

**Objetivos particulares:**

Al término del tema, el participante:

Comprenderá la importancia que tienen los procesos biológicos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Comprenderá la importancia que tienen los microorganismos en los procesos biológicos de tratamiento.

### 5.1 Introducción al tratamiento biológico de las aguas residuales

Si las aguas residuales son biodegradables, es decir, que pueden ser degradadas por medios biológicos, es de gran importancia que se comprendan a cabalidad los fenómenos biológicos que suceden, los diferentes tipos de microorganismos que lo realizan, los diferentes patrones metabólicos que los microorganismos siguen para la degradación de las aguas residuales, que factores afectan el crecimiento biológico y la cinética de tratamiento que siguen para la degradación de los desechos

El objetivo de los tratamientos biológicos para aguas residuales es el de coagular y remover los sólidos coloidales no sedimentables y los sólidos disueltos y estabilizar la materia orgánica. Para el caso de las aguas residuales municipales, el principal objetivo es el reducir su contenido orgánico y en algunos casos de nutrientes, tales como el nitrógeno y el fósforo. En muchos sitios, la remoción de compuestos orgánicos traza, que resultan tóxicos, es también un objetivo importante. Para las aguas residuales industriales, el objetivo principal es el remover o reducir la concentración tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos. Ya que mucho de éstos son tóxicos, es necesario incluir un pretratamiento a este tipo de aguas residuales. Para las aguas residuales de retornos agrícolas, la remoción de nutrientes (N y P) es el objetivo principal, ya que éstos elementos pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas y propiciar el fenómeno denominado de eutroficación.

### 5.2 Métodos de tratamiento

El principal objetivo del tratamiento del agua residual es producir un efluente que pueda ser descargado sin causar daños al medio ambiente. Los contaminantes del agua residual pueden ser eliminados por unidades

- Físicos
- Químicos
- Biológicos

En muchos casos, se combinan varios procesos dependiendo de la calidad del agua residual que se va a tratar y de las características que deba tener el agua tratada al final del tren de tratamiento.

#### **5.2.1 Métodos físicos**

Tratamiento en el cual se llevan a cabo cambios a través de la aplicación de fuerzas físicas. Las unidades típicas incluyen cribado, mezclado, adsorción, desorción, transferencia de gas, flotación, sedimentación y filtración.

#### **5.2.2. Métodos químicos**

Operaciones en las cuales la remoción o tratamiento de los contaminantes se realiza mediante la adición de reactivos que llevan a cabo diferentes reacciones químicas. La precipitación química, el ajuste del pH, la coagulación y la desinfección son los principales.

#### **4.2.3 Métodos biológicos**

En éstos, la remoción de los contaminantes se realiza a través de la oxidación biológica de la materia orgánica. El principal uso del tratamiento biológico es la remoción de los compuestos orgánicos biodegradables nutrientes. El ejemplo más conocido es el de lodos activados, pero existen varios más.

### **5.3 Trenes de Tratamiento**

Con base en los contaminantes a ser eliminados, el número de procesos unitarios que pueden combinarse es ilimitado. El término tren de tratamiento se usa para describir una combinación particular de procesos o sistemas empleados para alcanzar un objetivo específico de tratamiento.

Independientemente del análisis de factibilidad técnica de cada tratamiento, la configuración exacta del diagrama de flujo depende de las necesidades del usuario, de la experiencia del diseñador, de las regulaciones dadas por los organismos responsables, de la disponibilidad del equipo, de la facilidad de operación, de la disponibilidad del personal calificado, de los costos iniciales de construcción, y de los costos de operación y mantenimiento.

El tratamiento requerido para un agua residual depende de los requerimientos para la descarga del efluente. Por ejemplo, cuando se descarga a un océano, los sólidos de gran tamaño se eliminan por cribado y los sólidos sedimentables por sedimentación, siendo sólo algunas de las etapas que integran el tratamiento. Las descargas en lagos, ríos, corrientes y estuarios requieren de un tratamiento tal que remueva contaminantes específicos.

En la literatura, los esquemas de tratamiento se conocen como:

- Primarios
- Secundarios
- Terciarios (avanzados)

En un tratamiento primario, una porción de los sólidos suspendidos y la materia orgánica es eliminada del agua residual. Esta remoción es generalmente realizada mediante procesos físicos. El efluente del tratamiento primario contiene, comúnmente, grandes cantidades de materia orgánica, por lo tanto, una DBO alta. El tratamiento del efluente primario elimina la materia orgánica residual y suspendida; a esta etapa se le conoce como tratamiento secundario. En general, los procesos biológicos que emplean microorganismos para degradar la materia orgánica son usados en el tratamiento secundario.

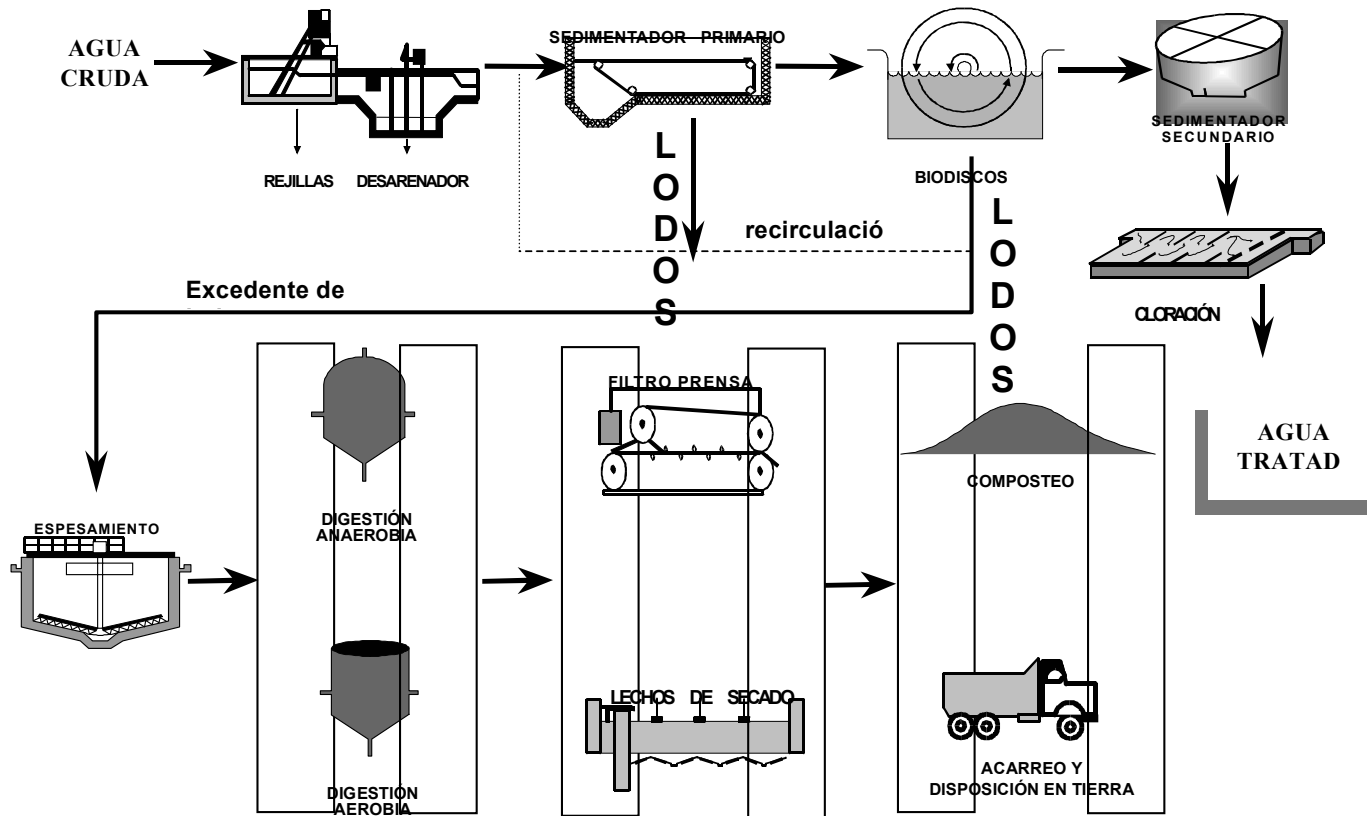
El efluente del tratamiento secundario contiene pequeñas cantidades de DBO y sólidos suspendidos y concentraciones variables de oxígeno disuelto. Cuando se requiere el reúso o control de la eutroficación del cuerpo receptor, se usan tratamientos terciarios.

La selección de un tren de tratamiento depende de numerosos factores, incluyendo el permiso de descarga y la disposición final. Actualmente, la diferencia entre un tratamiento primario, secundario o terciario es arbitraria. Con el fin de establecer criterios la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), ha establecido estándares de calidad para los efluentes provenientes del tratamiento secundario. Estos se presentan en la tabla 5.1.

**Tabla 5.1 Definición del Tratamiento Secundario (EPA)**

<b>Características de la descarga</b>	<b>Unidades de medición</b>	<b>Concentración promedio mensual</b>	<b>Concentración promedio semanal</b>
DBO <sub>5</sub>	mg/L	30	45
Sólidos suspendidos	mg/L	30	45
Concentración del ión hidrógeno	unidades de pH	6.0-9.0	-

La figura 5.1 presenta un ejemplo de un tren de tratamiento para alcanzar una determinada calidad de agua para reúso.



#### 5.4 El papel de los microorganismos

Para la remoción de la DBO carbonácea, la coagulación de los sólidos no sedimentables y disueltos y la estabilización de la materia orgánica, intervienen una serie de diferentes microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos utilizan la materia orgánica coloidal y disuelta como alimento para llevar a cabo todas sus funciones metabólicas, como crecimiento y reproducción, generando como productos finales, varios tipos de gases y materia inorgánica y más células (biomasa). Ya que la gravedad específica de la biomasa es ligeramente mayor que la del agua, éstas pueden removerse por sedimentación.

Para un diseño efectivo de un proceso biológico de tratamiento de aguas residuales es necesario entender claramente los siguientes puntos:

- Las necesidades nutricionales de los microorganismos
- Los factores ambientales que afectan el crecimiento microbiano
- El metabolismo de los microorganismos
- La relación entre el crecimiento biológico y la utilización del sustrato

La eliminación de la DBO carbonosa, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables, y la estabilización de materia orgánica se consiguen, biológicamente, gracias a la acción de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos se utilizan para convertir la materia orgánica carbonosa coloidal y disuelta en diferentes gases y material celular (biomasa). Dado que esta biomasa tiene un peso específico ligeramente superior a el del agua, se puede eliminar por sedimentación.

Es importante señalar que, salvo que la biomasa que se produce a partir de la materia orgánica se separe del agua, no se alcanzará un tratamiento completo. Debido a que la biomasa que es de naturaleza orgánica, aparecerá como parte de la medida de la DBO del efluente. Si no se separan las células, el único tratamiento que se habrá llevado a cabo es el asociado con la conversión bacteriana de una fracción de la materia orgánica presente originalmente en diversos productos gaseosos finales.

Los microorganismos importantes en el tratamiento biológico del agua residual son: los microorganismos procariotes (eubacterias y arqueobacterias) que suelen denominarse simplemente bacterias, y son primordiales en el tratamiento biológico. El grupo de los microorganismos eucariotes incluye a las plantas, animales y las protistas. Los organismos eucariotes importantes en el tratamiento biológico de las aguas residuales incluyen:

- Hongos
- Protozoos y rotíferos
- Algas

En la figura 5.2 se presenta el esquema de la clasificación de los seres vivos según Whittaker

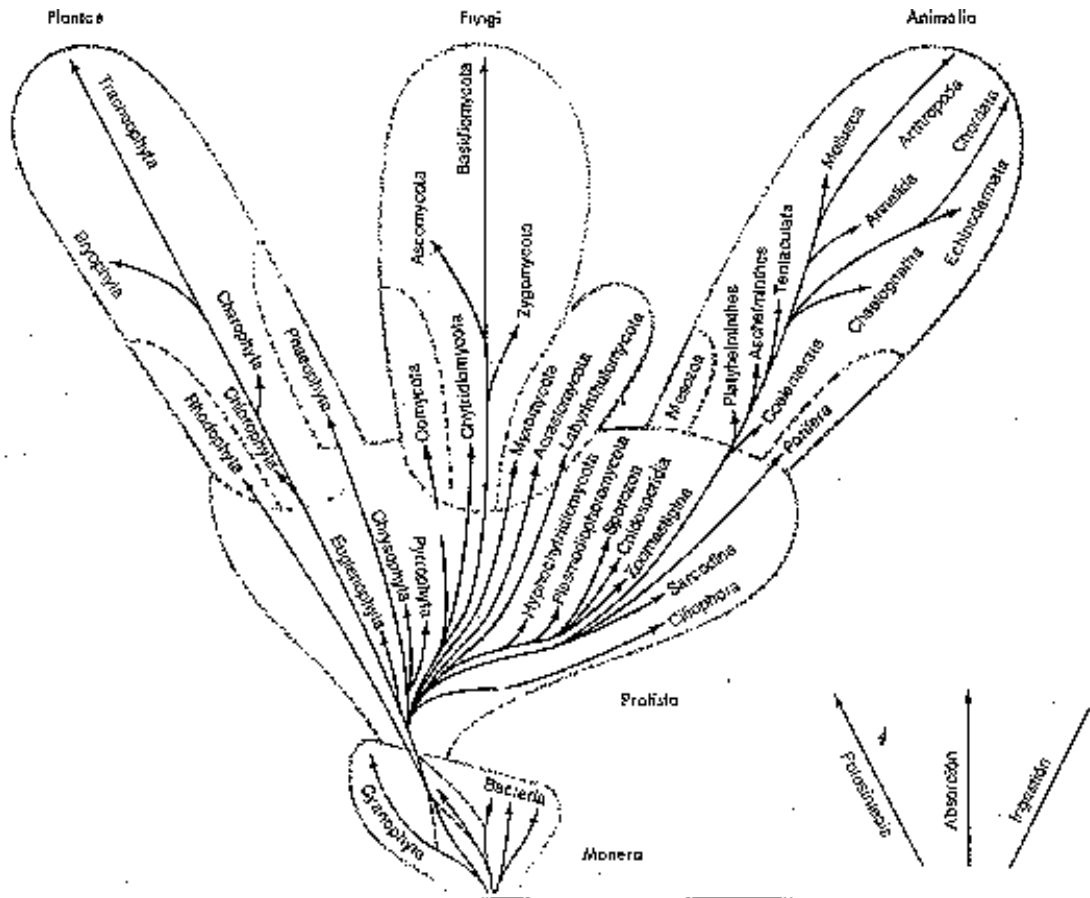


Figura 5.2 Clasificación de los seres vivos según Whittaker

#### 5.4.1 Cinética del crecimiento biológico

Las condiciones medio ambientales se pueden controlar mediante la regulación del pH, de la temperatura, la adición de nutrientes o elementos traza, la adición o exclusión de oxígeno o también, mediante una mezcla adecuada del medio. El control de las condiciones ambientales asegurará que los microorganismos dispongan del medio adecuado para su desarrollo.

