depuración en el reactor (Figura 14b).

Amebas: Son organismos protozoos, desprovistos de membrana celular. Existen amebas cubiertas y amebas desnudas (con cubierta testácea/ sin cubierta testácea). Su movilización se realiza mediante pseudópodos (pies falsos), son las proyecciones del citoplasma que permiten a la célula avanzar en la captura de sustrato, al mismo tiempo fagocitándolo. Se alimenta principalmente de partículas y bacterias. Amebas desnudas, aunque son comunes en lodo activado, no se utilizan en la estimación eficiencia de lodo activado (Figura 14c).



Euglypha sp: Teca ovoide, cuerpo comprimido lateralmente, cubierto por numerosas escamas silíceas visibles en microscopía de contraste de fase. Movimiento pseudópodo tipo filópodo. Desde la apertura terminal de licencia filiforme pseudópodos raramente ramificado. Sus dimensiones que van de 20-100 micras. Parámetros bioindicadores asociados: Presente en sistemas con elevada edad celular del lodo y no por ello relacionado con buenos rendimientos en la depuración y con baja carga del lodo (Figura 14d).

Arcella sp: Protozoo con teca (cubierta) posee forma de disco cuando se ve desde el lado. Amplia apertura central de donde vienen pseudópodos con forma de dedo. En individuos vivos, el citoplasma es observable a través de la Teca de color amarillento. Su tamaño varía de especie a especie (50-200 micras). Parámetros bioindicadores asociados: Buenos procesos de depuración, altos tiempo de retención celular, buena oxigenación y procesos de nitrificación (Figura 14e).

Centropyxis sp: Teca esférica u ovoide más ancha en zona posterior que anterior. Teca rugosa por presencia (a veces) de partículas (granos de arena, conchas diatomeas, etc.) que se unen firmemente a la superficie. Parte trasera con 2-8 púas. Apertura de la terminal a

menudo relativamente grande que pronuncia los pseudópodos. Tamaño de 120-180 micras. Se presentan dos especies: *C. aculeata* (entre 2-8 espinas) y *C. discoides* (espinas dispuestas irregularmente), la última de las dimensiones más (200-400 micras). Parámetros bioindicadores asociados: Buena calidad de depuración (Figura 14f).

Ciliados: Los ciliados son un grupo de protozoos que colonizan la mayoría de los medios acuáticos. Su tamaño, relativamente grande en comparación con otros protozoos (promedio de 20-200 micras). Los distintos tipos de desplazamientos y su variedad de formas, los hacen particularmente evidente a la observación microscópica. Los cilios estructuralmente son idénticos a flagelos, pero son más cortos en relación a la longitud de la célula. Los cilios se pueden organizar en grupos (Cirros) como en la clase de ciliados "Ipotrichios, y en este caso, estos agregados se están convirtiendo en esenciales para locomoción. En ciliados, por lo general, se puede distinguir las pestañas dispuestas a lo largo del cuerpo (ciliatura somática) de las que se encuentran alrededor de la boca (ciliatura oral) que se utilizan para la captura de los alimentos. Los principales grupos de ciliados: Oligohymenophora y Polyhymenophora."

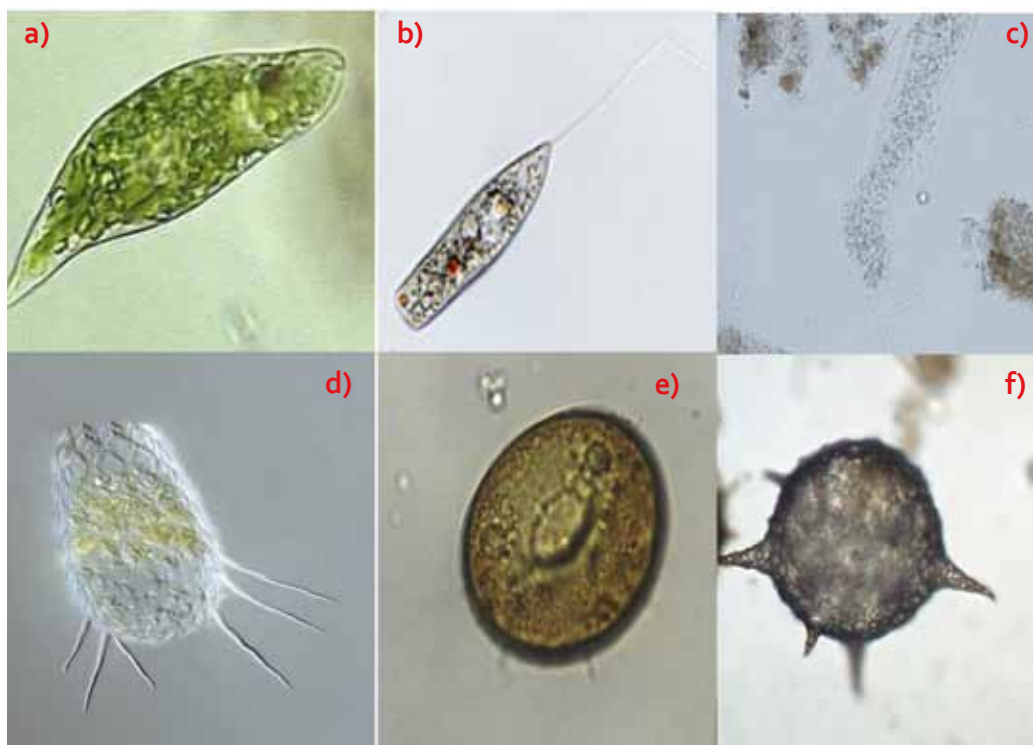


Figura 14. a) *Euglena* sp, b) *Peranema* sp, c) Ameba, d) *Euglypha* sp, e) *Arcella* sp, f) *Centropyxis* sp
Fotografías: a) <http://aminbest-orange.blogspot.com>, b) <http://www.plingfactory.de>, c) Axena (2009), d) <http://www.photomacrography.net>, e) Grupo Ingeniería y Biotecnología Ambiental GIBA, f) <http://www.pirx.com>

CILIADOS BACTERIOFAGOS NADADORES

Cinetochilum margaritaceum: Longitud de 15 a 45 micras, de forma discoide, aplanada, proporcionado solo en ciliatura superficie ventral. En la superficie de la célula los surcos son evidentes. El citostoma es en posición lateral.



La vacuola contráctil es terminal. Se alimenta de bacterias. Se presenta con frecuencia en el lodo activado. Tiene una baja tolerancia al amoníaco libre y, en general, los compuestos de nitrógeno. Su presencia es a menudo vinculada a las aguas residuales diluidas (Figura 15a).

