

MICROBIOLOGÍA EN LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

1.0 ANTECEDENTES DE LA MICROBIOLOGÍA

Los microorganismos son como su nombre lo dice organismos que solo pueden ser observados a través de un microscopio. Son las primeras y más primitivas formas de vida en nuestro planeta y tal vez en el universo, por lo que siempre han estado en compañía del hombre.

Este tipo de vida no se hizo evidente hasta que Anton van Leeuwenhoek en 1676 utilizando una lente de aumento elaborada por él mismo, descubrió los microbios.

La microbiología como ciencia formal fue creada mucho después, con los trabajos de Pasteur y Koch, ambos contemporáneos, y sus contribuciones dieron origen a la actual microbiología, bacteriología y todas las ramas científicas que se crearon en este conocimiento.

Pasteur demostró que la teoría de la generación espontánea era incorrecta y que los fenómenos que ocurrían al descomponerse por ejemplo ciertos alimentos, no se debía a la generación espontánea, sino a los microorganismos que crecían y se desarrollaban en el medio. Sus trabajos dieron origen a la pasteurización para conservar los alimentos y a la vacunación para prevenir enfermedades transmitidas por los microorganismos.

MICROORGANISMOS TÍPICOS EN AGUAS RESIDUALES



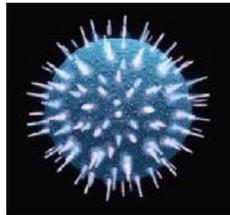
HONGOS



BACTERIAS



PROTOZOARIOS



VIRUS



ALGAS

Figura 1: Microorganismos presentes en aguas residuales y que son los que degradan y convierten los residuos orgánicos en células y gases volátiles.

Koch también, por su parte es el creador de la teoría de los gérmenes en las enfermedades, que establece que cada enfermedad tiene origen en un microbio específico. También con sus trabajos se pudieron hacer cultivos aislados de microorganismos de un solo tipo, con lo cual éstos se podían identificar, aislar y estudiar.

Los microbiólogos que siguieron los estudios y trabajos de estos dos creadores de la ciencia de la microbiología, han dado origen a la microbiología industrial, microbiología de alimentos, microbiología ambiental, así como su influencia en la fisiología y en la genética.

La limpieza y depuración de las aguas residuales, implica operaciones unitarias como son la sedimentación y la filtración, pero los procesos biológicos que se llevan a cabo en el proceso de tratamiento son los de mayor importancia y por eso es primordial entender los mecanismos de los microorganismos que son quienes realizan la parte clave del proceso.

1.1 MICROORGANISMOS

Originalmente la clasificación de Carlos de Lineo era: minerales para lo inanimado y animales y plantas para lo que tenía vida. Con el descubrimiento de los microorganismos se integraron los protistas en esta clasificación y de esta manera hasta hace algunos años la clasificación era: minerales, animales y plantas y como una especie en particular los protistas.

Posteriormente los microbiólogos han catalogado los microorganismos en dos grandes grupos:

1: Eucariotes son aquellos microorganismos que son unicelulares o multicelulares y que contienen un núcleo, donde se tiene codificado todo su sistema de reproducción. En este grupo se encuentran los hongos y los protistas. Los eucariotes contienen uno o mas núcleos, pueden contener organelos (semejantes a los miembros en los humanos) separados por membranas intracelulares.

Los protistas a su vez se subdividen en el reino animal como son los protozoarios, en el reino vegetal donde se clasifican las algas y en el reino de los hongos

2: Procariotes: los procariotes son microorganismos que pueden ser multicelulares pero casi siempre son unicelulares. Estos microorganismos son mucho más simples que los eucariotes ya que en su estructura celular no contienen un núcleo, solo una membrana.

Las bacterias son parte de los procariotes y dentro de esta división taxonómica también se encuentran los virus. La separación entre diferentes grupos de microorganismos ha generado muchas controversias y reclasificaciones ya que en alguna ocasión las bacterias estuvieron dentro del reino de los protistas como un todo.