Para asegurar el crecimiento de los microorganismos, se les debe permitir un tiempo de permanencia en el sistema lo suficiente para que se reproduzcan. Este período depende de la tasa de crecimiento, la cual está directamente relacionada con la velocidad a la que metabolizan o utilizan el sustrato, que en este caso, es el residuo. Suponiendo que las condiciones ambientales estén debidamente controladas, se puede asegurar una estabilización eficaz mediante el control de la tasa de crecimiento de los microorganismos.

### 5.4.2 Tipos y clasificación de los sistemas biológicos

Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso del agua residual doméstica, el principal objetivo es la reducción de la materia orgánica presente y, en muchos casos, la eliminación de nutrientes (como el nitrógeno y el fósforo). A menudo, la eliminación de compuestos a nivel traza que puedan resultar tóxicos, también constituyen un objetivo de importancia en el tratamiento. En el caso de aguas residuales industriales, el principal objetivo es la reducción de la concentración de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos. A menudo, puede ser necesario llevar a cabo un pretratamiento previo, debido a la potencial toxicidad de estos compuestos para los microorganismos. Para el caso de las aguas de retorno de usos agrícolas, el principal objetivo es la eliminación de los nutrientes que puedan favorecer el crecimiento de plantas acuáticas.

En los procesos biológicos, la materia orgánica contaminante es utilizada como alimento por los microorganismos presentes en los tanques o reactores. De esta forma pueden obtener la energía necesaria para reproducirse y llevar a cabo sus funciones vitales y la materia orgánica es transformada en nuevas células y otros productos que pueden ser más fácilmente separados del agua.

La principal división entre los procesos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales, se hace con base en la forma en que los microorganismos utilizan el oxígeno. Así se tienen los procesos aerobios (requieren oxígeno) y los anaerobios (requieren ausencia total de oxígeno). Esto se traduce en sistemas muy diferentes entre sí, tanto en su microbiología, como en sus aplicaciones, su ingeniería y su control.

Dado que los microorganismos son los responsables de llevar a cabo el proceso biológico, sus características metabólicas determinarán el tipo de aplicación, así como sus ventajas y desventajas. Las principales características de los procesos aerobios y anaerobios desde el punto de vista energético se esquematizan en la figura 5.3. En ésta se observa que la energía contenida en la materia orgánica contaminante, utilizada por los microorganismos como demanda química de oxígeno (DQO) o como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), es transformada en diversos productos dependiendo del metabolismo aerobio o anaerobio de la célula. En general, las bacterias anaerobias utilizarán el 10% de la energía contenida en su alimento o sustrato para funciones de reproducción, lo que da origen a nuevas células y el 90% restante lo dirigirá a la producción de metano y bióxido de carbono. Por su parte, las bacterias aerobias emplearán en presencia del oxígeno, de un 60 a 65% de la energía del sustrato en la síntesis de nuevas células, mientras que la fracción restante es disipada en forma de calor.

#### 5.4.2.1 Metabolismo aerobio

La descomposición de la materia orgánica por vía aerobia se divide en tres fases principales: la hidrólisis de las moléculas orgánicas complejas en sus respectivos monómeros, la descomposición de estos monómeros en intermediarios comunes y la final en la que se realiza el ciclo de Krebs y la cadena respiratoria, en donde el aceptor final de electrones es el oxígeno molecular, para formar agua como producto final, junto con el bióxido de carbono y el amoníaco. La figura 5.4 presenta el esquema de estas fases para el metabolismo aerobio.

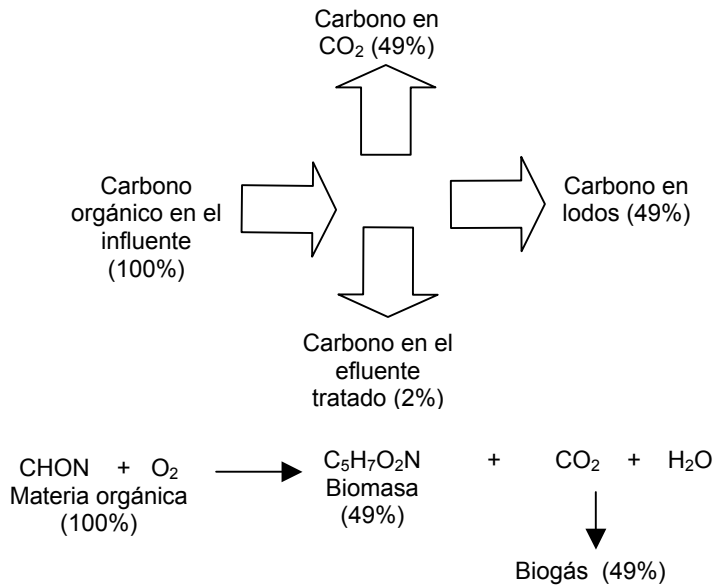
La tecnología del tratamiento de aguas residuales por vía aerobia está bien desarrollada y es sin duda la más comúnmente aplicada. La experiencia acumulada y las altas eficiencias en la remoción de materia orgánica son algunas de las razones de su aceptación.

Existe un buen número de modalidades en los procesos aerobios y son:

- Tipo extensivo (lagunas)
- Procesos de biomasa en suspensión (lodos activados en sus diversas modalidades)
- Procesos de biopelícula (filtros percoladores y biodiscos).



## Tratamiento aerobio



## Tratamiento anaerobio

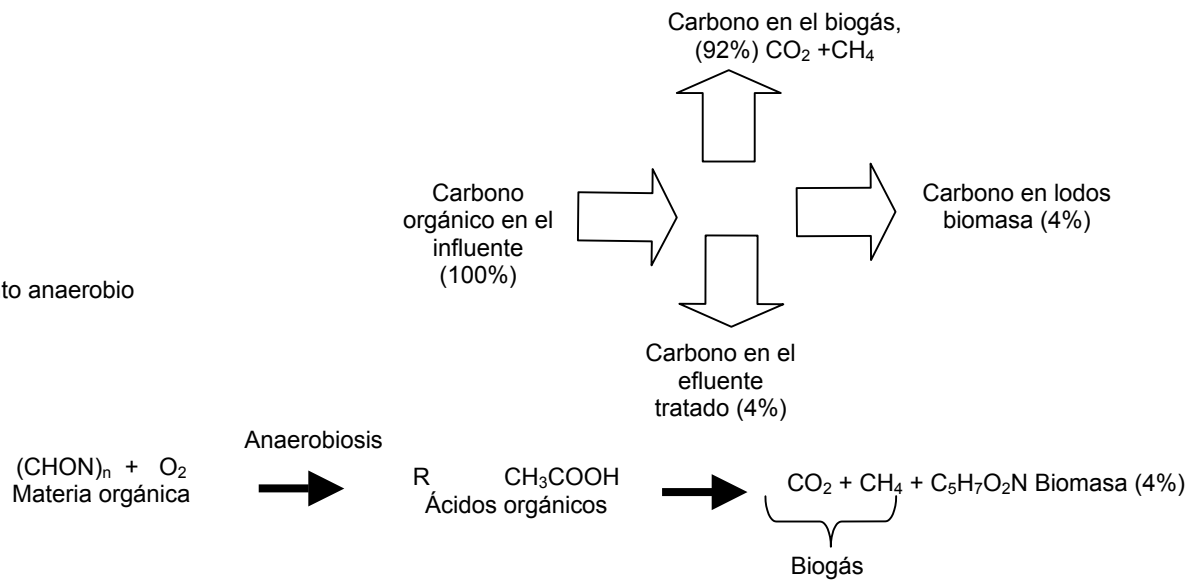


Figura 5.3 balance de carbono en el tratamiento aerobio y en el anaerobio

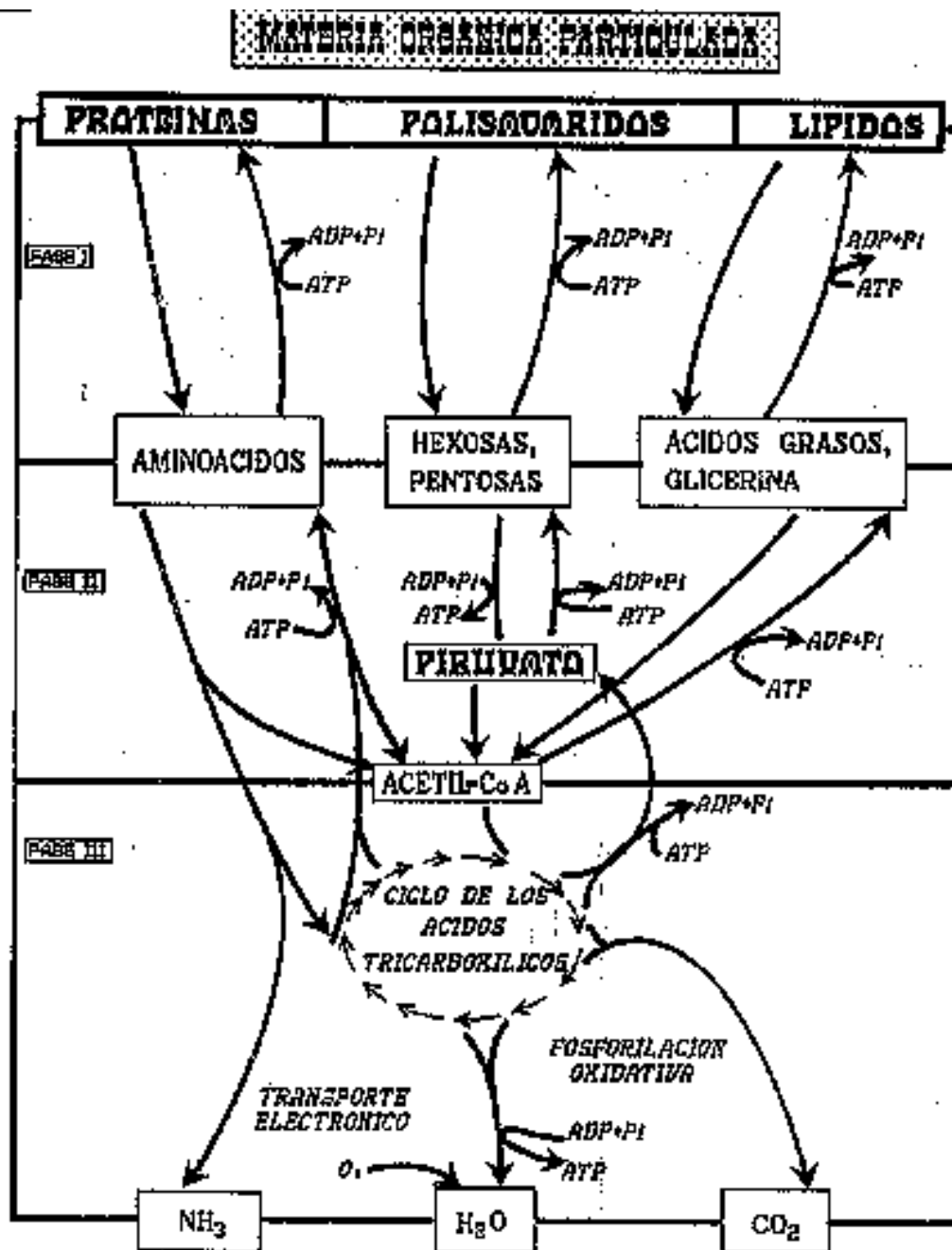


Figura 5.4 Las tres fases del metabolismo aerobio

### 5.4.2.2 Metabolismo anaerobio

En el metabolismo anaerobio los compuestos orgánicos generados internamente por descomposición de la materia orgánica, el bióxido de carbono, los nitritos y nitratos o los sulfatos se usan como aceptores finales de electrones en una serie de reacciones complejas en serie.

La figura 5.5 presenta la cadena de transporte electrónico para la respiración anaerobia con los diferentes aceptores de electrones y productos finales formados y la figura 5.6 el esquema de la digestión anaerobia de aguas y lodos residuales.

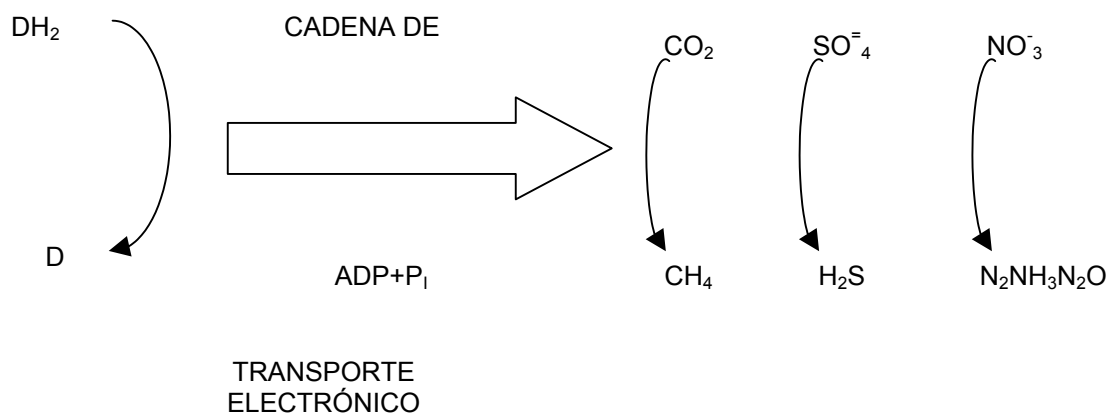


Figura 5.5 Cadena de transporte electrónico para la respiración anaerobia

Para llevar a cabo la digestión anaerobia se han propuesto varios procesos con configuraciones diferentes que buscan optimizar el sistema. Estas configuraciones pueden agruparse por la forma en que se encuentra la biomasa en su interior, lo que origina dos grandes bloques:

- Reactores con crecimiento celular en suspensión
- Reactores con biomasa fija

A continuación se describen brevemente los reactores anaerobios existentes. Los reactores anaerobios se dividen en tres generaciones de acuerdo a la evolución tecnológica que presentan:

- 1ª. Corresponde a aquellos procesos donde la biomasa se encuentra en suspensión
- 2º. Los microorganismos son retenidos en el reactor mediante un soporte o bien por sedimentación y,
- 3ª. Los microorganismos están adheridos en un soporte que se expande o fluidifica.