Paramecium caudatum: Longitud 180-300 micras, en forma de torpedo, el cuerpo de sección circular es ligeramente cónico en su extremo posterior el que observa un penacho de largas pestañas. Macronúcleo grande y céntrico, un micronúcleo, dos vacuolas contráctiles suministran canales radiales. Posee una ranura clara y larga que lleva a la boca. El ciliatura es uniforme en toda la célula. Este organismo normalmente está presente en las aguas residuales y el comienzo de la colonización de lodo. A veces usted nota signos de una especie similar (*P. putrinum*), ligeramente más pequeño y menos cónica, como *P. caudatum* (Figura 15b). que informa de un barro o joven demasiado cargado.

***Colpidium* sp.**: Ciliado ovoide o ligeramente reniforme, alargado a lo largo 60-100 micras, con ciliatura uniforme, macronúcleo esférica y vacuola contráctil sub-terminal. El citostoma es pequeño y está situado lateralmente a mediados de la parte superior del cuerpo. Especie muy común en aguas contaminadas por materia. En el sistema de lodo activado se desarrolla solo cuando existe una al-

teración en plantas de tratamiento biológico. Dos especies pueden colonizar el lodo: *C. activada* y *C. campylum* (Figura 15c).

***Tetrahymena* sp.**: Ciliado piriforme con ciliatura uniforme posee un tamaño medio (30-50 micras). El citostoma es pequeño y se abre lateralmente justo por debajo del polo apical de la parte cónica. El macronúcleo es esférico, la vacuola contráctil es terminal. Es raro en el lodo activado. Su presencia está vinculada a cargas excesivas. Una especie se ha observado en lodos activados: *T. pyriformis* (Figura 15d).

***Glaucoma* sp.**: Ciliado en forma de huevo o elipsoidales, ligeramente comprimido, con ciliatura uniforme, citostoma dispuesta transversalmente. Largo: 40-80 micras. Macronúcleo esférico presente en el centro, vacuola contráctil el último tercio del cuerpo. Raro en lodos activados, con una sola especie: *G. scintillans* (Figura 15e).

***Sathrophilus* sp.**: Tamaño 30-50 micras, ovoide, ligeramente aplanado. Cavidad oral se encuentra en el primer tercio anterior del cuerpo. Macronúcleo en la parte central del cuerpo. Ciliado que se encuentra generalmente en las aguas residuales. En lodos activados a veces es común durante la primera fase de la colonización de planta. Se han observado algunas especies en depuradoras: *S. putrinus* y *S. oviformis* (Figura 15f).

Uronema sp. Longitud de 20-30 micras, cuerpo ovoide alargado y ligeramente comprimido anteriormente. Cavidad oral alargada. Membrana ondulante a lo largo del borde derecho la cavidad oral. Vacuola contráctil terminal, macronúcleo esférica en posición central. Ciliado típico en lodos activados, presente con la especie *U. nigricans* (Figura 15g).

Pseudocohnilembus sp. Ovoide celular, ligeramente alargado, de pequeño tamaño (30-70 micras), citostoma sub-apical. Ciliatura evidente que se produce como una membrana ondulante. Posee un largo cilio caudal. En lodo activado está presente con la especie *P. pusillus* (Figura 15h).

Cyldidium sp. Ciliado pequeño (15-30 micras), ovalado con los extremos ligeramente truncada; polo anterior libre de las pestañas, polo inferior con un largo cilio caudal. Membrana ondulante es muy evidente y es aproximadamente la mitad de la longitud del cuerpo. Macronúcleo esférica situada en la mitad anterior; vacuola terminal contráctil. Se mueve rápidamente con disparos intercalados con períodos donde permanece completamente inmóvil. Raro en el lodo activado, pero común en aguas residuales. Más especies pueden ser observadas en lodos activados, pero el más común es *C. glaucoma* (Figura 15i).

Spirostomum sp. Ciliado muy alargado de forma cilíndrica, ligeramente comprimido, posee ágil

movimiento. Longitud 150-400 micras, Macronúcleo ovalado. En la membrana celular se observan pigmentos de color marrón. Se alimenta de bacterias, algas y flagelados. Nada lentamente hacia adelante y hacia atrás girando a lo largo de eje. Raro en el lodo activado. Se observa en los sistemas con baja carga orgánica (Figura 15j).

Acineria uncinata. Ciliado pequeño con cuerpo alargado y aplanado, extremadamente flexible, (30-40 micras). La boca (citostoma) es una ranura recta y se coloca de lado vértice superior. 2 macronúcleos esféricos. La vacuola contráctil está en posición final. La ciliatura somática se encuentra en el lado derecho y está compuesta de 20-22 filas de pestañas. Los cilios en el margen ventral del polo anterior se transforman en ganchos (Figura 15k).

Drepanomonas revoluta. Con forma de riñón ciliado ligeramente alargada, plana y rígida, con la superficie esculpida por pliegues curvados. En el lado cóncavo de la célula se encuentra el citostoma. Dimensiones aprox. 30 micras. Se alimenta de bacterias dispersadas. Presente en la fase inicial de lodos activos (Figura 15l).

Chilodonella sp. Ciliado ovalado, aplanada, superficie ventral donde se establecen numerosos cilios. Citostoma ventral. Macronúcleo ovalada y dos vacuolas contráctiles. Tamaño de 40 a 70 micras. Flexible, se arrastró sobre el sustrato. En lodos activados está presente con *C. enganchado* (Figura 15m).



***Trithigmostoma* sp:** Tamaño variable (75-300 micras), es similar a *Chilodonella* sp. Se diferencia, además del tamaño, por tener un mayor número de vacuolas contráctiles (6-8). Raro en lodos activados con una sola especie: *T. cucullulus* (Figura 15n).

***Trochilia* sp:** Pequeño ciliado en forma de oliva (25-40 micras). La superficie dorsal es convexa mientras la parte ventral es plana. La ciliatura está presente solo en la parte ventral. La parte terminal está provista de un cirro. Solo una especie está presente en la lodos activados (*T. minuta*), a menudo asociado con *Chilodonella* sp (Figura 15ñ).

Aspidisca cicada: Ciliado pequeño (25-40 micras), de forma redonda provista de una rígida película. Este organismo es convexo y en la superficie dorsal posee 6 ranuras, mientras que la superficie ventral es plana, teniendo 5 y 7 cirros. Este ciliado es muy común y abundante en lodo activado (Figura 15o).

Aspidisca lynceus: Las características morfológicas de esta especie son similares a las de *A. cicada*, se distingue por el tamaño más grande (30-50 micras), superficie dorsal lisa y plana. Especie menos común que la anterior (Figura 15p).