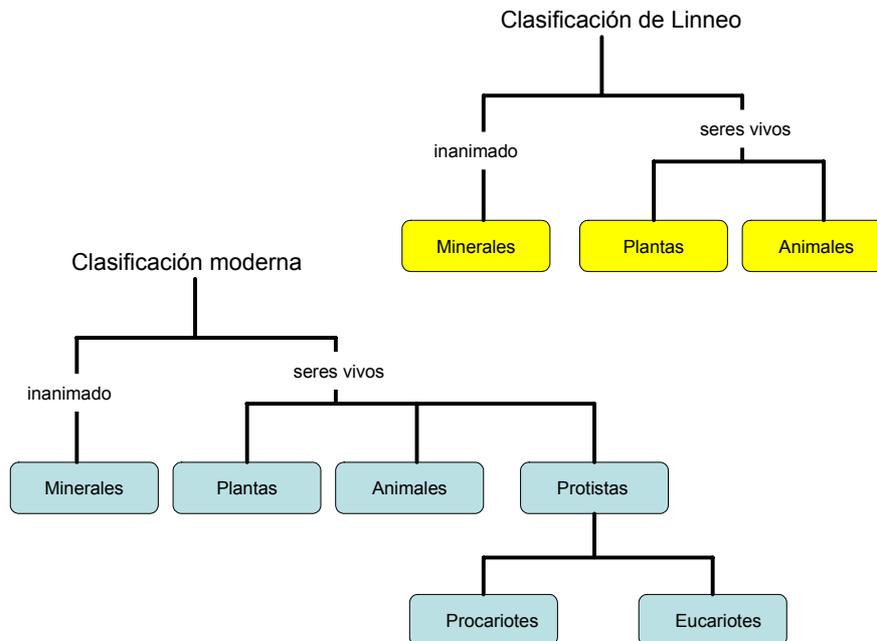


Figura 2: Clasificación de los microorganismos.

LOS MICROORGANISMOS Y EL AGUA: Los microorganismos siempre se encuentran presentes en el agua, ya que la requieren para la constitución de su núcleo ó de su membrana y demás material orgánico de que está hecho el organismo.

Cuando se desinfecta el agua, los microorganismos mueren o se inactivan temporalmente, pero una vez que se termina la acción del agente desinfectante, éstos crean las condiciones para nuevamente crecer y multiplicarse.

Algunas especies son patógenas causantes de enfermedades, pero la gran mayoría no solo no son perjudiciales, sino que realizan procesos que sustentan la vida, son parte de los organismos superiores o de mayor complejidad y siempre han convivido con nosotros.

Aunque su división y separación taxonómica de los diferentes grupos de bacterias es difícil de establecer y en algunas ocasiones contradictoria. Los microorganismos como un todo tienen las siguientes generalidades:

1: Requieren de una fuente de energía para crecer, vivir y desarrollarse. Esta fuente de energía puede ser la energía solar, la energía producida en una reacción química con sustancias inorgánicas, o la energía que proporcionan algunas moléculas como: celulosa, grasas, azúcares, carbohidratos, proteínas, vitaminas, etc. Sin energía la vida no puede existir y si los microorganismos no disponen de ella, mueren o se conservan inactivos en estado latente.

2: Requieren de nitrógeno, y pueden adquirirlo del nitrógeno atmosférico, o nitrógeno en alguna forma química inorgánica como: amoníaco, nitritos, nitratos, o también la fuente puede ser el nitrógeno orgánico de proteínas o ácidos nucleicos.

3: Una fuente de carbono, que puede ser suministrado por el bióxido de carbono, el metano o por cadenas orgánicas de mayor complejidad que tienen en su estructura átomos de carbono, como por ejemplo los carbohidratos.

4: Una fuente de oxígeno, si los microorganismos son aerobios o ausencia de él si son anaerobios.

5: También requieren de algunos nutrientes como: calcio, sodio, potasio, fósforo, magnesio y azufre.

6: Requieren de agua y no pueden sobrevivir sin ella, sin embargo algunos microorganismos como los que se reproducen por esporas, pueden estar en estado latente, inactivos durante largos periodos, para nuevamente regresar a su actividad cuando las condiciones les son favorables.

7: Algunos minerales son esenciales para ciertos tipos de bacterias. Hierro, zinc, cobalto, y otros metales en cantidades traza son necesarios para los microorganismos.

1.2 ORGANISMOS AUTOTRÓFICOS Y HETEROTRÓFICOS:

Metabólicamente las bacterias pueden ser clasificadas como heterotróficas o autotróficas.

Los organismos autotróficos son aquellos que utilizan el CO₂ o bióxido de carbono como fuente de carbono. Para efectuar la fijación del CO₂ en la estructura celular se requiere energía. Si la energía requerida la proporciona el sol, o la luz sintética, se dice que el organismo es fotosintético.