ESQUEMA DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS DOMÉSTICOS  
100% DQO

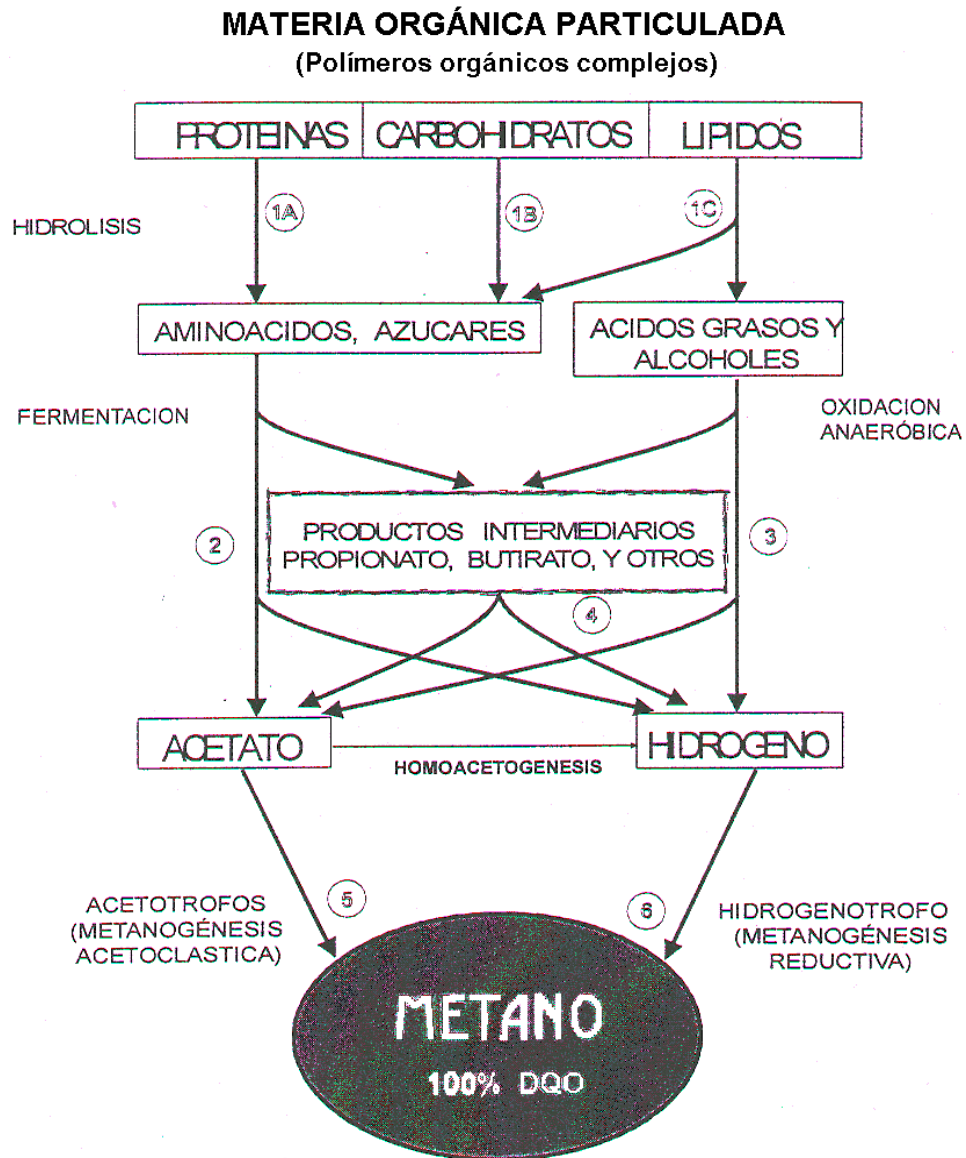


Figura 5.6 Digestión anaerobia de aguas y lodos residuales

## 5.5 Crecimiento bacteriano

Las bacterias son los microorganismos que en mayor proporción constituyen la biomasa de los lodos activados (95%). Estos organismos unicelulares crecen en el agua residual consumiendo la materia orgánica biodegradable tales como las proteínas, carbohidratos, lípidos y otros compuestos. La manera más común para la reproducción de las bacterias es por fisión binaria, donde la célula original se convierte en dos organismos nuevos. El tiempo requerido para cada división, conocido como tiempo de generación o de duplicación, puede variar desde menos de 20 minutos hasta varios días. Existen limitaciones ambientales que frenan la duplicación como disponibilidad del sustrato, concentración de nutrientes, o incluso, el tamaño del sistema. Existen dos maneras de expresar el crecimiento de los microorganismos, uno, en términos de números y el otro en términos de masa bacteriana en un cultivo puro, al igual que el crecimiento en cultivos mixtos.

### 5.5.1. Crecimiento en términos de número de bacterias.

El patrón general de crecimiento de las bacterias en un cultivo discontinuo se muestra en la figura 5.7 inicialmente se inocula un número pequeño de organismos en un volumen fijo de medio de cultivo, y el número viable de organismos se registra como una función del tiempo. El patrón de crecimiento, basado en el número de células, tiene cuatro fases.

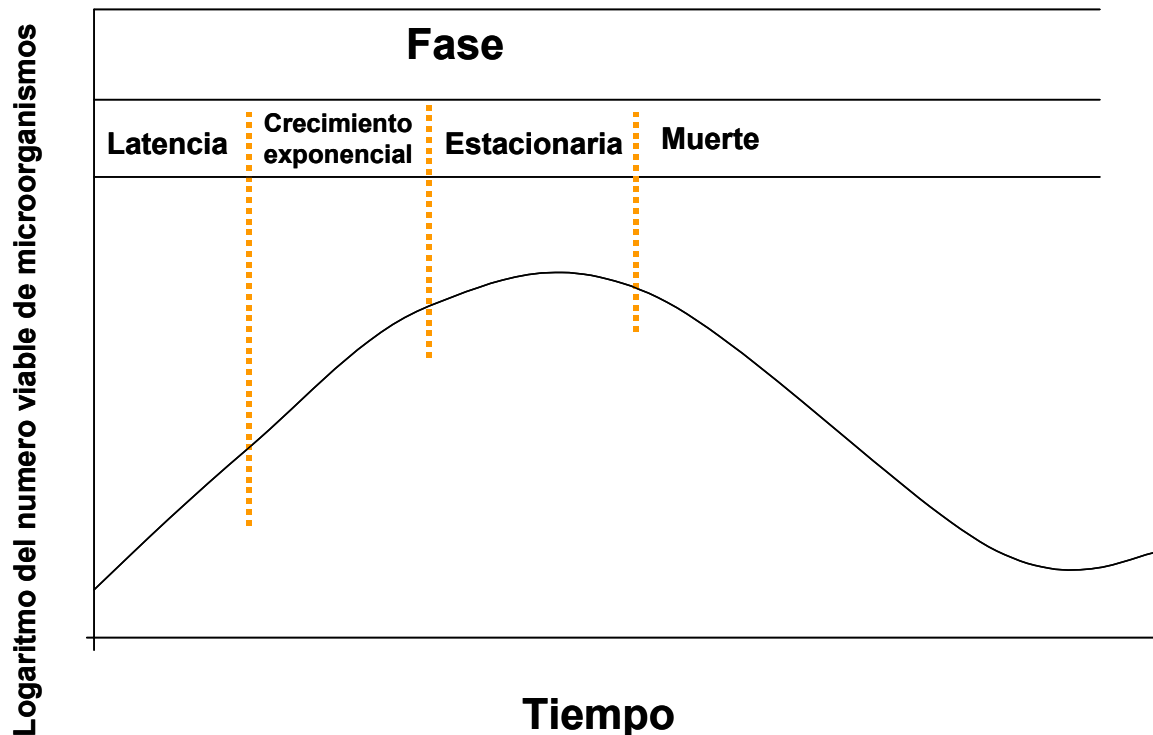


Figura 5.7. Curva característica de crecimiento bacteriano en términos del registro del número viable de organismos

- Fase de latencia. Se inicia al agregar un inóculo a un medio de cultivo, y representa el tiempo que requieren los organismos para aclimatarse a su nuevo ambiente y empezar a dividirse.
- Fase exponencial. Durante este periodo las células se dividen a cierta tasa determinada en función de su tiempo de generación y su habilidad para procesar el alimento.
- Fase estacionaria. Aquí la población permanece estacionaria. Las causas que explican este fenómeno son a) las células agotaron el sustrato o los nutrientes necesarios para su crecimiento y b) el crecimiento de células nuevas se compensa con el número de células muertas.
- Fase de muerte exponencial. Durante esta fase, la tasa de mortalidad de las bacterias excede la producción de células nuevas. La tasa de mortalidad generalmente es una función de la población inversa de la fase de crecimiento exponencial.

#### **5.5.2.- Crecimiento en términos de masa bacteriana**

El patrón de crecimiento, en términos de masa de microorganismos se presenta en la figura 5.8 y puede describirse así:

- Fase de latencia. De nuevo, las bacterias requieren de tiempo para aclimatarse a su ambiente nutricional. La fase de latencia en términos de masa bacteriana no es tan larga como su fase correspondiente en términos de números de microorganismos porque la masa empieza a incrementarse después de que tiene lugar la división celular.
- Fase de crecimiento exponencial. Existe siempre un exceso en la cantidad de alimento que rodea a los microorganismos, y la velocidad del metabolismo y crecimiento es sólo una función de la habilidad del microorganismo para procesar el sustrato.
- Fase de declinación del crecimiento. La velocidad de incremento de la masa bacteriana disminuye debido a la limitación en el suministro de alimento.
- Fase endógena. Los microorganismos son forzados a metabolizar su protoplasma sin que haya reemplazo, debido a que la concentración de alimento disponible se encuentra al mínimo. Durante esta fase puede ocurrir el fenómeno conocido como lisis, en el cual los nutrientes que quedan en las células muertas se difunden hacia el exterior para suministrar alimento a las células vivas restantes.

### 5.5.3.- Crecimiento en cultivos mixtos

La mayoría de los procesos de tratamiento biológico se componen de poblaciones mixtas, complejas e interrelacionadas, en donde cada microorganismo del sistema tiene su propia curva de crecimiento. La posición y la forma de una curva de crecimiento en el sistema, sobre una escala de tiempo, dependerá de la disponibilidad de alimento y nutrientes y de factores ambientales tales como la temperatura y el pH, y de si el sistema es aerobio o anaerobio. Aunque las bacterias son de importancia fundamental, muchos otros organismos participan en la estabilización de los desechos orgánicos. Un patrón de crecimiento de un cultivo mixto es el que se presenta en el tanque de aireación en el proceso de lodos activados, figura 5.9.

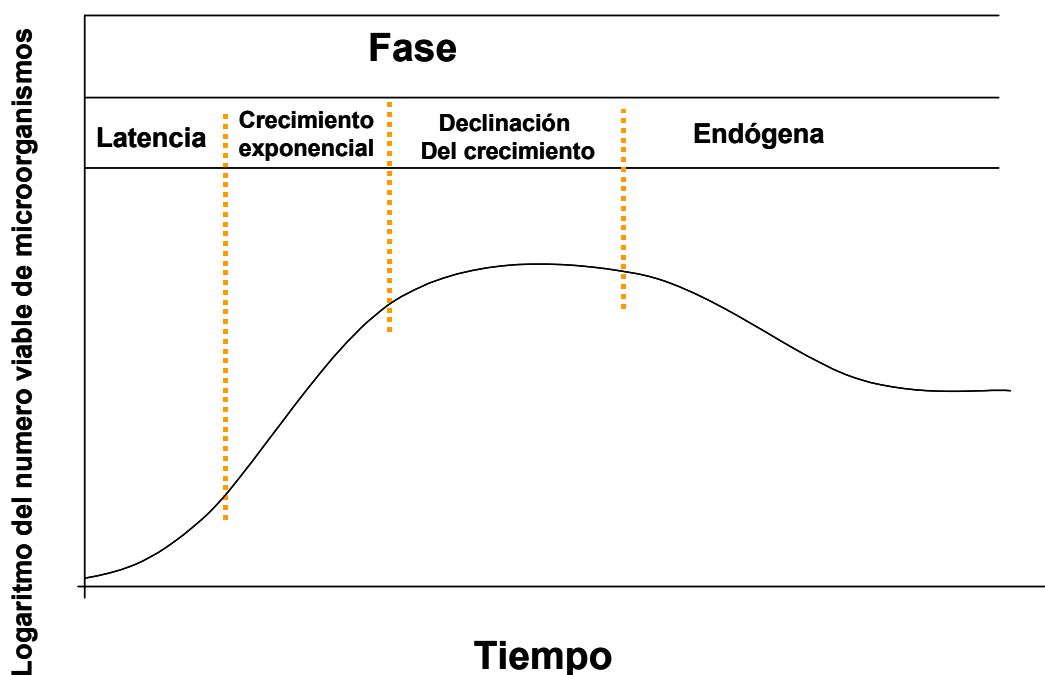


Figura 5.8. Curva característica de crecimiento bacteriano en términos del registro de la masa de los organismos

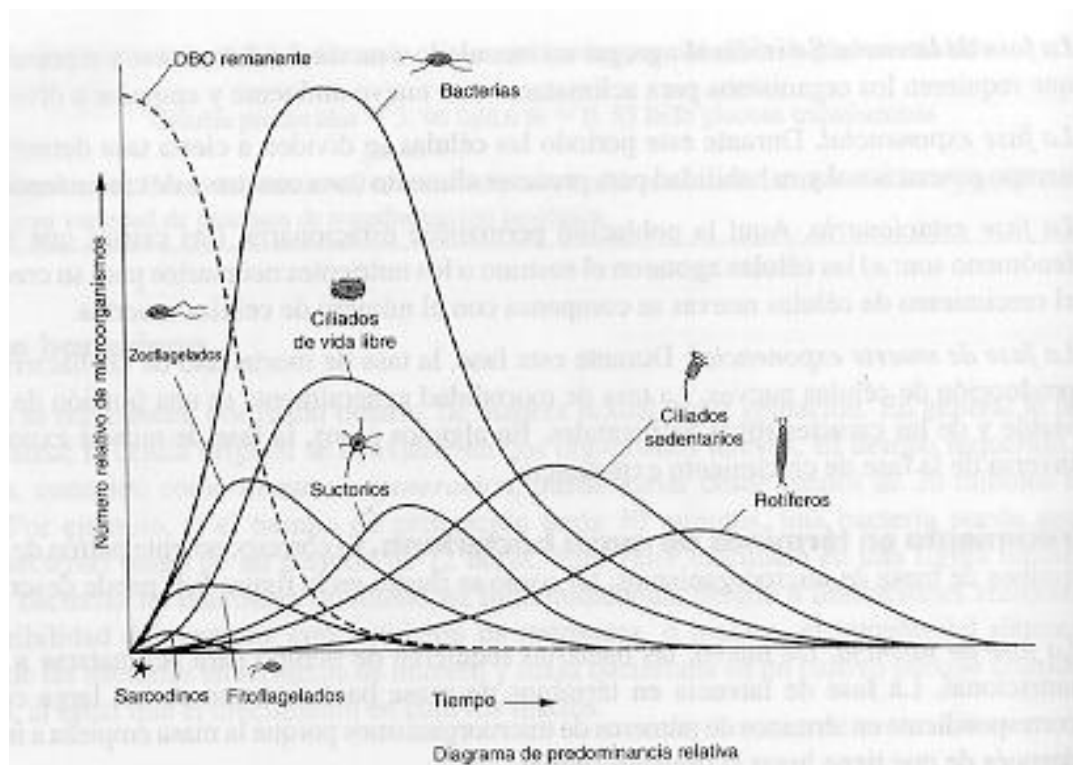


Figura 5.9 Crecimiento relativo de microorganismos durante la estabilización de desechos orgánicos en un ambiente líquido

## 5.6. Procesos aerobios de crecimiento en suspensión, lodos activados

El proceso de crecimiento en suspensión con lodos activados es uno de los sistemas más comúnmente usado para el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales.