***Euplotes* sp:** Ciliado ovalado, aplanado ventralmente. La superficie dorsal está cubierta por ranuras evidentes, la superficie ventral, aplanada, trae varios cirros. El citostoma se abre en la superficie ventral y está rodeado por una zona larga de cilios que forman una membrana. Se diferencia de *Aspidisca* sp para el aumento de tamaño (promedio 40-70 micras). Algunas especies son muy comunes en lodo activado (*E. affinis*, *E. moebiusi*). Su presencia está vinculada a efluentes de baja carga orgánica o efluentes diluidos (Figura 15q).

***Stylonychia* sp:** Ciliado ovalado, cuerpo alargado y aplanado. Su tamaño varía entre una especie a otra un promedio de 100-150 micras. Márgenes izquierdo y derecho más o menos paralelos. Cerca del citostoma se observan numerosos cirros, y 3 caudal. Muy raro en lodos activados, dos especies pueden ser observadas: *S. putrina* y *S. mytilus* (Figura 15r).

FORMAS SESILES

A este grupo pertenecen casi exclusivamente los organismos de la subclase Peritrichia, con la excepción de las especies *Stentor* sp, que pertenece a la clase Polyhymenophora. Los ciliados peritricos (con forma de taza o de campana invertida y que se sujetan al sustrato por medio de un pedúnculo) carecen de la ciliatura somática y solo la poseen en la zona oral (citostoma). Los peritricos puede ser simples o coloniales, su tallo puede ser rígido o contráctil. El macronúcleo de peritricos es predominantemente en forma de banda.



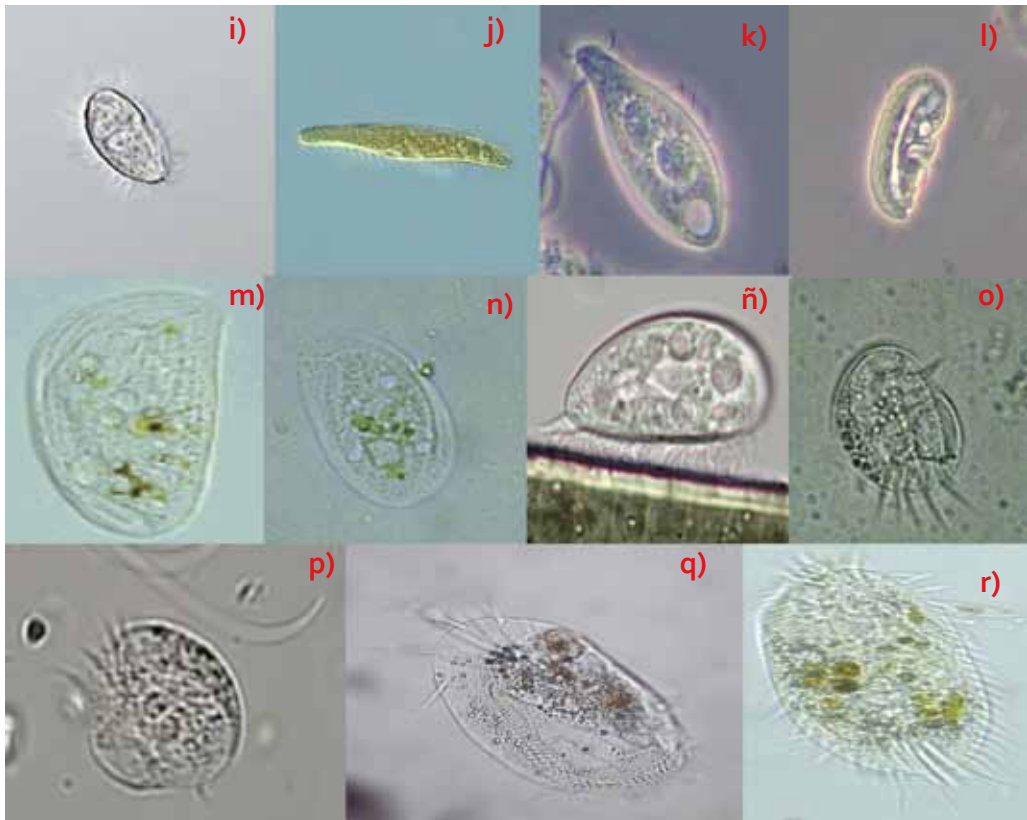


Figura 15. a) *Cinetochilum margaritaceu*, b) *Paramecium caudatum*, c) *Colpidium* sp., d) *Tetrahymena* sp., e) *Glaucoma* sp., f) *Sathrophilus* sp., g) *Uronema* sp., h) *Pseudocohnilembus* sp., i) *Cyclidium* sp., j) *Spirostomum* sp., k) *Acineria uncinata*, l) *Drepanomonas revoluta*, m) *Chilodonella* sp., n) *Trithigmostoma* sp., ñ) *Trochilia* sp., o) *Aspidisca cicada*, p) *Aspidisca lynceus*, q) *Euplotes* sp., r) *Stylonychia* sp., Fotografías: a, e, j) <https://www.flickr.com>. b, h, m, n, r) <http://protist.i.hosei.ac.jp>. c) <http://www.photomacrography.net>. d, l) Grupo de Química y Microbiología del Agua. Instituto Universitario de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) f, ñ, o) <http://pinkava.asu.edu>. g, i, q) <http://www.pirx.com>. k) <http://www.biodiversidadvirtual.org>. p) <http://shelf3d.com/>

Vaginicola sp: Organismo solitario (1-2 dentro de la lorica) con o sin tallo, tiene un cuerpo alargado, y un extremo apical, donde se encuentra la abertura oral, el organismo está fuera de la lorica encontrándose completamente relajado. Longitud 100-200 micras. La especie más frecuente observada en lodo activado es *V. cristalina*, que se presenta por lo general en los sistemas con baja carga orgánica y alta edad de lodos, puede llegar a ser muy abundante cuando el sistema está en etapa desnitrificación (Figura 16a).

Vorticella convallaria: Longitud de 40-120 micras, longitud de pedúnculo 200-500 micras. Cuerpo en forma de copa en la que el diámetro máximo de la célula es la zona oral. Macronúcleo en forma de C. Al igual que en todos los Peritricoso, la ciliatura se limita a la región oral. Muy común en los lodos activados (Figura 16b).

Vorticella microstoma: Largo 35-80 micras, longitud de pedúnculo de hasta 400 micras. Peristoma notablemente restringida (12-25 micras). Frecuente en lodos activados, especialmente en la fase inicial. Su presencia dominante se presenta cuando existe una baja eficiencia, generalmente dado a falta de oxigenación (Figura 16c).