Si la fijación del bióxido de carbono se efectúa empleando la energía desprendida en una reacción química, el organismo se dice que es autotrófico quimiosintético. Por ejemplo la bacteria *tiobacillus oxidans* el ión tiosulfato a sulfato y en esta reacción de oxidación toma la energía desprendida en la reacción para su provecho. La bacteria *tiobacillus ferrooxidans* hace lo mismo en la oxidación del hierro ferroso [(Fe(II))] a hierro [férrico Fe(III)].

Los organismos autotróficos más comunes son los que obtienen energía por medio de procesos quimiosintéticos, y son muy pocos los que pueden llevar a cabo la fotosíntesis. Los autotróficos son los productores de la cadena alimenticia ya que proporcionan las proteínas, carbohidratos y demás nutrientes que requieren los heterotróficos para vivir.

Los microorganismos heterotróficos son aquellos que tienen como fuente de carbono moléculas de estructuras orgánicas más complejas como son las moléculas los azúcares, proteínas y carbohidratos.

Los organismos heterotróficos no son capaces de obtener su fuente de carbono del bióxido de carbono y requiere de los autotróficos para alimentarse.

Todos los animales, así como algunos tipos de hongos y bacterias son heterotróficos y son catalogados como consumidores en la cadena alimenticia.

1.3 DIGESTIÓN AEROBIA Y ANAEROBIA:

Digestión aerobia: La digestión aerobia se efectúa cuando microorganismos aerobios o sea los que requieren oxígeno, descomponen la materia orgánica para la obtención de energía en su provecho.

Las rutas o pasos que son parte de este tipo de metabolismo, implican la oxidación de las proteínas, las grasas y los carbohidratos en una secuencia sumamente compleja, que producen como sustancias terminales: agua, bióxido de carbono, sulfatos y amoníaco. Si persisten las condiciones oxidantes, el amoníaco producido por los compuestos nitrogenados y que no escapa a la atmósfera en forma de gas, se oxida a nitritos y posteriormente a nitratos.

Esta ruta o forma de estabilización de la materia orgánica, no implica la formación de compuestos agresivos y desagradables al medio ambiente, o al menos no duran mucho tiempo y la degradación a óxidos y gases inocuos ocurre en un corto tiempo.

Digestión anaerobia: La oxidación anaerobia requiere de microorganismos anaerobios que son los que subsisten en ausencia de oxígeno, y su metabolismo es muy diferente al de los microorganismos aerobios. La descomposición de la materia orgánica en forma anaerobia se compone de tres pasos esenciales y que son los siguientes

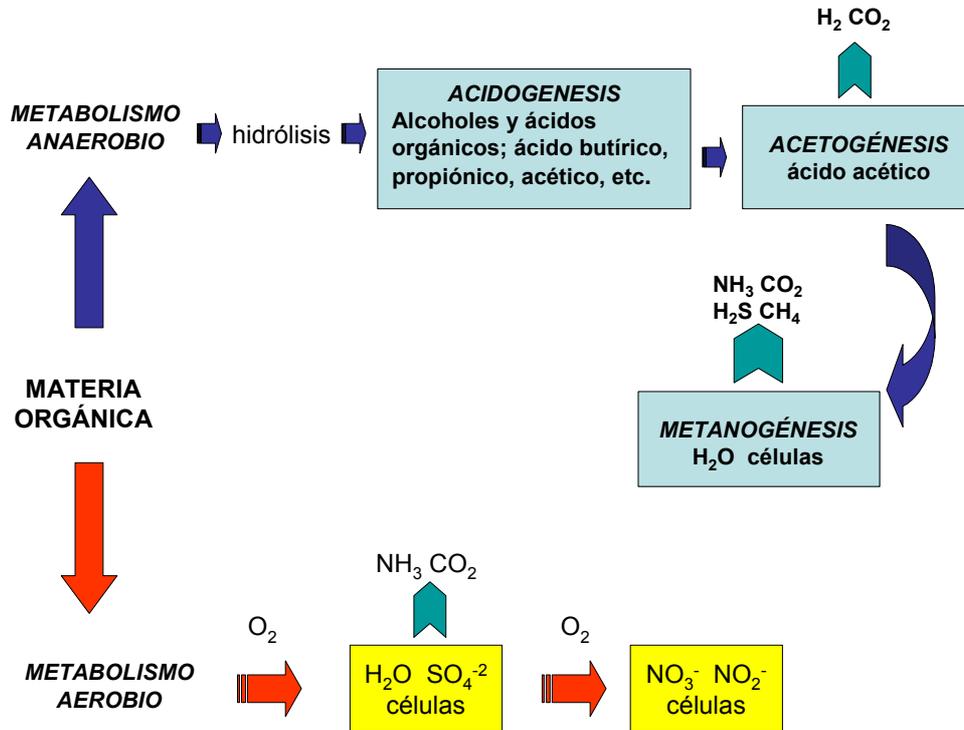


Figura 3: Ruta aerobia y anaerobia en la degradación y conversión microbiana de material orgánico.