En forma general, es un proceso aerobio de tratamiento en el cual se oxida la materia orgánica compleja presente en las aguas residuales hasta  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  y biomasa. Debe mantenerse un ambiente aerobio por medio de aireación mecánica o por difusores. La biomasa microbiana se agrega en forma de flóculos, los cuales sedimentan en el clarificador secundario.

El proceso de lodos activados es un proceso biológico donde el “lodo activado” no es más que una mezcla de microorganismos”

### 5.6.1.- Descripción del proceso

El proceso de lodos activados, desarrollado en Inglaterra en 1914 por Arden y Lockett (1914), recibió este nombre porque involucra la producción de una masa activa de microorganismos capaces de estabilizar de manera aerobia un desecho. Actualmente existen muchas versiones del proceso original, pero en lo fundamental todas ellas son similares. Las variantes más comunes son el flujo de pistón y los procesos de mezcla



completa. En el proceso de los lodos activados, las aguas residuales previamente cribadas y sedimentadas se mezclan con cantidades variables (20 a 100%) de la purga del clarificador secundario. La mezcla entra en el tanque de aireación, donde se mezclan los organismos y las aguas residuales con gran cantidad de aire. Bajo estas condiciones, los organismos oxidan una parte del desecho con producción de células microbianas nuevas utilizando la energía obtenida de la oxidación.

Luego la mezcla entra en el sedimentador secundario, donde los microorganismos flocculan y se asientan y son removidos de la corriente del efluente. Entonces, los microorganismos sedimentados, o el lodo activado, se recircula hacia el inicio del tanque de aireación para mezclarlos de nuevo con el agua residual. En este proceso se producen de continuo lodos activados nuevos, de cuyo exceso es necesario deshacerse cada día (lodos activados en exceso o lodos secundarios) junto con los lodos provenientes de la sedimentación primaria. El efluente proveniente de una planta de lodos activados adecuadamente diseñada y operada es de alta calidad; en general con concentraciones de  $\text{DBO}_5$  y SST iguales o menores a 30 mg/l.

#### **5.6.2.- Consideraciones prácticas del diseño del proceso de lodos activados**

- Criterios para carga del proceso. Los criterios para la carga del proceso que se utilizan comúnmente para los procesos de lodos activados incluyen la relación alimento-microorganismos (F/M), el tiempo de retención celular (TMRC) y la tasa volumétrica de carga.
- Relación alimento-microorganismos. La relación F/M, expresada como Kg. O libras de DQO o DBO aplicada por Kg. o libra de sólidos suspendidos del licor mezclado (SSLM) por día, representa la masa de sustrato aplicada diariamente al tanque de aireación, contra la masa de sólidos suspendidos (microorganismos) en el tanque de aireación.
- Tiempo medio de retención celular. El TRC, expresado en días, es una medida de la cantidad promedio del tiempo que los sólidos biológicos permanecen en el tanque de aireación. La concentración total de sólidos biológicos mantenida en el tanque de aireación varía normalmente entre 800 y 6000 mg/l. En general, 40 a 85% de los sólidos suspendidos totales se asumen como volátiles.
- Tasa de carga volumétrica orgánica. Las tasas de carga volumétrica orgánica, expresada en términos de Kg. o lb de DQO o DBO/ $10^3$ .d se basan en la experiencia con el proceso de lodos activados cuando se utilizan para tratar aguas residuales domésticas.
- Configuración y tamaño del reactor. La configuración del reactor depende del tipo de proceso de lodos activados que se escoja. Los reactores de flujo de pistón y de mezcla completa son los dos más comunes. A medida que se diseñan más plantas de lodos activados que lleven a cabo la remoción biológica de nutrientes, se prefiere la configuración de reactor con flujo de pistón.

Volumen basado en la relación F/M

$$V = \frac{Q(S_o)}{X(F / M)} \quad (1)$$

## 5.7. Microbiología del proceso

Las dos principales metas del sistema de lodos activados son:

- a) La oxidación de la materia orgánica biodegradable en el tanque de aireación, donde la materia orgánica soluble y coloidal se convierte en células nuevas.
- b) Floculación o sea la separación de la biomasa formada del efluente tratado.

### 5.7.1.- Composición de los flóculos de lodos activados

Los flóculos contienen células bacterianas y partículas orgánicas e inorgánicas . El tamaño de los flóculos varía de 1 micra hasta 1000 micras y más.

Las células viables en el flóculo (medidas por el contenido de ATP y la actividad enzimática de la deshidrogenasa) son del 5 al 20 % del total de las células.

#### 5.7.1.1. Bacterias

Son los constituyentes más abundantes del flóculo, existen más de 300 especies reportadas que han sido aisladas del licor mezclado. Las bacterias son las responsables de la oxidación de la materia orgánica y de la transformación de los nutrientes, producen polisacáridos y materiales poliméricos que ayudan en la floculación de la biomasa microbiana.

Los principales géneros son:

- *Zooglea*
- *Pseudomonas*
- *Flavobacterium*
- *Alcaligenes*
- *Bacillus*
- *Achromobacter*
- *Corynebacterium*
- *Comomonas*
- *Brevibacterium*
- *Acineto bacter*
- Organismos Filamentosos (*Sphaerotilus*, *Beggiatoa*)
- Bacterias autotróficas nitrificantes (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*)
- Bacterias sulfurosas fototróficas (*Rhodospirillaceae*)

Las cuentas totales en placa realizadas al licor mezclado están en el orden de  $10^8$  UFC/mg de lodo.

#### 5.7.1.2. Hongos

En general, las condiciones que prevalecen en un sistema de lodos activados, no favorecen el crecimiento de hongos, sin embargo, en algunas ocasiones se observan algunos filamentos fungales. Este crecimiento fungal puede favorecerse en condiciones de pH bajo, toxicidad y efluentes con deficiencia de nitrógeno. Algunos géneros encontrados son los siguientes:

- *Geotrichium*
- *Penicillium*
- *Cephalosporium*
- *Cladosporium*
- *Alternaria*

#### 5.7.1.3. Protozoarios

Los protozoarios son organismos pertenecientes al reino Protista y que son predadores de bacterias. Los principales grupos son los siguientes:

##### a) Ciliados

Su medio de locomoción son los cilios y por el movimiento de éstos se hacen llegar el alimento. Se clasifican en libres, trepadores y anclados. Los principales géneros son:

Ciliados libres: *Chilodonella*  
*Colpidium*  
*Blepharisma*  
*Euplotes*  
*Paramecium*  
*Leonotus*  
*Trachelophylum*  
*Spirostomum*

Ciliados trepadores : *Aspidisca*  
*Euplotes*

Ciliados anclados : *Vorticella*  
*Corchesium*  
*Opercularia*  
*Epystilis*

#### b) Flagelados

Su medio de locomoción es mediante uno o varios flagelos. Algunos ejemplos de protozoarios flagelados son: *Bodo*, *Pleuromonas* y *Monosiga*

#### c) Rhizopoda o Amiboidea

Su movimiento es por medio de pseudópodos o falsos pies, ejemplos: *Amoeba* y *Thecamoeba*

#### 5.7.1.4.- Rotíferos

Los rotíferos son organismos multicelulares. Su tamaño fluctúa entre las 100 y 500 micras. Los rotíferos presentes en lodos activados pertenecen a dos órdenes principales:

- Bdelloidea (*Philodina* y *Habrotocha*)
- Monogononta (*Lecane* y *Notomata*)

El papel de los rotíferos en los lodos activados es: remover las bacterias suspendidas no floculadas y contribuir con sus desechos a la formación del flóculo,

#### 5.8. Remoción de patógenos en lodos activados

Este proceso no remueve significativamente a los patógenos.

#### 5.9. Problemas operacionales

Dos de los problemas más serios en el proceso de lodos activados son:

- a) Un fenómeno conocido como abultamiento, en el cual el lodo del tanque de aireación no sedimenta
- b) El desarrollo de espuma biológica en la superficie o espumamiento

En donde se presenta abultamiento, una parte de los sólidos suspendidos del aereador se descargan en el efluente. El abultamiento puede ser causado por:

- a) El crecimiento de organismos filamentosos (fundamentalmente *Sphaerotilus*) que no sedimentan (Foto 5.1 y 5.2)
- b) El crecimiento de microorganismos que incorporan grandes volúmenes de agua en su estructura celular, haciendo que su densidad se aproxime a la del agua, evitando así que sedimenten.

Además de éstos, otros problemas son la descarga de sólidos biológicos en el efluente y el gran volumen de lodos que debe ser manejado. Es común también encontrar formación de

espuma con el proceso de lodos activados, la cual es causada, en su mayoría, por el crecimiento excesivo de organismos *Nocardia*.

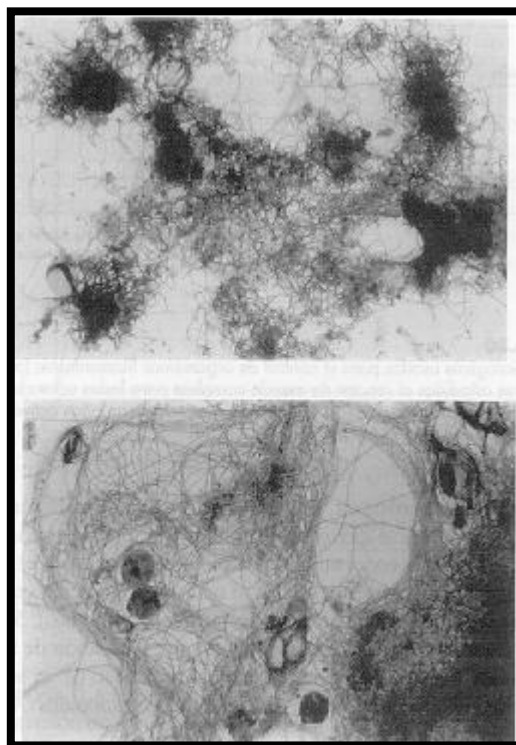


Foto 5.1 Ejemplos característicos de organismos filamentosos que pueden desarrollarse en el proceso de lodos activados y afectar la capacidad de sedimentación de los sólidos suspendidos del licor mezclado



Foto 5.2 Formación de espuma debido al crecimiento de *Nocardia* sobre la superficie del tanque de aireación

### **5.10. Control de organismos filamentosos**

El control de organismos filamentosos se puede llevar a cabo de varias formas dentro de las que se incluyen:

- a. adición de cloro o peróxido de hidrógeno al lodo activado de retorno
- b. alteración de la concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aireación
- c. alteración de los puntos en los que se añaden desechos al tanque de aireación con el fin de modificar la relación F/M
- d. adición de nutrientes principales (p.ej., nitrógeno y fósforo)
- e. adición de metales de traza, nutrientes y factores de crecimiento y, más recientemente
- f. adición de talco inorgánico

#### **5.10.1. Control de Nocardia**

La Nocardia, una bacteria hidrofóbica que crece en forma de filamento, puede conducir a la formación de una espuma hidrofóbica en la superficie de las unidades de tratamiento biológico (el tanque de aireación y el tanque de sedimentación secundaria). Cuando los organismos crecen en número suficiente, tiende a atrapar burbujas de aire en cantidad suficiente para que floten en la superficie y se acumulen como espuma. El problema es continuo cuando se recircula internamente la espuma de Nocardia. Dentro de las medidas que pueden tomarse para controlar la Nocardia están:

- Evitar el contacto de la espuma y la nata que va hacia las etapas iniciales del proceso a otros puntos intermedios
- usar una cantidad pequeña de polímero para flocular el organismo
- usar en la superficie un aerosol con cloro diluido

## Autoevaluación

Instrucciones: Lea cuidadosamente cada una de las preguntas y responda en forma breve y precisa.

1.- ¿Mencione el objetivo del tratamiento biológico de las aguas residuales?

---

---

---

---

2.- Mencione los cuatro factores que son importantes en el diseño adecuado de un proceso biológico para el tratamiento de las aguas residuales?

---

---

---

---

3.- ¿Qué es un sistema de tratamiento de tipo aerobio?

---

---

---

---

4.- ¿Qué es un sistema de tratamiento de tipo anaerobio?

---

---

---

---

5.- ¿Qué microorganismos son importantes en el proceso de lodos activados?