Vorticella aquadulcis: Ciliado muy similar a *V. microstoma* (longitud de 20-50 micras, pedúnculo 50-300 micras). El macronúcleo está dispuesto transversalmente alrededor de la citofaringe. Muy común en lodo activado. Su abundante presencia se asocia con una buena oxigenación (Figura 16d).

Carchesium sp: Ciliados coloniales, los individuos tienen un tamaño medio de 80 a 140 micras. La forma campana es muy similar a la de *V. convallaria*, con gran peristoma. El macronúcleo es en forma de C. Poco frecuentes entre lodo activado con la especie *C. polypinum* (Figura 16e).

Zoothamnium sp: Peritricoso colonial difiere de *Carchesium* por tener mionema (pedúnculos unidos), que provoca contracciones simultáneas de todos los individuos que forman la colonia. Las dimensiones varían mucho de una especie a otra (50-100 micras). Muy frecuente en lodos activados; entre las especies más comunes están *Z. asellicola* y *Z. mucedo* (Figura 16f).

Opercularia sp: Ciliados coloniales del tallo no contráctil y por lo tanto carente de mionema. La ciliatura oral se extiende alrededor de una estructura que sale del peristoma (opérculo) parte delantera del cuerpo. Las colonias nunca se forman por



numerosos individuos, por lo general no más de 4-8. Las dimensiones de las células varían desde una especie a otra. Abundante en lodos activados con tres especies: *O. coarctata* (45-50 micras), *O. microdiscus* (70-90 micras) y *O. mínima* (25-40 micras). Especies muy tolerantes a las condiciones estresantes como la presencia de metales pesados y oxigenación deficiente (Figura 16g).

***Epistylis* sp:** Organismos coloniales, difieren de *Opercularia* por tener mayor apertura del peristoma. El pedúnculo es generalmente grande. Las dimensiones varían de especie a especie, pero poseen tamaño aproximado de 100-300 micras. Las colonias pueden estar formadas por varios organismos. Frecuente en lodo activo (Figura 16h).

***Stentor* sp:** Ciliadas de la clase Polyhymenophora. Posee forma de trompeta, pero, si se le molesta, puede contraerse asumiendo la forma de una pelota. Uno de los ciliados de la mayor dimensiones, algunas especies puede alcanzar, en pleno desarrollo, el mm de longitud. Muchas especies son de colores (verde, marrón, azul, rosa). La línea de base con la que se une al sustrato puede presentar una envoltura gelatinosa. Poco frecuente en lodo activado, observado en lodo con baja carga y larga edad (Figura 16i).

CILIADOS CARNIVOROS

***Plagiocampa* sp:** Dimensiones aproximadamente de 40 micras, ovoide o elipsoidal, con la abertura oral colocada en el vértice de la célula. Tiene un macronúcleo de ubicación central y vacuola contráctil en la parte inferior. Se mueve rápidamente entre los copos de lodo para buscar presas. Frecuente en el lodo activado con la especie *P. rouxi* (Figura 17a).

***Prorodon* sp:** Ciliado, oval o esférico con un ciliatura somática completa y uniforme. Su tamaño varía de especie a especie (50-400 micras). La boca, apical, es de la forma circular y se comunica con un citofaringe tubular. Nada lo suficientemente rápido como para búsqueda de comida (algas, flagelados y ciliados). Raro en el lodo activado. Su presencia se ha observado en plantas nitrificantes (Figura 17b).

***Coleps hirtus*:** Ciliadas en forma de barril largo 50-70 micras, Superficie exterior semejante a placas, que hace que sea inconfundible. Gran apertura oral que permite alimentar en una amplia variedad de organismos que van desde líquidos orgánicos, algas, bacterias, flagelados y ciliados. Presenta un largo cilio caudal. Nada rápido y a menudo cambian de dirección. Poco común en lodo activado. Tiene una baja tole-

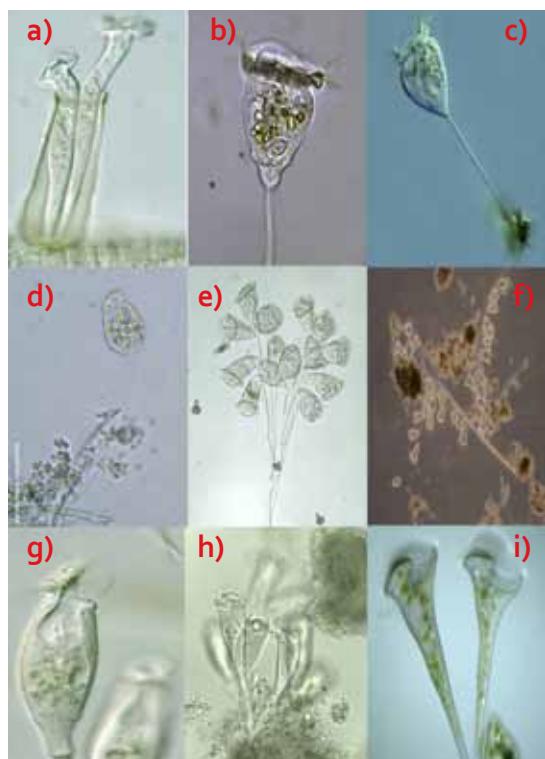


Figura 16. a) *Vaginicola* sp, b) *Vorticella convallaria*, c) *Vorticella microstoma*, d) *Vorticella aquadulcis*, e) *Carchesium* sp, f) *Zoothamnium* sp, g) *Opercularia* sp, h) *Epistylis* sp, i) *Stentor* sp

Fotografías. a, e, g, i) <http://protist.i.hosei.ac.jp>; b, h) Grupo Ingeniería y Biotecnología Ambiental GIBA; c, f) <https://www.flickr.com>; d) <http://www.aquarium-kosmos.de>

rancia a los iones de amonio y amoníaco. Se observa durante plantas de tratamiento de aguas residuales de bajo contenido de compuestos de nitrógeno. La presencia abundante de esta especie se relaciona a menudo con una buena eficacia de la purificación (Figura 17c).

***Spathidium* sp:** Ciliado en forma de saco, comprimido más o menos hacia los lados. La región anterior se deprime para formar un “cuello”. El citostoma ocupa toda la parte apical, y está rodeado por un reborde provisto con tricocistos. La ciliatura es uniforme, la vacuola contráctil es terminal. Se alimenta de otros ciliados y mueve rápidamente a su búsqueda. Los tamaños varían mucho de una especie a otra, Sin embargo el tamaño medio oscila entre 100-300 micras. Muy raro en el lodo activado (Figura 17d).