HIDRÓLISIS: Cierta tipo de bacterias que son llamadas bacterias hidrolíticas, son las primeras en procesar y preparar el material para el siguiente paso de descomposición.

Estos microorganismos, segregan ciertas enzimas que hidrolizan los polímeros orgánicos como celulosa, carbohidratos, lípidos, grasas y las proteínas. Los carbohidratos, son convertidos a azúcares, las proteínas a aminoácidos y los lípidos son hidrolizados y convertidos a ácidos grasos de cadena mas corta.

ÁCIDOGÉNESIS O FERMENTACIÓN: Cuando se completa la hidrólisis, si las condiciones son las adecuadas ocurre la acidogénesis, la cual consiste en una degradación por microorganismos de este tipo, de los azúcares de cadena corta, los aminoácidos y los ácidos grasos formados. En este paso del metabolismo anaerobio, los ácidos grasos se convierten a ácidos grasos volátiles de cadena corta como el ácido acético, butírico y propiónico principalmente.

En este paso casi toda la materia orgánica forma gases que son en promedio 80% CO_2 , 20% H_2 , y también algo de amoníaco NH_3 .

ACETOGENESIS: La secuencia en este proceso anaerobio implica la conversión a hidrógeno, bióxido de carbono y ácido acético de los ácidos y alcoholes carboxílicos formados en el paso anterior de la acidogénesis.

METANOGÉNESIS: Por último, en la secuencia del metabolismo anaerobio microbiano, los microorganismos metanogénicos catabolizan el ácido acético que se forma de los ácidos grasos, azúcares y aminoácidos y lo transforman a metano CH_4 .

El resultado neto de la digestión anaerobia es la conversión de la materia carbonácea a bióxido de carbono y metano principalmente.

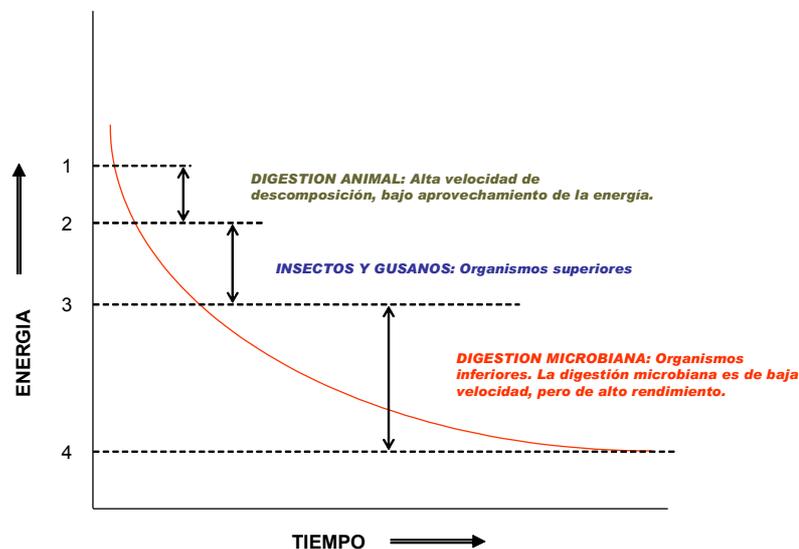
Tanto la digestión aerobia como la anaerobia producen nuevas células, pero el metabolismo anaerobio es mucho más eficiente en la conversión del sustrato a gases, en este caso de la digestión anaerobia, a gases como CO_2 y CH_4 .

El metabolismo aerobio requiere de menos tiempo en digerir el material orgánico biodegradable, pero es mucho menos eficiente en el aprovechamiento de la energía disponible en el sustrato y produce una mayor cantidad de células o biomasa a partir de la DBO presente en el agua residual.

1.4 PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS:

La remoción de la DBO, la coagulación de sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica, es posible por la acción de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos utilizan la materia carbonácea disuelta y en suspensión en forma coloidal, para sobrevivir en el ambiente en que se encuentran. Al consumir esta materia cuyo principal componente es el carbono, una parte de ella la convierten en tejido celular y otra parte es emitida al medio ambiente en forma de gases. Los gases producidos, en su mayor parte, pueden separarse en forma espontánea del agua tratada y el tejido celular formado, se separa también de la masa de agua por sedimentación, por lo que cuando esto ocurre se dice que la materia orgánica ha sido removida del agua tratada.