---

---

---

---

5.11	<b>.PRACTICA DE LABORATORIO: MICROBIOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS</b>
------	---

Dra. Gabriela Moeller  
MC. Ana Cecilia Tomasini Ortíz

#### **Objetivo particular:**

De una muestra de lodos activados, el participante identificará diferentes microorganismos

### **Introducción**

El proceso de lodos activados es quizá el proceso biológico de más amplio uso para el tratamiento de aguas residuales, orgánicas e industriales. El objetivo del proceso de tratamiento por lodos activados es el de reducir la demanda de oxígeno bioquímico (DBO) y los sólidos suspendidos (SS) de las aguas residuales. Las bacterias de los lodos convierten la materia orgánica en materia más estable y en productos inorgánicos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) y protoplasma celular en la presencia de oxígeno. Otras conversiones biológicas que se dan lugar en el tanque de aeración son la remoción de nitrógeno y fósforo.

La remoción de nitrógeno empieza con la conversión de amonio a nitritos y nitratos en la presencia de oxígeno. Si entonces el líquido que contiene los nitritos y nitratos es colocado bajo condiciones anaerobias, éstos pueden ser convertidos en nitrógeno gas. El fósforo es incorporado en el protoplasma de las células nuevas que son generadas cuando las bacterias se multiplican oxidando la materia orgánica.

El proceso básico consiste en que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta, en forma de suspensión floculenta en un sistema airado y agitado. La materia en suspensión y la coloidal, se eliminan rápidamente de las aguas residuales por adsorción y aglomeración en los flóculos microbianos. Esta materia y los nutrientes disueltos se descomponen lentamente por metabolismo microbiano, proceso conocido como **estabilización**. En ésta parte el material nutriente se oxida a sustancias simples como el anhídrido carbónico (**mineralización**), y parte se convierte en materia celular microbiana o biomasa (**proceso metabólico de asimilación**). Parte de la masa microbiana se descompone a su vez mediante un proceso llamado **respiración endógena**.

El proceso oxidativo suministra la energía necesaria para la operación de los procesos de adsorción y asimilación. Una vez que se alcanza el grado de tratamiento que se desea, la masa microbiana floculenta conocida como **lodo activado**, se separa del agua residual por asentamiento, por lo general, en recipientes separados, especialmente diseñados para ello. La etapa de separación se conoce como **clarificación** o **sedimentación**. El sobrenadante de la etapa de separación es el agua residual tratada y debe estar virtualmente libre de



sólidos. La mayor parte del lodo asentado en la etapa de separación se regresa a la etapa de aeración para mantener la concentración de los microorganismos en el tanque de aeración al nivel necesario para un tratamiento efectivo y para que actúe como un inóculo microbiano.

### 5.11.1 Microbiología

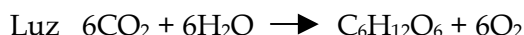
Una gran diversidad y cantidad de microorganismos se encuentran en los lodos activados. Las especies que se encuentran en ellos pueden o no ser diferentes de aquellas especies que se ven en el agua residual cruda. Aunque, eventualmente, pueden ser extremadamente diferentes en la densidad de población.

#### 5.11.1.1 Metabolismo.

Generalmente todos los microorganismos requieren un ambiente húmedo para su crecimiento, pero aparte de esta característica común, existe una diversidad de microorganismos cuyas necesidades metabólicas son diferentes. Para garantizar el crecimiento adecuado de un organismo, éste debe tener una fuente de carbono y de energía que obtiene a partir de los nutrientes. De esta forma, elementos como nitrógeno, fósforo y elementos traza como sulfuro, potasio, calcio y magnesio deben estar disponibles en el medio. Las dos fuentes de carbono para la síntesis de tejido celular son dióxido de carbono y el carbono presente en la materia orgánica. Si un organismo toma el carbono a partir del dióxido de carbono, es llamado **autótrofo**, si usa carbono orgánico **heterótrofo**.

Los organismos autótrofos son capaces de sintetizar sus requerimientos orgánicos a partir de la materia inorgánica y pueden crecer independientemente de las sustancias orgánicas externas. Emplean dos métodos para alcanzar este fin:

- a) **Fotosíntesis:** muchas plantas utilizan el carbono inorgánico y la radiación ultravioleta para producir materia orgánica y oxígeno.



- b) **Quimiosíntesis:** se utiliza la energía química de los compuestos inorgánicos para suministrar la energía para síntesis de sustancias orgánicas.



Por su parte, los organismos heterótrofos requieren una fuente externa de materia orgánica; los tres tipos principales son:

- a) Los **saprófitos**, que obtienen la materia orgánica soluble directamente del ambiente circundante o por la digestión extracelular de compuestos insolubles. Sus requerimientos de alimento pueden fluctuar desde un simple compuesto orgánico

de carbono hasta varios compuestos complejos de carbono y nitrógeno, junto con factores adicionales de crecimiento.

- b) Los **fagótrofos**, algunas veces llamados formas holozoicas, utilizan partículas orgánicas sólidas.
- c) Los **parátrofos** obtienen la materia orgánica a partir de los tejidos de otros organismos vivos, por lo que se denominan parásitos.

La tabla 5.1 muestra la clasificación de los microorganismos con base en sus requerimientos de carbono y energía.

**Tabla 5.1. Clasificación general de los microorganismos con base en sus fuentes de carbono y energía.**

CLASIFICACIÓN	FUENTE DE ENERGÍA	FUENTE DE CARBONO	ORGANISMOS REPRESENTATIVOS
Fotoautótrofos	Luz	CO <sub>2</sub>	Algas Bacterias fotosintéticas
Fotoheterótrofos	Luz	Materia orgánica	Bacterias fotosintéticas
Quimioautótrofos	Materia inorgánica	CO <sub>2</sub>	Bacterias
Quimioheterótrofos	Materia orgánica	Materia orgánica	Bacterias Hongos Protozoarios

En términos de requerimiento de temperatura, hay tres tipos principales de organismos:

- Psicrófilos, que viven a una temperatura cercana a 0°C
- Mesófilos, los más comunes, viven a temperaturas comprendidas entre 15 y 40 °C
- Termófilos, que viven a temperaturas de 50 a 70 °C

En la práctica estos límites de temperatura se rebasan y se encuentran organismos que crecen activamente a cualquier temperatura entre los 0 y 70 °C.

#### 5.11.1.2 Microorganismos.

Por definición, los microorganismos son aquellos organismos muy pequeños que no se pueden ver a simple vista, se requiere de diferentes aumentos proporcionados por el microscopio, ya sea de disección, óptico y/o electrónico, quedando comprendidos en esta categoría un gran número de organismos.

Los **procariotes** son estructuras celulares simples y pequeñas (0 – 5  $\mu\text{m}$ ) con núcleo primitivo de un solo cromosoma circular, sin membrana nuclear. Su reproducción normalmente es por fisión binaria. Se incluyen en este grupo las bacterias, los actinomicetos y las cianobacterias (antes algas verde-azules).

Los **eucariotes** son células más grandes (0 – 20  $\mu\text{m}$ ) con una estructura más compleja y un núcleo verdadero que contiene varios cromosomas con membrana nuclear. Su reproducción puede ser asexual o sexual y tienen ciclos de vida muy complejos. En esta clase de microorganismos se incluyen los hongos, la mayoría de las algas y los protozoarios.

Hay grupos adicionales de microorganismos: los virus, que no pueden ser clasificados en ninguna de las dos clases anteriores y, por lo tanto, se consideran por separado.

- ❖ **Bacterias.** Las bacterias son organismos protistas unicelulares que pueden vivir como autótrofos o como heterótrofos y aprovechar el alimento soluble. Su reproducción es por fisión binaria y el tiempo de generación en algunas especies puede tomar sólo 20 minutos en condiciones favorables.

Algunas bacterias forman esporas resistentes que pueden permanecer latentes por periodos prolongados en condiciones ambientales adversas pero que pueden reactivarse al retornar las condiciones favorables. La mayoría de las bacterias se desarrollan en condiciones de pH neutro, aunque algunas especies pueden existir en ambientes altamente ácidos. Las bacterias desempeñan una función vital en los procesos naturales de estabilización y se utilizan ampliamente en el tratamiento de aguas residuales orgánicas. Se conocen alrededor de 1,500 especies que se clasifican en relación con criterios tales como: tamaño, forma y agrupamiento de células; características de las colonias, reacción a la tinción; requerimientos de crecimiento, movilidad y reacciones químicas específicas. Se encuentran formas aerobias, anaerobias y facultativas.

Los actinomicetes son un grupo grande de bacterias que crecen como células elongadas o filamentosas y muestran algún grado de ramificación durante su crecimiento. Ellos crecen más lentamente que otros géneros de bacterias encontradas.

- ❖ **Hongos.** Los hongos son protistas eucariontes aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y heterótrofos. Algunos hongos son saprofitos, obtienen su alimento de la materia orgánica muerta. Junto con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera. Son capaces de degradar compuestos orgánicos altamente complejos. Ecológicamente, los hongos presentan dos ventajas sobre las bacterias: crecen en áreas reducidas y a bajos valores de pH. Aprovechan casi las mismas fuentes de alimento que las bacterias en las reacciones quimiosintéticas pero, como su contenido de proteína es inferior, sus requerimientos de nitrógeno son menores formando menos materia celular

Los hongos tienen gran importancia en la descomposición de la materia orgánica. Existen mas de 100,000 especies de hongos y su estructura es muy compleja. Tiene cuatro o cinco fases de vida distintas con reproducción por esporas asexuales o semillas. Los hongos existen en las plantas de tratamiento biológico cuando hay altas relaciones de C:N.

- ❖ **Algas.** Las algas son microorganismos eucariotes, autotróficos, fotosintéticos, contienen clorofila y actúan como las principales productoras de materia orgánica en un ambiente acuático.

Los compuestos inorgánicos tales como el bióxido de carbono, el amoníaco, el nitrato y el fosfato proporcionan la fuente de alimento para sintetizar nuevas células de algas y para producir oxígeno.

En ausencia de luz solar, las algas viven en forma quimiosintética y consumen oxígeno, de modo que el agua que tiene algas hay una variación diurna de los niveles de oxígeno disuelto, teniendo lugar una sobresaturación de oxígeno durante el día y una disminución significativa durante la noche. En el agua dulce crece un gran número de algas, que se clasifican en: verdes, verde-azules, cafés o amarillas, lo que depende de las proporciones de pigmentos particulares. Existen como células solas o coloniales que pueden ser inmóviles o móviles, si tienen flagelos, o bien como formas filamentosas multicelulares.

- ❖ **Protozoarios.** Son microorganismos eucariotes unicelulares de 10 a 100 micras de longitud que se reproducen por fisión binaria. Algunos se encuentran libres en la naturaleza, mientras que otros son parásitos, viviendo dentro o fuera de un organismo. Los huéspedes varían de organismos primitivos como las algas a organismos complejos, incluyendo al ser humano. La mayoría son heterótrofos aerobios o facultativos. Su fuente principal de alimento son las bacterias que además de alimento les suministran otros factores necesarios para su crecimiento que ellos mismos no pueden sintetizar. Los protozoarios juegan un papel importante en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales.
- ❖ **Formas superiores de vida.** Además de microorganismos, hay en el agua organismos más complejos. Entre éstos se incluyen los rotíferos y los crustáceos. Los gusanos y las larvas de insectos viven en los depósitos del fondo y en algunos procesos de tratamiento biológico; son capaces de metabolizar substancias orgánicas complejas que otros organismos no degradan rápidamente.
- ❖ **Virus.** Los virus son la forma más simple de organismo. No son células y son parásitos obligados ya que no tienen la habilidad para sintetizar nuevos compuestos. Su tamaño varía entre 0.01 a 0.3 micras y consisten de material genético -ácido desoxirribonucleico (ADN) o ribonucleico (ARN)- dentro de una cubierta proteica.

Por su incapacidad para crecer fuera de un huésped adecuado, los virus se encuentran en la frontera entre la materia viviente y las sustancias inanimadas.

### **5.11.2 Método de estudio**

#### **5.11.2.1 Toma de muestra.**

La muestra para la observación de los microorganismos se puede tomar del licor mezclado (líquido en el tanque de aireación del sistema de lodos activado) o del efluente del tanque de aeración o del canal del licor mezclado entre el tanque de aeración y el tanque clarificador. Las muestras del licor mezclado pueden ser tomadas debajo de la superficie, excluyendo espuma u otro material flotante. Si el lodo activado está espumoso, tomar parte de la espuma de la superficie del efluente del tanque de aeración, de la superficie del canal del licor mezclado, o de la superficie del tanque clarificador. También se puede tomar una muestra de lodos activados del retorno de lodos.

La frecuencia de muestreo y examen puede ser dictada por las circunstancias de la planta y por la localización de las muestras examinadas. En períodos críticos el examen diario puede ser justificado. El examen rutinario puede ser de una a dos veces por semana.

#### **5.11.2.2 Microscopio.**

El microscopio es una importante herramienta para la observación de los lodos activados para la observación e identificación de los microorganismos existentes en el. Tal examen requiere de un microscopio de luz, de preferencia con contraste de fases y objetivos de 10x, 40x, 100x y 900-1000x. Una platina mecánica móvil es esencial para controlar el barrido de la preparación de lodo activado. Una cabeza binocular o triocular, si se desea tomar fotografías. Una cámara fotográfica de 35 mm, rollo blanco y negro, o color de ASA 100.

Un buen mantenimiento y limpieza del equipo permitirá una buena observación y, si es necesario, buenas fotografías dando así un examen positivo de los lodos activados. La observación al microscopio puede ser con muestras frescas y/o teñidas, esto último ayuda hacer una identificación más fina de los microorganismos presentes en los lodos activados.

#### **5.11.2.3 Tinciones.**

Dos procedimientos primarios son usados en el examen de lodos activados, la tinción de Gram y la tinción de Neisser. Otros procedimientos más especializados pueden ser usados, como la prueba "S" para oxidación de sulfuros, que detecta los gránulos de sulfuro intracelulares; la tinción reversa con tinta de India, que detecta la presencia de largas cadenas de polímeros extracelulares; la tinción PBH detecta la presencia de productos almacenados intracelulares y la tinción con cristal violeta que permite el examen de vainas. Estos procedimientos se encuentran descritos en el anexo I.

#### 5.11.2.4 Preparaciones.

El recipiente que contiene la muestra tomada se agita levemente y con una pipeta Pasteur tomar un poco de ella, colocar en un cubreobjeto (23 x 77 mm) una o dos gotas de la muestra y cubrir con cuidado, evitando hacer burbujas, el cubre objeto (22x22mm, No 1). Si se encuentra muy densa la muestra, se puede colocar una gota de muestra y una de agua destilada para facilitar la observación. Esto se hace en caso de examinar una muestra fresca, si se requiere o si se elige la tinción, seguir las instrucciones de tinción. Al tener lista la preparación o placa, colocarla en la platina del microscopio.