***Litonotus* sp:** Los ciliados pertenecientes a este género poseen cuerpo flexible, aplanado, alargado y cónico en la parte delantera. La boca es representada por una larga hendidura que parte y corre lateralmente desde el vértice hasta aproximadamente el medio de la célula. La longitud media es de 100 micras. Una sola vacuola contráctil, de posición terminal. Se alimenta principalmente de ciliados peritricos. Muy común en los lodos activados,



se observaron en algunas especies de las cuales la más frecuente es *L. fasciola* (Figura 17e).

Amphileptus: Ciliados muy similar en forma a los que pertenece al género *Litonotus* sp. En el frente a lo largo de la ranura del citostoma, se observan numerosos tricocistos. Las vacuolas contráctiles pueden ser más de una y dispuestas lateralmente. Tamaño normal entre 100-400 micras. Se alimenta de ciliados peritricos. Poco común en lodo activado (Figura 17f).

SUCTORES

Subclase de grupos de ciliados que en forma adulto no presenta cilios, pero existen tentáculos que son utilizados para fines alimenticios. Todos ellos son carnívoros. Muchas especies son sésiles. Tres tipos están presentes lodos activados con frecuencia en: *Acineta* sp, *Podophrya* sp y *Tokophrya* sp.

Acineta sp: Forma de saco cilíndrico, organismo cerrado por una lorica que está soportado por un disco (Tallo). Los tentáculos se disponen normalmente en dos grupos. Núcleo redondo ubicado centralmente. Como en todas las suctores, a la altura de los tentáculos existen las ventosas que tienen el propósito de capturar la presa. Varían de tamaño de especie a especie (30-300 micras). Infrecuente en lodo activado (Figura 18a).

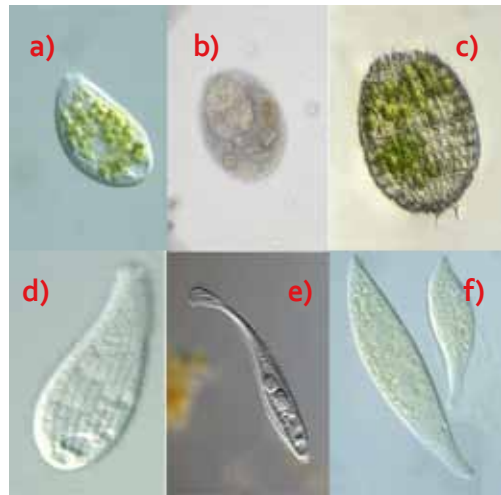


Figura 17. a) *Plagiocampa* sp b) *Prorodon* sp c) *Coleps hirtus* d) *Spathidium* sp e) *Litonotus* sp f) *Amphileptus* sp. Fotografías: a, d, f) <http://protist.hosei.ac.jp>. b) <http://www.geocities.com>. c) <http://www.naturamediterraneo.com>. e) <http://forum.mikroskopie.com>.

Podophrya sp: Cuerpo más bien esférico y cilios dispuestos radialmente. Macronúcleo esférico; células de tamaño variable de especie a especies (10-100 micras). La célula no es cerrada por una lorica. Frecuente en lodos activados con más especies (Figura 18b).

Tokophrya sp: Forma del cuerpo variable, a menudo piramidal con la punta hacia abajo donde se une al pedúnculo. Los tentáculos no son dispuestos de manera uniforme a lo largo de la célula como en *Podophrya* sp, pero

se agrupan en 2 o 4 vigas en la parte delantera. Dimensiones variables (50-200 micras). Frecuente en los lodos activos, especialmente con las especies *T. cuatripartita* (Figura 18c).

Metazoos

Los animales se componen de varias células agrupadas que forman los tejidos y órganos. Su compleja organización es tal que, en general, su ciclo reproductivo es más lento que los protozoos. Por esta razón su presencia en las plantas de tratamiento de aguas residuales en lodo activado se limita a algunas formas simple con tiempos de generación más pequeños. Los metazoos presentes en lodos activos son: rotíferos, nemátodos y gastrotricos. Otras formas, tales como larvas de insectos, oligoquetos, etc., pueden ser observadas esporádicamente en el lodo activo, pero estas formas vienen pasivamente en el sistema a través de las aguas residuales, sin tener posibilidades reales de reproducir antes de salir a través el efluente final.

Nematodo: Vermiforme, largo de 300 a 1.000 mm. Posee movimiento característico de látigo. Los sexos están generalmente separados. Presentes en lodos estables (Figura 19a).

Rotífero: Animales pluricelulares con simetría bilateral y órganos especializados de forma variable. Estos son alargadas y extensible como un

telescopio, de longitud media 200-500 micras, el ápice posee un aparato rotativo (Trocas: para circular el agua). Posee mastax (aparato para mascar). Se reproducen principalmente por partenogénesis (Figura 19b).

Gastrotricha: Organismos ligeramente alargadas de forma cilíndrica. Dimensiones medianas: 100-300 micras. La parte terminal es bifurcada. A lo largo del cuerpo se observan cerdas o espinas bastante largas. Raro en lodos activados, y su presencia se observa en cargas orgánicas muy diluidas (Figura 19c).



Figura 18. a) *Acineta* sp. b) *Podophrya* sp c) *Tokophrya* sp. Fotografías: a) <http://aqua-culture.blogspot.com>. b) Grupo Ingeniería y Biotecnología Ambiental GIBA c) <http://www.plingfactory.de>.



Tardígrado: Animales de forma cilíndrica, con cuatro secciones de pares de patas, cada pierna termina con un par de garras dobles utilizadas para la escalada. Su longitud varía de 500-1200 micras. Raro en los lodos activo, su presencia está relacionada con la edad de los lodos muy alta (Figura 19d). **GIBA**

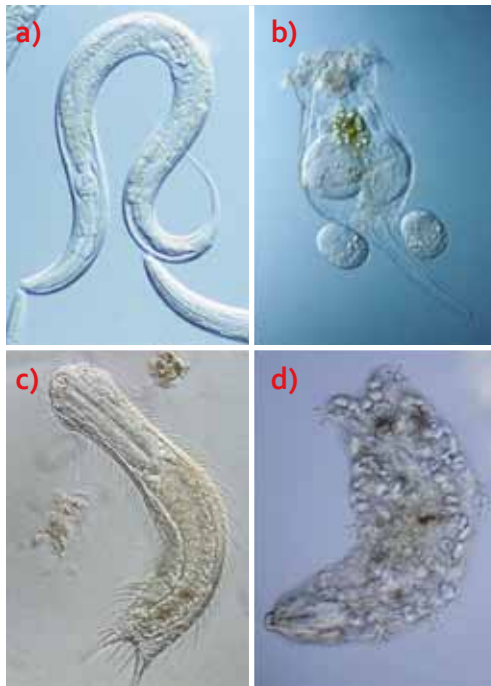


Figura 19. a) Nematodo, b) Rotífero, c) Gastrotricha
d) Tardígrado. Fotografías: a) <http://www.bioblogia.com>.
b) <http://www.quimilab.com> c) Axena, 2009. d) <http://commons.wikimedia.org>

REFERENCIAS

Arregui, L., Pérez-Uz, P., Salvadó, H. and Serrano S. (2010). Progresses on the knowledge about the ecological function and structure of the protists community in activated sludge wastewater treatment plants. Current Research, Technology and Education Topics in *Applied Microbiology and Microbial Technology*. 972-979.