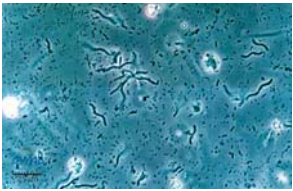

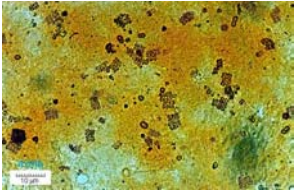


Empezar la observación desde uno de los extremos de cubreobjetos y hacer un barrido horizontal o vertical, hasta haber cubierto toda la muestra.

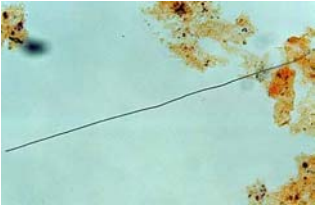
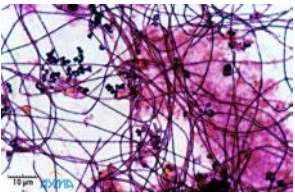
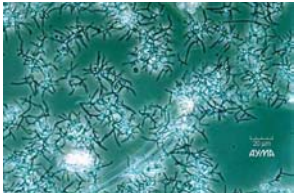
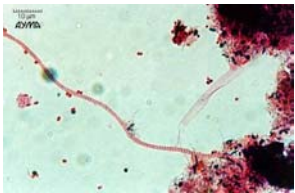
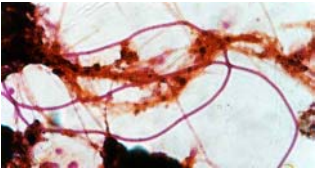
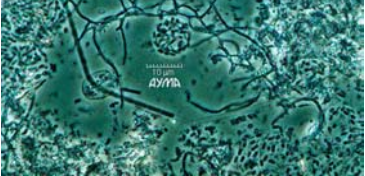
#### 5.11.2.5 Microorganismos.

Los microorganismos que se pueden encontrar en el licor mezclado de un sistema de lodos activados son los siguientes y se describen a continuación:




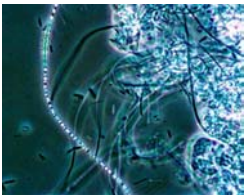
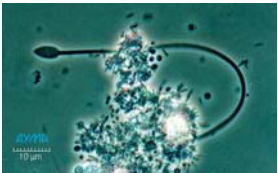
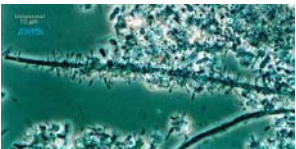
- a) Bacterias bioindicadoras
- b) Protozoarios
  - \* Amoeba
  - \* Suctoria
  - \* Ciliados libres
  - \* Ciliados fijos
  - \* Ciliados reptantes
  - \* Rotíferos
- c) Microalgas
  - \* Cianofíceas/Cyanophyta
  - \* Clorofíceas/Chlorophyta
  - \* Criptofíceas/Cryptophyta
  - \* Crisofíceas/Cryptophyta
  - \* Diatomeas/Diatoms
  - \* Dinofíceas/Dinophyta
  - \* Euglenofíceas/Euglenophyta
  - \* Xantofíceas/Xantophyta

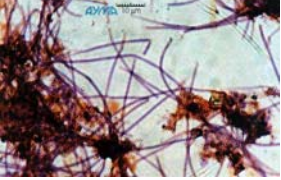
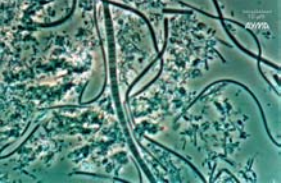
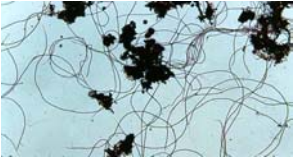
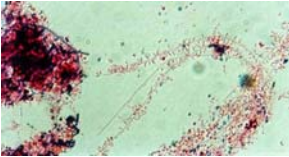

a) Bacterias bioindicadoras.

	<p><i>Gallionella sp.</i> Colonia bacteriana constituida por células reniformes, que en el extremo incurvado segregan un hidróxido de hierro coloidal que da lugar a pedúnculos muy delicados, fácilmente quebradizos, retorcidos a modo de trenza. Indicador de hierro disuelto y reducido en el medio.</p>
	<p><i>Spirillum sp.</i> Bacterias móviles helicoidales con forma de bacilos largos y espiralados. Habitan medios con baja concentración de oxígeno disuelto.</p>
	<p><i>Spirocheta sp.</i> Bacteria en forma de filamento enrollado en hélice sobre si mismo. Habita medios con materia orgánica disuelta.</p>
	<p><i>Thiopedia sp.</i> Colonia bacteriana constituida por células de tipo cocal, que forma agregados aplanados, desde pocas células a miles de ellas. Las masas celulares extensas son de color rosa claro, como consecuencia de la clorofila bacteriana y carotenoides. Se desarrolla perfectamente en presencia de ácido sulfhídrico.</p>
	<p><i>Zooglea ramígera.</i> Se denomina así, a la agrupación de distintas especies de bacterias, en forma de dedo, de arbolito o de astas. Las bacterias son formas bacilares, insertas en mucílago gelatinoso, traslúcido, y participan en los procesos de floculación.</p>
	<p>Detalle de una colonia de <i>Zooglea</i> en forma de dedo.</p>

	<p><i>Beggiatoa</i> sp. Bacteria filamentosa constituida por filamentos rectos, activamente móviles por deslizamiento y a partir de pequeñas sacudidas. Habitualmente presenta acumulaciones de azufre, en forma de gránulos esféricos. No disponen de vaina, ni crecimiento epífito asociado. Esta bacteria es Gram y Neisser negativo.</p>
	<p><i>Microthrix parvicella</i>. <b>Bacteria constituida por filamentos largos y finos, que crecen atravesando la estructura de los flóculos. No presentan ramificaciones ni vaina. Desarrollan respuesta positiva a la tinción de Gram y gránulos Neisser positivos.</b></p>
	<p><i>Nocardia</i> sp. Especie de bacteria filamentosa perteneciente al grupo de las microbacterias, constituida por filamentos cortos, irregularmente formados y muy ramificados. No presentan vaina exterior. Filamento. Gram positivo y Neisser negativos.</p>
	<p><i>Nostocoida limicola</i> II. Bacteria filamentosa constituida por filamentos curvados e irregularmente enrollados. Se observan septos celulares claros y células ovales. Presentan reacción variable ente las tinciones de Gram y Neisser.</p>
	<p><i>Nostocoida limicola</i> III. <b>Filamentosa muy similar a la anterior, con diámetro mayor y respuesta siempre positiva a las tinciones de Gram y Neisser. La coloración de la tinción de Neisser es característica de este filamento.</b></p>
	<p><i>Sphaerotillus natans</i>. Bacteria filamentosa relativamente larga, delgada, recta o débilmente curvada, compuesta de células redondeadas, y con una fina vaina que recubre el filamento. No presenta ramificaciones y cuando existen son falsas, sin citoplasma contiguo. Son Gram y Neisser negativos.</p>

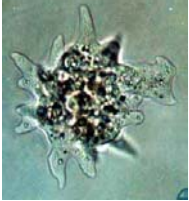





	<p><i>Streptococcus sp.</i> Bacteria filamentosas cortas, compuestas por una cadena de células redondeadas. Se suele encontrar libre en la solución del aglomerado, alrededor de los flóculos.</p>
	<p>Cadena de <i>Streptococcus sp.</i>, presentando quiebros característicos en este filamento.</p>
	<p><i>Thiothrix I.</i> Filamento recto o ligeramente curvado que se proyecta desde el flóculo. Presenta gránulos de azufre con forma esférica “in situ”. Las células son rectangulares, con un diámetro del tricoma entre 1.4 y 2.5 micras.</p>
	<p><i>Thiothrix II.</i> De características similares a la anterior, se diferencian en el diámetro del tricoma que en este caso varía entre las 0.8 y 1.4 micras.</p>
	<p>Una característica particular de <i>Thiothrix II</i> es su capacidad para desarrollar gonidios apicales.</p>
	<p><i>Tipo 0041.</i> Filamento recto o ligeramente curvado de grandes dimensiones. Puede presentar abundante crecimiento epifito que dificulta la observación de sus células con forma rectangular o cuadrada.</p>




	<p><b>Tipo 0092.</b> Presenta tricomas cortos, insertos en los flóculos, que normalmente no se observan en vivo. Desarrollan tinción de Neisser con coloración característica.</p>
	<p><b>Tipo 021N.</b> Tricomas rectos, suavemente curvados o en madejas. La forma de las células va de ovoide a rectangular o en forma de barril. La morfología celular puede ser variable en el mismo filamento.</p>
	<p><b>Tipo 0914.</b> Bacteria filamentosa constituida por filamentos rectos o curvados e inmóviles. Los filamentos no presentan vaina ni ramificaciones. Las células son cuadradas o rectangulares y no presentan constricciones.</p>
	<p><b>Tipo 1701.</b> Bacteria filamentosa constituida por individuos de longitud variable, inmóviles y a veces ligeramente curvados. Presentan un abundante crecimiento epifito que dificulta la observación de las células. Las células son bacilares y los filamentos Gram y Neisser negativos.</p>
	<p><b>Tipo 1863.</b> Filamento formado por células cocobacilares unidas entre sí, en forma de tricoma en forma de rosario. Usualmente se encuentran libres en el licor mezclado y son Gram negativas, con gránulos Neisser positivos.</p>

**b) Protozoarios.**


**Amoeba**

	<p><i>Ameboide desnudo.</i> Individuo de forma indefinida, sin caparazón o teca, cuya emisión de pseudópodos es variable en el cuerpo. Se alimentan de bacterias y materia orgánica del medio.</p>
	<p><i>Arcella hemisphaérica.</i> Amiba con teca circular que rodea la célula. Presenta un agujero ventral, por el que el individuo emite los pseudópodos. Se desarrolla masivamente en medios donde se producen procesos de nitrificación.</p>
	<p>Vista interior mostrando un detalle de agujero ventral en la teca de <i>Arcella</i>.</p>
	<p><i>Euglypha alveolata.</i> Amiba con teca abombada. Esta teca presenta un agujero ventral por el que se emiten los pseudópodos.</p>

## Suctoria



	<p><i>Acineta tuberosa</i>. Esta especie agrupa individuos de forma cónica cuya célula se encuentra rodeada por una lórica. Los tentáculos se agrupan en fascículos, situados a ambos lados del cuerpo.</p>
	<p><i>Periacineta sp.</i> Este género agrupa individuos parecidos a <i>Acineta</i>. El pedúnculo es más corto y la lórica se encuentra separada de la célula, desarrollando pliegues transversales.</p>
	<p><i>Podophrya fixa</i>. Especie constituida por individuos de forma esférica, que desarrollan un pedúnculo mediante el cual se fijan a un sustrato. La célula desarrolla tentáculos repartidos por toda su superficie. Habitan aguas con presencia de materia orgánica.</p>

## Ciliados libres

	<p><i>Chilodonella sp.</i> Protozoo ciliado, incluido en el grupo de los <i>Gymnostómidos</i>, que se alimenta de bacterias y se desarrolla en medios con cierta carga de materia orgánica.</p>
---	---

	<p><i>Coleps hirtus</i>. Protozoo ciliado de forma característica, posee placas de carbonato de calcio co estructura típica de la especie. Habitan medios con sustancias en descomposición.</p>
	<p><i>Holophrya so</i>. Ciliado que presenta una forma ovada, casi esférica. Película celular con campos hexagonales, de cada campo sale un cilio.</p>
	<p><i>Litonotus sp</i>. Protozoo ciliado que habita en reactores de lodos activados y aguas eutróficas. Especie depredadora que se alimenta de pequeños flagelados y ciliados.</p>
	<p><i>Litonotus fasciola</i>. Especie característica por su esbeltez, presentando un cuello largo. Habita aguas con menor grado de contaminación orgánica que el resto de las especies del género <i>Litonotus</i>.</p>
	<p><i>Paradileptus sp</i>. Género <i>Gymnostómido</i> que agrupa individuos característicos por su célula redondeada, desarrollando una trompa móvil en cuya base se encuentra la boca.</p>
	<p><i>Paramecium caudatum</i>. Protozoo ciliado, incluido en el grupo de los <i>Hymenostómidos</i>, con forma muy característica. Se alimenta de bacterias y habita en aguas con elevada carga nutritiva,</p>






	<p><i>Prorodon teres</i>. Protozoo ciliado del grupo <i>Gymnostómido</i> que se alimenta de bacterias y pequeñas algas. Esta especie tolera altos rangos de salinidad.</p>
	<p><i>Spirostomum sp.</i> Protozoo ciliado perteneciente al grupo de los <i>Spirotrichidos</i>, con forma y estructura celular muy particular. Muchas de estas especies habitan aguas intensamente contaminadas.</p>
	<p><i>Tetrahymena sp.</i> Protozoo <i>Hymenostómido</i>, de pequeño tamaño, con célula periforme característica. Habitan aguas con cierta contaminación orgánica.</p>
	<p><i>Trachellophylum sp.</i> Protozoo <i>Gymnostómido</i> con células en forma de botella, boca apical y penachos de cilios largos alrededor. Habitan aguas con contaminación orgánica.</p>

## Ciliados fijos.



	<p><i>Carchesium sp.</i> Protozooario colonial, que se fija mediante un pedúnculo contráctil. Los mionemas son discontinuos, y cada ramificación con sus individuos se contrae de forma independiente.</p>
	<p><i>Epistylis puplicatilis.</i> Protozooario colonial, fijo a sustratos mediante pedúnculo no contráctil. Esta especie forma amplias colonias, con células grandes. Son habituales en los sistemas de lodos activados con un buen funcionamiento.</p>
	<p><i>Opercularia sp.</i> Protozooario ciliado peritrico, colonial, fijo a sustratos mediante pedúnculo no contráctil. Esta especie se desarrolla en medios con elevada carga de materia orgánica y baja concentración de oxígeno disuelto, así como en presencia de vertidos industriales.</p>
	<p><i>Telotrocho.</i> Fase de dispersión de los ciliados fijos peritricos. Son células móviles con una corona de cilios en la parte posterior.</p>