Belmonte, M., Decap, J., Martínez, M. and Vidal, G. (2006). Effect of aerobic sludge with increasing level of adaptation on abietic acid biodegradation. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 77(6), 861-867.

Belmonte, M., Xavier C., Decap J. y Vidal, G. (2008). Tratamiento de ácidos resínicos presentes en efluentes de la industria de celulosa Kraft mediante laguna aireada. *Ingeniería Química* 33, 14-21.

Chamorro, S., Xavier, C., Decap, J. y Vidal, G. (2004). Microorganismos usados como bioindicadores de eficiencia de depuración de un efluente de celulosa Kraft a través de una laguna aireada. (Microorganisms used as bio-indicators of the kraft mill effluent treated by aircrated lagoon). XLVII Reunión Anual de la So-

ciudad de Biología de Chile. Pucón Chile. 23-26 Noviembre.

Chamorro S., Xavier C. and Vidal G. (2005). Behaviour of aromatic compounds contained in the Kraft mill effluents measurements by UV-VIS. *Biotechnology Progress*, 21(5), 1567-1571.

Chamorro, S. y Vidal, G. (2006). Microorganismos indicadores para el seguimiento y control de tratamientos biológicos aeróbicos. XXX Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). Punta del Este, Uruguay, 27-30 Noviembre.

Chamorro, S., Xavier, C., Hernández, V., Becerra, J. and Vidal G. (2009). Aerobic removal of stigmaterol contained in Kraft mill effluents. *Electronic Journal of Biotechnology*, 12(2), 1-7.

Diez, M.C., Castillo, C., Aguilar, L., Vidal, G. and Mora, M.L. (2002). Operational factors and nutrient effects on activated sludge treatment of *Pinus radiata* kraft mill wastewater. *Bioresource Technology*, 83(2), 131-138.

Jenkins, D., Richard, M. and Daigger, G. (1993). *Manual on the causes and control of activated sludge and foaming*, Lewis Publishers 2nd Edition, 120pp.



Madoni, P. (1994). A Sludge Biotic Index (SBI) of the Evaluation of the Biological Performance of Activated Sludge Plants Based on the Microfauna Analysis. *Water Research*, 28(1), 67-75.

Madoni P; Davoli D and Chierici E. (1993). Comparative Analysis of the Activated Sludge Microfauna in Several Sewage Treatment Works. *Water Research*, 27(9), 1485-1491.

Madoni, P. (2004). Aplicación del índice biológico del fango (SBI) del proceso de depuración a fangos activos. Universidad degli Studi di Parma. 68 pp.

Metcalf and Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, and Reuse*. McGraw-Hill, New York, USA, 1485 pp.

Monsalvez, E., Jarpa, M., Xavier, C., Vidal G. (2009). Evaluación de tecnologías de tratamiento biológicas convencionales para eliminar el potencial estrogénico en efluentes de celulosa. *Tecnología del Agua*, 29(307), 54-62.

Morales, G., López, D., Chamorro, S., Vidal, G. (2013). Indicadores biológicos para el análisis de efluentes de celulosa Kraft. XX Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS. "Desarrollo Sustentable: un desafío país". Santiago, Chile. 7 al 9 de Octubre.

Pacheco, V., Salazar, L., Jáuregui, B., Rodríguez, T., Silva, P., Mejía, G. and Pedrero, R. (2003). Control del crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de aguas residuales industriales. *Revista Interamericana de Contaminación Ambiental* 19(1), 47-53.

Pozo, G., Villamar, C., Martínez, M. and G. Vidal. (2011). Polyhydroxyalkanoates (PHA) Biosynthesis from Kraft Mill Wastewater: Biomass Origin and C:N Relationship Influence. *Water Science and Technology* 63(3), 449-455.

Pozo, G., A. C. Villamar, M. Martínez, and G. Vidal. (2012). Effect of organic load and nutrient ratio on the operation stability of the moving bed bioreactor for Kraft mill wastewater treatment and the incidence of polyhydroxyalkanoate biosynthesis. *Water Science and Technology*, 66(2), 370-376.

Ramalho, R.S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverte S.A., Barcelona, ES.

Reyes, C. y Chamorro, S. (2014). Contaminantes químicos en aguas servidas. En: *Las aguas servidas y su depuración en zonas rurales: situación actual y desafíos*. Editores: G. Vidal y F. Araya. Ediciones Universidad de Concepción, ISBN 978-956-227-378-7, Registro de Propiedad Intelectual 242.970 año 2014, 118 pp.

- Vidal, G., Nieto, J., Cooman, K., Gajardo, M. and Bornhardt, C. (2004). Unhairing effluents treated by an activated sludge system. *Journal of Hazardous Materials* 112(1-2), 143-149.
- Vidal, G., Chamorro, S., Becerra, J., Hernández, V., Villamar, A. (2009). A comparative study of estrogenic activity of kraft mill effluents from *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus* as raw material and their behaviour under aerobic treatment systems. 9th IWA Symposium on Forest Industry Wastewaters. Canada.
- Vilaseca, M. (2001). Observación microscópica de fangos activados. *Boletín Intexter (U.P.C.)* 119 pp.
- Xavier, C., Belmonte, M., Chamorro, S. y Vidal, G. (2005). Comportamiento de la biomasa en reactores aeróbicos: lodos activados y laguna aireada. XVI Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS CHILE. Viña del Mar, 23-26 Octubre.
- Xavier, C. M. Belmonte, M. Chamorro, S., Oñate, E., Mondaca, M. A. and Vidal, G. (2006). Kraft pulp mill effluent treated by activated sludge and aerated lagoon. Effluent quality evaluation by ultrafiltration, toxicity and genotoxicity assays. Eight International Water Association Symposium on Forest Industry Wastewaters. Vitória-Espírito Santo (Brasil), 9- 12 de Abril.
- Xavier, C. Mosquera, A., Becerra, J., Hernández, V. and Vidal G. (2009). Activated sludge versus aerated lagoon treatment of kraft mill effluents containing beta-sitosterol and stigmasterol. *Journal of Environmental Science and Health Part A/toxic Hazardous Substances*, 44(4), 327-335.
- Xavier, C., Oñate, E., Mondaca, M.A., Campos, J.L., Vidal, G. (2011). Genotoxic effects of kraft pulp mill effluents treated by biological aerobic systems. *Interciencia*, 36(6), 412-416.
- Zornoza A., Alonso J.L., Serrano S., Fajardo V, Zorrilla F., Bernácer I., Morenilla J.J. (2010). Estudio integrado del proceso de fangos activos I. Análisis descriptivo de factores físico-químicos y biológicos implicados en su dinámica. Octubre 2010. VII Jornadas de Transferencia de tecnología sobre Microbiología del Fango Activo. ISBN: 978-84-614-7529-2.
- Zornoza A., Avendaño L., Alonso J., Serrano S., Amorós I., Bernácer I., Martínez J. (2011). Análisis de las correlaciones entre diversos parámetros operacionales y físico-químicos relacionados con el proceso biológico de nitrificación en fangos activos. Networking sobre problemática biológica en sistemas de eliminación de nitrógeno. Sevilla. España.