	<p><i>Vorticella alpestris</i>, Célula solitaria, pequeña, con diámetro del labio peristomal similar a la máxima anchura del cuerpo. Macronúcleo en forma de J y vacuola contráctil encima del centro de la célula.</p>
	<p><i>Vorticella banatica</i>. Protozoario ciliado peritrico, solitario, con labio y disco peristomial fuertemente convexo. Habitan sistemas de lodos activados estabilizados.</p>
	<p><i>Vorticella convallaria</i>. Protozoario solitario, fijo al sustrato mediante pedúnculo contráctil. La célula tiene forma de campana invertida. Habita medios con cierta cantidad de materia orgánica y se desarrolla en sistemas de lodos activados cuando su funcionamiento es estable.</p>
	<p><i>Vorticella gracillis</i>. La célula solitaria se inclina de forma característica sobre el pedúnculo. El disco peristomial es plano y se eleva oblicuamente.</p>
	<p><i>Vorticella microstoma</i>. Protozoario ciliado peritrico, solitario, fijo a sustratos mediante un pedúnculo contráctil. Habita aguas intensamente contaminadas en materia orgánica y fases transitorias de la estabilización de los sistemas de lodos activados.</p>



	<p><i>Vorticella muralls</i>. Con estructura y dimensiones celulares características de la especie. Se alimenta de las bacterias presentes en el medio.</p>
	<p><i>Vorticella striata</i>. Vorticela de pequeño tamaño, con una película celular estriada cuya Inter.-estriás son cóncavas.</p>
	<p><i>Zoothamnium sp.</i> Protozooario ciliado colonial, fijo mediante un pedúnculo contráctil, con mionema continuo, donde todas las ramificaciones del tallo con sus individuos se contraen al mismo tiempo.</p>

### Ciliados reptantes.

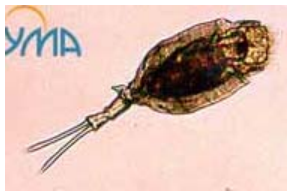
	<p><i>Aspidisca sp.</i> Protozooario ciliado, hipotrico que habita reactores biológicos de baja carga.</p>
	<p><i>Euplotes sp.</i> Protozooario ciliado reptante, incluido en el grupo de los hipotricos. Presenta un número de cirros y estructura celular características del género. Se alimenta de bacterias floculantes y es habitual en los sistemas de lodos activados.</p>

	<p><i>Euplotes aediculatus</i>. Especie de <i>Euplotes</i> con estructura ciliar característica. Habita en agua dulce.</p>
	<p><i>Euplotes affinis</i>. Especie de <i>Euplotes</i> con estructura ciliar característica y amplios pliegues dorsales que imprimen en la célula una forma particular. Habita en los reactores de lodos activados.</p>
	<p><i>Euplotes harpa</i>. Especie de <i>Euplotes</i> con ciliación y estructura característica de la especie. Habita aguas con elevada salinidad.</p>
	<p><i>Euplotes patella</i>. Especie de <i>Euplotes</i> con ciliación y estructura característica de la especie. Habita aguas dulces.</p>
	<p><i>Oxitricha sp.</i> Género de ciliados hipotricos con estructura ciliar y de cirros más primitiva que la del género <i>Euplotes</i>. Habita aguas con carga orgánica.</p>
	<p><i>Parurosoma sp.</i> Género de ciliados hipotricos con estructura ciliar y de cirros sobre célula elongada, con una prolongación posterior a modo de pequeña cola. Habita aguas con carga orgánica.</p>

## Rotíferos.

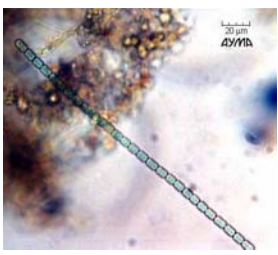

	<p><i>Brachionus angularis</i>. Organismo con forma característica, cuya cutícula desarrolla un caparazón torácico. El pié presenta anillos y no se encuentra dividido en elementos. El borde anterior del caparazón se prolonga en espinas.</p>
	<p><i>Cephalodella sp.</i> Individuo con caparazón formado por 4 a 5 placas separadas por hendiduras longitudinales. Los dedos son más largos que el pié blando. El órgano rotatorio se encuentra en posición oblicua. Alrededor de la boca presenta penachos de cilios rígidos.</p>
	<p><i>Colurella sp.</i> Este organismo presenta un escudo cefálico en forma de gancho, retráctil. El caparazón se encuentra lateralmente comprimido parecido a las valvas de un molusco.</p>
	<p><i>Filinia sp.</i> Rotífero carente de caparazón y pié. Presenta tres apéndices setiformes saltadores. Los individuos de este género se mueven de forma deslizante. Tiene dos ojos rojos, El órgano rotatorio se encuentra constituido por una corona marginal de cilios.</p>
	<p><i>Keratella chochleris</i>. Rotífero carente de pié, con caparazón dividido en campos, abombado por el lado dorsal, aplanado o ligeramente curvado hacia adentro en el lado ventral. Las formas primaverales presentan largas espinas posteriores.</p>

	<p><b><i>Lecane sp.</i></b> Microorganismo que presenta caparazón con dos placas, pié corto y ancho, con un solo elemento libre, que surge del lado ventral del caparazón. Presenta uno o dos dedos. Con frecuencia se fija con los dedos y nada alrededor del punto de fijación.</p>
	<p><b><i>Philodina so.</i></b> Individuo que se caracteriza por presentar dos manchas oculares detrás del palpo dorsal, sobre el cerebro. La cutícula torácica es fina y lisa. El pié tiene cuatro dedos.</p>
	<p><b><i>Platyas sp.</i></b> Este tipo de rotífero presenta un caparazón prácticamente cuadrado, sin espinas, pero con prolongaciones. El pié se encuentra formado por tres elementos.</p>
	<p><b><i>Polyarthra sp.</i></b> Género planctónico cuyo cuerpo no presenta pié. Desarrolla cuatro penachos de tres aletas torácicas cada uno. El organismo tiene un ojo cerebral de color rojo oscuro.</p>
	<p><b><i>Rotaria rotatoria.</i></b> Rotífero con cutícula lisa, palpo dorsal corto y tronco adelgazado paulatinamente hacia el pié. El individuo es opaco a veces de color blanquecino.</p>
	<p><b><i>Testudinella sp.</i></b> Rotífero que presenta un caparazón transparente y aplanado. Su aparato masticador trabaja moliendo y masticando el alimento filtrado. Desarrolla un pié móvil con un penacho de cilios en el extremo, dos ojos y musculatura longitudinal estriada.</p>

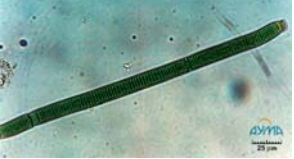
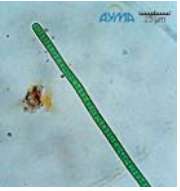
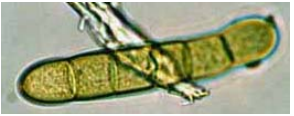
	<p><i>Trichotria pocillum</i>. Especie con cabeza, tronco y pié cubierto con caparazón grueso de bordes agudos. La cabeza es retráctil y está protegida por placas. El pié tiene dos largos dedos.</p>
---	--

### c) Microalgas.

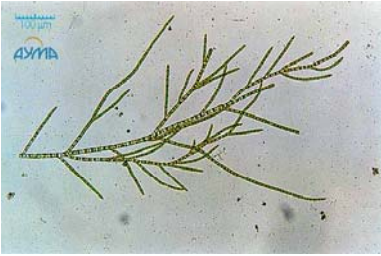

#### Cianofíceas/Cyanophyta

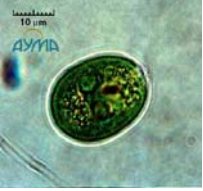
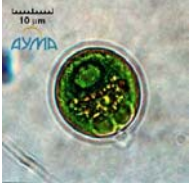


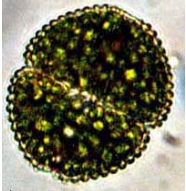
	<p><i>Anabaena sp.</i> Forma filamentosa solitaria, que a veces se encuentra inserta en masas gelatinosas. Los filamentos son rectos o ligeramente curvados. Las células son esféricas o en forma de tonel.</p>
	<p><i>Lyngbya sp.</i> Filamentos largos, curvados, agrupados en haces de color verde-azulados. Los filamentos pueden presentar vainas gruesas, incoloras, que se pegan entre sí, sin formar un mucílago.</p>
	<p><i>Nostoc sp.</i> Talos filamentosos con capa exterior gelatinosa. Las células son esféricas. Cuando los talos se desarrollan masivamente, dan aspecto de masas gelatinosas de color oscuro.</p>
	<p><i>Oscillatoria limosa</i>. Talos de coloración verde oscuro, libres o sésiles. Filamentos rectos, no estrangulados en las paredes laterales, finamente granulosa. Las células son anchas, de forma discoidal.</p>

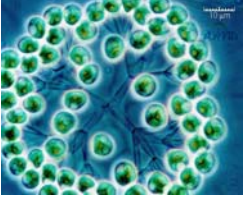
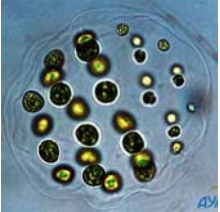
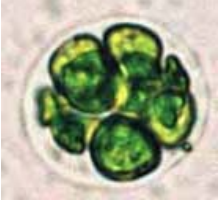
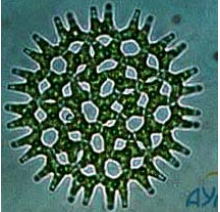
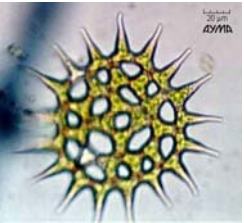


	<p><i>Oscillatoria rubescens</i>. Microalga filamentosa que presenta un tono ligeramente rosado. Las células terminales desarrollan extremos gradualmente apuntados, presentando una especie de caperuza.</p>
	<p><i>Oscillatoria tenuis</i>. Talo de color verde-azulado. Los filamentos son rectos, con extremos no apuntados. Las células son en general cuadradas, siendo las terminales ligeramente cónicas.</p>
	<p><i>Tolypóthrix lanata</i>. Talo formado por filamentos de hasta dos centímetros de longitud, con frecuentes pseudo-ramificaciones. Las células son cuadradas de color verde azulado.</p>

### Cloroficeas/Chlorophyta

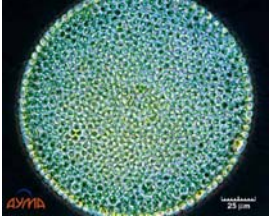
	<p><i>Chaetophora elegans</i>. Los talos pueden alcanzar tamaños de cm, y son de color verde claro. A partir de una base de células laxamente unidas o de cortos filamentos surgen las ramificaciones.</p>
	<p><i>Chlamydomonas angulosa</i>. Células elípticas anchas. La membrana forma una ancha papila en la parte anterior celular. Cloroplasto con pirinoide cuadrangular. Mancha ocular grande en forma de bastón.</p>

	<p><i>Chlamydomonas ehrenbergi</i>. Células don forma de irregular a ovadas. Membrana delicada, que puede estar algo separadas del borde del citoplasma. Los flagelos parten de una pequeña protuberancia cutánea. Mancha ocular en el centro de la célula.</p>
	<p><i>Chlamydomonas reinhardtii</i>. Células casi esféricas. Membrana no engrosada en una papila anterior. Cloroplasto con un gran pirinoide. Mancha ocular grande.</p>
	<p><i>Closteriosis sp.</i> Células solitarias, libres, fusiformes y muy alargadas, puntiagudas en los dos extremos y desprovista de vaina gelatinosa. Presentan un plasto parietal con numerosos pirinoides.</p>
	<p><i>Coelastrum sp.</i> Microalga colonial, formada por colonias de 8 a 128 células, puede ser globosa, hueca o esférica. Las células se encuentran unidas por finas superficies gelatinosas.</p>
	<p><i>Cosmarium botrytis</i>. Células solitarias con un profundo surco que las divide en dos hemi-células. La superficie se encuentra cubierta de pequeñas verrugas que le dan un aspecto característico.</p>



	<p><i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>. Colonias insertas en una masa gelatinosa claramente delimitada. Las células son ovaladas en disposición periférica y están unidas entre sí mediante cordones gelatinosos.</p>
	<p><i>Eudorina elegans</i>. Microalga colonial compuesta de células flageladas insertas en una vaina gelatinosa común.</p>
	<p><i>Pandorina morum</i>. Colonia, aproximadamente esférica, compuesta de 16 células flageladas de forma triangular-abombada, insertas en una vaina gelatinosa común.</p>
	<p><i>Pediatrum duplex</i>. Microalga colonial con forma muy característica. Se diferencia de otras especies del mismo género en las amplias lagunas existentes entre las células centrales. Las células marginales son profundamente recortadas, sólo fusionadas en la base, y presentan dos lóbulos muy prolongados.</p>
	<p><i>Pediatrum clathratum</i>. Especie de <i>Pediatrum</i> característica por presentar amplias lagunas entre las células centrales de la colonia. Las células marginales son triangulares, unidas por la base.</p>




	<p><i>Pediastrum simplex</i>. Los individuos de esta especie presentan células marginales alargadas, con forma triangulares y las células centrales se encuentran unidas de forma completa.</p>
	<p><i>Scenedesmus quadricauda</i>. Individuo colonial, constituido por 4, 8 ó 12 células. Las células centrales son alargadas y sin apéndices, las terminales, se abomban en el centro y presentan dos espinas que se proyectan hacia el exterior.</p>
	<p><i>Siderocells sp.</i> Especie que agrupa individuos con células elípticas que presentan numerosas verrugas pardas en su exterior. El color pardo se debe a la inclusión de sales de hierro.</p>
	<p><i>Spirogyra sp.</i> Microalga filamentosa con cloroplastos espiralados en doble hélice que recorren todo el tricoma.</p>
	<p><i>Staurastrum paradoxum</i>. Las células, tri-radiadas o tetra-radiadas, presentan tamaño mediano y apéndices divergentes, provistos de pequeños dientes y terminados en pequeñas espinas.</p>
	<p><i>Staurodesmus sp.</i> Incluye células solitarias, presentan una profunda constricción y una membrana lisa. La vista apical tiene un contorno elíptico o estrellado de 3, 4 ó 5 brazos con una espina.</p>