LINK DE INTERÉS ASOCIADA A FOTOGRAFÍAS DE MICROORGANISMOS

- http://aminbest-orange.blogspot.com/2008_04_01_archive.html
- http://www.plingfactory.de/Science/Atlas/Kennkarten%20Algen/01_algae/Euglenophyceae/e-Euglenophyta1.htm
- <https://www.flickr.com/photos/microagua/10278514184/>
- http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/ciliophora/paramecium/caudatum/intactcells/sp_05.jpg
- <http://www.photomacrography.net/forum/viewtopic.php?p=21374&sid=3fe3390c61b020c8d28535cc1adee385>
- <http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/Ciliophora/Tetrahymena/Tetrahymena2a.jpg>
- <https://www.flickr.com/photos/microagua/3574355572/in/pool-90689861@N00>
- <http://pinkava.asu.edu/starcentral/microscope/portal.php?pagetitle=assetfactsheet&imageid=20732>
- <http://www.beyer-bilder.de/Organismen-Fotos/pages/Uronema%204590.htm>
- http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/Ciliophora/Pseudocohnilembus/sp_02.html
- <http://www.pirx.com/droplet/gallery/cyclidium.html>
- <https://www.flickr.com/photos/microagua/3063522339/>
- <http://www.biodiversidadvirtual.org/microAcineria-uncinata.-img61.html>
- <http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/PCD3038/htmls/14.html>
- http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/Images/Ciliophora/Trithigmostoma/sp_1c2.jpg
- <http://pinkava.asu.edu/starcentral/microscope/portal.php?pagetitle=assetfactsheet&imageid=12001>
- <http://pinkava.asu.edu/starcentral/microscope/portal.php?pagetitle=assetfactsheet&imageid=23627>
- <http://shelf3d.com/Search/Lynceus>
- <http://www.pirx.com/droplet/gallery/euplotes/euplotes4.jpg>
- <http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/Images/Ciliophora/Stylonychia/pustulata.jpg>

- http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/Ciliophora/Vaginicola/sp_05.html
- http://www.naturamediterraneo.com/forum/topic.asp?TOPIC_ID=53335
- http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/Images/Ciliophora/Carchesium/sp_2.html
- http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/Ciliophora/Opercularia/sp_03.html
- <https://www.flickr.com/photos/29287337@N02/4968254012/?rb=1>
- <http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/Ciliophora/Stentor/coeruleus/index.html>
- http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/Images/Ciliophora/Plagiocampa/sp_2.html
- <http://www.geocities.jp/seibutu7/kensakusyasin.htm>
- http://www.naturamediterraneo.com/forum/topic.asp?TOPIC_ID=137300
- http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/Ciliophora/Spathidium/sp_8.html
- <http://forum.mikroskopia.com/topic/5163-litotus-sp/>
- http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/Ciliophora/Amphileptus/sp_6d.html
- <http://aqua-culture.blogspot.com/2007/03/protozoa-their-role-and-impact-on.html>
- <http://www.plingfactory.de/Science/Atlas/KennkartenProtista/source/Tokophrya%20infusionum.html>
- <http://www.aquarium-kosmos.de/inhalt/34/wasserlebewelt-im-terrarium>
- <http://www.bioblogia.com/tag/nematodo/>
- <http://www.quimilab.com/lab/detalle-microscopico-de-un-rotifero/>
- <http://blogueiros.axena.org/2009/05/26/micronaturaleza-iv-microorganismos-de-un-acuario/>
- «Mikrofoto.de-baertierchen2» de Frank Fox - <http://www.mikro-foto.de>. Disponible bajo la licencia Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0-de vía Wikimedia Commons - <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mikrofoto.debaertierchen2.jpg#mediaviewer/Archivo:Mikrofoto.de-baertierchen2.jpg>

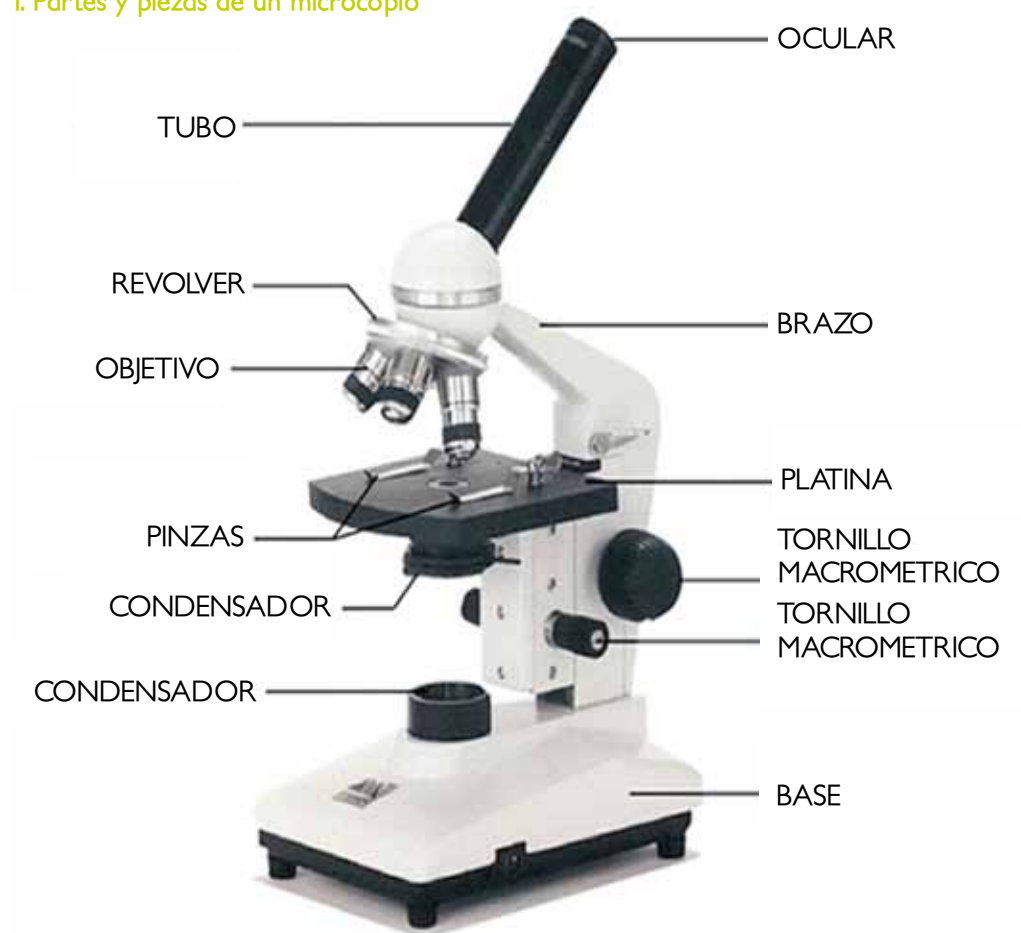
ANEXO



ANEXO

IDENTIFICACION Y MANEJO DE MICROSCOPIO

1. Partes y piezas de un microscopio





El microscopio con el que normalmente se trabaja para ver muestras frescas es el microscopio óptico o microscopio clínico o de campo brillante, ya que la fuente de luz que vamos a utilizar es la luz blanca, lo mismo de un bombillo incandescente que del sol. Los microscopios (todos) tienen tres sistemas que facilitan su funcionamiento, que son: 1) El sistema mecánico, 2) El sistema de iluminación y 3) El sistema óptico.

El sistema mecánico es el que le da soporte y estructura al microscopio. Está formado por:

- a) La base del microscopio
- b) El brazo
- c) La platina y
- d) Los tornillos que le dan movilidad:
 - 1.- Tornillo macrométrico
 - 2.- Tornillo micrométrico
 - 3.- Tornillo del condensador

La base y el brazo del microscopio son la estructura del mismo y si necesitamos trasladarlo de un lugar a otro, es por ahí que debemos hacerlo.

El tornillo macrométrico sirve para hacer el enfoque grueso, el micrométrico para hacer el enfoque fino y el del condensador para acercar o alejar el mismo y así poder controlar el rayo

de luz. La platina es la meseta donde se va a colocar la muestra que se va a estudiar.

El sistema de iluminación tiene un espejo que por un lado es plano y por el otro es cóncavo, ya sea que utilicemos la luz artificial o la luz del sol. Este espejo es el que va a captar el rayo de luz y lo va a dirigir hacia el condensador cuya función va a ser la de concentrar el rayo de luz y dirigirlo hacia la muestra, el mismo tiene además un diafragma donde se controla la cantidad de luz que va hacia la muestra.

El sistema óptico es en definitiva la parte más importante del microscopio. Este sistema tiene en primer lugar las lentes objetivas. Su nombre viene dado porque son las lentes que van a estar más cerca del objeto que vamos a estudiar y son ellas las que definen el poder de resolución del equipo. Estas lentes también van a ampliar la imagen \times número de veces. Si se observan las lentes vemos que tienen varios números, el mayor de ellos es la cantidad de veces que esa lente es capaz de ampliar la imagen, por ejemplo: 10X, amplía la muestra 10 veces, 40X amplía la muestra 40 veces.

La lente ocular recibe su nombre porque es la lente que está más cerca del ojo del observador, también es capaz de ampliar la imagen \times número de veces, por ejemplo: si es 7X, la amplía 7 veces, si es 10X, la amplía 10 veces.

2. Manejo del microscopio

1. Conectar el sistema de iluminación y colocar el objetivo necesario para la observación.
2. Con el tornillo de enfoque rápido (macro-métrico), se aproximará el objetivo lo más posible sin tocar la preparación.
3. A continuación, y mirando a través del ocular, se eleva muy lentamente el objetivo hasta enfocar. Finalmente, con el tornillo micrométrico se termina de enfocar.
4. Cuando se usan objetivos de inmersión se coloca el condensador en la parte más alta. Para la observación con objetivos secos se debe bajar según la apertura numérica del objetivo.
5. Cuando se usa el objetivo de inmersión se coloca una gota de aceite de cedro sobre la preparación y para enfocar se baja el objetivo cuidadosamente hasta tocar el aceite. A continuación se enfoca como en el punto 3.
6. El foco de iluminación se mantendrá exclusivamente encendido durante el tiempo de observación, evitando así el recalentamiento de la lámpara y la posible rotura de filtros.

7. Es imprescindible dejar el microscopio. Al terminar la observación y antes de que se seque el aceite, se debe limpiar el objetivo de inmersión con papel seda, celulosa o trapo de hilo. No se debe limpiar con disolventes (acetona), más cuando sea imprescindible, ya que a la larga puede despegar la lente frontal del objetivo.

3. Precauciones que hay que tener en el uso del microscopio

1. El microscopio se debe colocar frente al observador sin correrlo por la meseta, se debe coger por el brazo y levantarlo hasta colocarlo en su posición. Si no se manipula con cuidado pueden dañarse las lentes.
2. El observador debe trabajar con los dos ojos abiertos, ya que si va a hacer un esquema es más fácil de lograr.
3. Se debe buscar la mayor iluminación con el lente de menor aumento.
4. Se utiliza el espejo cóncavo para trabajar con la luz solar.
5. El diafragma debe estar abierto para que entre la mayor cantidad de luz.
6. El tornillo del condensador se utiliza para aumentar o disminuir el rayo de luz, cuando



trabajamos con el lente de 40X el condensador debe estar lo más cerca posible de la platina. Cuando se trabaja con los lentes de menor aumento a veces se puede alejar de la platina para eliminar algunas sombras molestas que se observan.

7. El portaobjetos siempre debe colocarse con el cubreobjetos hacia arriba para poder enfocar sin dificultad con los lentes de mayor aumento.
8. El enfoque grueso con los lentes de menor aumento se hace con el tornillo macrométrico.
9. Nunca debe hacerse el enfoque fino de los lentes de mayor aumento con el tornillo macrométrico, se debe usar sólo el micrométrico.
10. Al finalizar de trabajar se pone primero el lente de menor aumento y después se saca la lámina del microscopio, así se evita que tropiece el lente con la lámina. **GIBA**





TECNOLOGIAS *Para La GESTION DEL AGUA*

TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO MEDIANTE
SISTEMAS DE LODOS ACTIVADOS. OBSERVACION
MICROSCOPICA DE ORGANISMOS INDICADORES

ISBN: 978-956-227-390-9



9 789562 273909