	<p><i>Volvox aureus</i>. Colonia esférica, gelatinosa, con las células situadas en la periferia. Vistas por encima, las células son circulares y se comunican entre si mediante filamentos plasmáticos muy finos.</p>
---	---

### Criptoficeas/Cryptophyta

	<p><i>Cryptomonas sp.</i> Células emarginadas en la parte anterior, más delgadas en la posterior, con la cara ventral plana y la dorsal abombada. Presentan cos cloroplastos y dos flagelos de igual longitud.</p>
	<p><i>Cryptomonas erosa</i>. Las células son fuertemente emarginadas en la parte anterior.</p>

### Crisoficeas/Cryptophyta


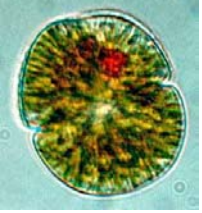
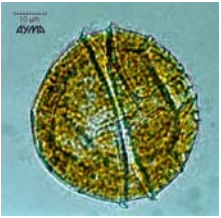
	<p><i>Dinobryon divergens</i>. Individuo colonial de células sésiles con caparazones en forma de embudo. Las tecas se insertan unas a otras y se encuentran dilatadas en el centro, con la parte basal cónica.</p>
---	--

## Diatomeas/Diatoms


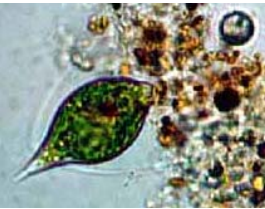
	<p><i>Asterionella formosa</i>. Diatomea que forma colonias estrelladas de unas 8 células. Cada célula presenta un lado pleural, más ancho en los extremos. Las valvas son muy estrechas con los extremos algo abultados.</p>
	<p><i>Diatoma hiemale</i>. Diatomeas coloniales que forman cintas muy largas y densas. Las valvas son lanceoladas, lineales y elípticas. Presenta costillas robustas e irregulares.</p>
	<p><i>Fragilaria crotonensis</i>. Diatomea de células dilatadas en el centro que se unen formando cintas curvadas y retorcidas. Las valvas son muy estrechas y presentan sutiles estrías transversales.</p>
	<p><i>Gomphonema sp.</i> Género de diatomeas que agrupa células cuyas caras pleurales son cuneiformes. Las células se pueden encontrar fijas a sustratos mediante pedúnculos gelatinosos simples.</p>
	<p><i>Melosira granulata</i>. Diatomea colonial que forma cadenas largas y rígidas de células cilíndricas. Las superficies terminales de las valvas presentan un punteado irregular.</p>


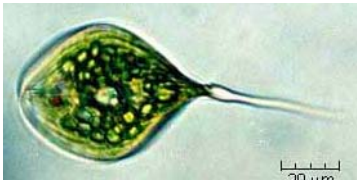
	<p><i>Melosira varians</i>. Diatomea colonial que forma cadenas largas de células en forma de tambor. Presentan cloroplastos en forma de plaquitas de color pardo amarillento.</p>
	<p><i>Navicula sp.</i> Incluye individuos con valvas lanceoladas, estriadas transversalmente en la zona media, en sentido opuesto a los polos. Los extremos de las células son redondeados.</p>
	<p><i>Nitzschia sp.</i> Género que agrupa células, en general pequeñas, con valvas lanceoladas que presentan estrias transversales muy finas, apenas visibles y dispuestas densamente.</p>
	<p><i>Pinnularia sp.</i> Microalga diatomea característica, estrias transversales gruesas a veces presentan poros.</p>
	<p><i>Surirella sp.</i> La célula en visión pleural es cuneiforme, vista por encima es ovada, con un polo anchamente redondeado y el otro más apuntado. Alas muy desarrolladas cuyos canales se encuentran separados por espacios anchos.</p>
	<p><i>Tabllearia flocculosa</i>. Constituida por células que forman cadenas en zig-zag. Vista de lado las células son casi cuadradas, con numerosas bandas intercalares cuyos numerosos septos penetran profundamente. Las valvas se encuentran muy distadas en el centro.</p>

## Dinoficeas/Dinophyceae


	<p><i>Ceratium hirudinella</i>. Especie de contorno asimétrico, que presenta un cuerno apical muy largo, con el extremo abierto. Cuernos basales en número de 3.</p>
	<p><i>Gymnodinium paradoxum</i>. Especie móvil, con células ovaladas, y surcos longitudinal y transversal pocos profundos. Cloroplastos de color oscuro dispuestos en manchas alrededor del núcleo central.</p>
	<p><i>Peridinium cinctum</i>. Especie móvil formada por células esféricas, de sección arriñonada. Un caparazón, dividido en placas características de cada especie, rodea la célula. El caparazón también puede presentar espinas. Los cloroplastos son de color pardo.</p>

## Euglenoficeas/Euglenophyta

	<p><i>Euglena oxyuris</i>. Microalga constituida por células alargadas, con punta terminal corta, casi siempre retorcidas en sentido longitudinal. La membrana presenta estriación espiralada. El flagelo es relativamente corto. Presenta numerosos cloroplastos en forma de placa.</p>
	<p><i>Euglena viridis</i>. Individuos de aspecto uniforme y con un flagelo de igual longitud que el cuerpo. Los cloroplastos tienen forma de cinta y están orientados hacia un pirinoide central. Aunque son fotosintéticos pueden ingerir materia orgánica.</p>

	<p><i>Phacus pyrum</i>. Las células son abombadas, con el extremo posterior adelgazado en una espina larga y recta. Ocho estrías espiraladas confluyen en la desembocadura del sáculo del flagelo.</p>
	<p><i>Phacus torta</i>. Células intensamente retorcidas, con larga espina caudal y membrana con estriación longitudinal. Los cloroplastos tienen forma de placa.</p>

### Xantoficeas/Xantophyta

	<p><i>Tribonema sp.</i> Microalga que presenta numerosos cloroplastos. La membrana es fina y delicada presentando apéndices en forma de H bien visibles.</p>
--	--

## Autoevaluación

Instrucciones: Lea cuidadosamente cada una de las preguntas, responda en forma breve y precisa.

1.- ¿Qué es un microorganismo?

---

---

---

2.- ¿Cuál es el objetivo del tratamiento por medio del sistema de lodos activados?

---

---

---

3.- ¿Cuál es la función de las bacterias presentes en los lodos residuales?

---

---

---

4.- ¿Qué métodos emplean los organismos autótrofos para sintetizar sus necesidades orgánicas?

---

---

---

5.- De acuerdo a la fuente externa de materia orgánica ¿Mencione los tres tipos de organismos heterótrofos?

---

---

---



## Bibliografía

Agua y Medio ambiente, 2001. *Atlas de microorganismos*. AYMASL.  
<http://www.supercable.es/~aymasl/atlas.htm>.

American Water Works Association. 1995. *Problem organisms in water: Identification and treatment*. Manual of water supply practices. AEWWA. M7. Denver, Co. USA.

Bitton, Gabriel. (1994). *Wastewater Microbiology*. Wiley-Liss New. York.

Brock, Th. D., y Madigan, M. T. 1993. *Microbiología*. Prentice . Hispanoamericana, S. A. México.

Environmental Protection Agency, 1987. *Summary report. The causes and control of activated sludge bulking and foaming*. EPA, Cincinnati, Ohio. USA.

Gerardi, M. H., y Horsfall, F. L. 1990. *Wastewater Biology: The microlife. A special publication*. Water Pollution Control Federation. Alexandria, Virginia, USA.

Himebaugh, R. R. 1981. *Microorganism inventory in activated sludge control*. Water Engineering & Management. April 30.

IMTA. (1993). *Alternativas de tratamiento de aguas residuales*. Material de apoyo.

Metcalf & Eddy, INC. (1991). *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse*. Mc. Graw Hill Book, Co.:

Moeller, G. (1997) *Apuntes de la materia de Procesos biológicos de tratamiento*. División de Estudios de Posgrado, Campus Morelos. Fac. de Ing. UNAM.

Nalco Chemical Company.(1989). *Manual del agua: Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. Tomo III. McGraw Hill, Nueva York.

Noyola-Robles, N.; Vega-González, E.; Ramos-Hernández, J. G., y Calderón-Mólgora, C. G. 2000. *Alternativas de tratamiento de aguas residuales*. Manuales. IMTA. México.

Ramalho, R. S. (1991). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté.

Tchobanoglous, G. And E.D. Schroeder. (1987). *Water Quality*. Addison Wesley.

U.S. Environmental Protection Agency.(1987). *The causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*. EPA contract 68-03-3252. Cincinnati Ohio.

WPCF (1989). *Activated Sludge Microbiology*. Water Pollution Control Federation. Alexandria Va.



# ANEXO

## 1.- Tinción de Gram, modificado del método de Hucker

Preparación:

Preparar por separado lo siguiente:

### Solución 1

	A		B
Cristal violeta	2 g.	Oxalato de amonio	0.8 g.
Etanol 95 %	20 mL	Agua destilada	80 mL.

### Solución 2

Yodo	1 g..
Yodo potasio	2 g.
Agua destilada	3000 mL.

### Solución 3

Safranina O (2.5 % en etanol al 95 %)	10 mL.
Agua destilada	100 mL.

Procedimiento.

- Extender el cultivo en una película delgada sobre el portaobjetos y dejar secar al aire..
- Cubrir la preparación por un minuto con la solución 1. Lavar enseguida por un segundo con agua destilada.
- Cubrir la preparación por un minuto con la solución 2. Lavar bien con agua destilada.
- Colocar la preparación en un ángulo de 45° y decolorar con etanol al 95%, añadiendo gota por gota sobre la mancha durante 25 segundos. No decolorar por completo. Lavar con agua destilada y dejar secar.
- Cubrir la preparación con la solución 3 por un minuto. Lavar bien con agua destilada y dejar secar.
- Examinar con aceite de inmersión a 1000x con iluminación directa. La coloración azul-violeta es positivo y el rojo es negativo.

## 2 Tinción de Neisser.

### Solución 1

A		B	
Azul de metileno	0.1 g.	Cristal violeta (10% w/v en etanol 95%)	3.3 mL
Etanol 95 %	5 mL.	Etanol 95 %	6.7 mL
Ácido acético glacial	5 mL.	Agua destilada	100 mL.
Agua destilada	100 mL		

Mezclar dos partes de volumen de la solución A con una parte por volumen de la solución B.

### Solución 2

Café Bismark (1 % w/v acuoso)	33.3 mL
Agua destilada	66.7 mL

### Procedimiento.

- Extender el cultivo en una película delgada sobre el portaobjetos y dejar secar al aire.
- Teñir 30 segundos con la solución 1. Lavar por un segundo con agua destilada.
- Teñir por un minuto con la solución 2. Lavar bien con agua destilada. Y dejar secar.
- Examinar bajo aceite de inmersión a 1000x con luz directa. Coloración azul-violeta positivo (la célula completa o gránulos intercelulares), amarillo-café negativo.

## 3.- Prueba "S" (oxidación de sulfuros)

### Solución.

Solución de sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )	1.0 g.
Agua destilada	1000 mL

Preparar rápidamente.

### Procedimiento

- En un portaobjeto mezclar una gota de la muestra de lodo activado con una gota de la solución de sulfato de sodio.
- Dejar expuesto al aire de 10 a 20 minutos.

- Colocar un cubreobjetos en la preparación y presionar gentilmente para sacar el exceso de sulfato de sodio. Quitar el exceso con un pañuelo de papel.
- Observar bajo aceite de inmersión a 1000x usando contraste de fases. Una prueba "S" positiva se obtiene cuando se observa una alta refractancia y una coloración amarilla de los gránulos intercelulares (gránulos sulfurosos).

Esta prueba, a veces da resultados variables, esto se debe a problemas metodológicos involucrados en la concentración relativa de sulfuros y oxígeno presentes (la oxidación del sulfuro es un proceso aeróbico). Una alternativa de la prueba de oxidación del sulfuro fue desarrollada por Neisser (1984) y puede ser usada.

#### **4.- Prueba B (modificada por Neisser 1984)**

Solución.

Tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )	1 g.
Agua destilada	100 mL.

Procedimiento.

- Dejar una muestra de lodo activado reposar, y transferir 20 mL del sobrenadante a un frasco Erlenmeyer de 100 mL.
- Añadir 1-2 mL de lodo activado al frasco.
- Añadir 1 mL de la solución de tiosulfato de sodio al frasco (la concentración final del tiosulfato de sodio es 2mM).
- Agitar el frasco toda la noche a temperatura ambiente.
- Observar al microscopio como se mencionó anteriormente.

#### **5.- Tinción reversa con tinta de india.**

Solución.

Tinta de india (solución)

Procedimiento.

- Mezclar una gota de la tinta de india y una gota de lodos activados en un portaobjeto. Dependiendo de la tinta utilizada, el volumen de la muestra puede necesitar ser reducida.

- Colocar el cubreobjetos y observar al 1000x usando contraste de fases.
- En un lodo activado “normal”, la tinta de India penetra en las partículas del flóculo completamente, en la mayoría dejando un centro claro.
- En lodos activados conteniendo grandes cantidades de material polímeros exocelulares, podría observarse áreas claras conteniendo una baja densidad de células.

## **6.- Tinción PHB (polihidroxibutirato)**

Solución.

A) Negro sudan B (IV) 0.3 % w/v en 60 % de etanol.

B) Safranina O 0.5 % w/v acuoso

Procedimiento.

- Extender el cultivo en una película delgada sobre el portaobjetos y dejar secar al aire.
- Teñir 10 minutos con la solución A, añadir mas solución si la preparación se empieza a secar.
- Lavar por un segundo con agua destilada.
- Teñir 10 segundos con la solución B. Lavar bien y dejar secar.
- Observar al microscopio bajo aceite de inmersión a 1000x con luz transmitida. Los gránulos PHB podrán apreciarse como intracelulares, gránulos azul-negro, el citoplasma podrá verse por un momento rosa o claro.

## **7.- Tinción de la vaina con cristal violeta.**

Solución.

Cristal violeta, 0.1 % w/v acuosos.

Procedimiento.

- Mezclar una gota de cristal violeta con una gota de la muestra de lodos activados en un portaobjeto.
- Observar al microscopio bajo aceite de inmersión a 1000x en contraste de fase. Las células se tiñen de un violeta profundo y las vainas se pueden ver rosas o claras.