De la energía disponible en los alimentos o sustratos, los organismos superiores (en la escala de consumo de sustrato), como son los animales y el hombre, al consumir el alimento, solo una pequeña parte de la energía disponible es aprovechada y el resto se desecha al medio ambiente. Este proceso de obtención de energía es rápido pero ineficiente.



1-4 ENERGIA TOTAL DE LOS ALIMENTOS

1-2 ENERGIA OBTENIDA POR LA DIGESTION DE LOS ANIMALES

2-3 ENERGIA OBTENIDA POR INSECTOS, LARVAS, GUSANOS

3-4 ENERGIA OBTENIDA POR ORGANISMOS INFERIORES

Figura 4: Aprovechamiento de la energía por diferentes cadenas alimenticias.

Otros organismos consumen nuestros desechos como son insectos, larvas y gusanos y lo hacen a una alta velocidad de digestión pero también de forma ineficiente ya que solo extraen una parte de la energía interna potencialmente contenida en el sustrato. Los microorganismos en sus diferentes variedades y

cadena alimenticias, consumen los restos de sustrato que no es digerido por los seres de escalas superiores, a una muy baja velocidad de digestión pero con una alta eficiencia en el aprovechamiento de la energía interna del sustrato, tal y como se muestra en la figura 4.

De los cientos de miles de especies de microorganismos que existen, algunos de ellos son de gran importancia en el proceso de depuración de aguas residuales ya que consumen el material orgánico que contamina las aguas de desecho. Los mas importantes son los que se describen a continuación:

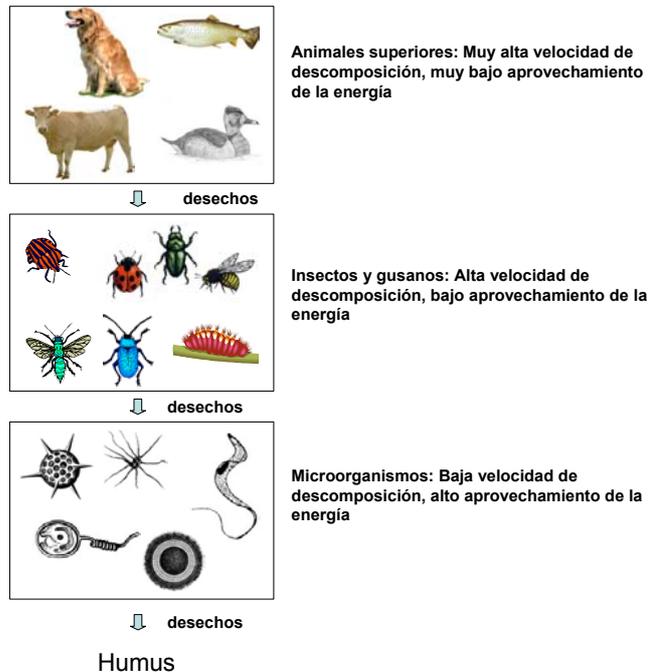


Figura 5: Cadenas alimenticias e interdependencia entre ellas.

BACTERIAS: Las bacterias son protistas unicelulares. Utilizan la materia orgánica disuelta como alimento, y en general pueden ser encontradas en cualesquier medio en el que exista alimento disponible. Su modo de reproducción es por fisión binaria, aunque algunas especies se reproducen sexualmente o por germinación. Existen miles de clasificaciones de bacterias pero todas caen dentro de tres clasificaciones generales en relación a su forma: esféricas, cilíndricas y helicoidales. Son muy variables en tamaño, y su rango está de los 0.5 a los 15 micrones (1 micrón= 10^{-6} metros= 10^{-4} cm).

El material de la bacteria constituye un 80% agua y un 20% material seco. De este material seco el 90% es material orgánico y el 10% restante es material inorgánico. Una fórmula química propuesta para la parte orgánica de la bacteria es $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$. La parte inorgánica constituye: fósforo, azufre, sodio, calcio, magnesio, potasio y hierro, en ese orden de composición decreciente. En ausencia de alguno o algunos de estos elementos la bacteria está limitada en su crecimiento o no sobrevive.

Tabla I: Clasificación de los microorganismos de acuerdo a su temperatura óptima de crecimiento.

Tipo de microorganismo	Temperatura	
	Rango de temperatura °C	Temperatura óptima °C
Criofílica	-2-30	12-18
Mesofílica	20-45	25-40
Termofílica	45-75	55-65

La temperatura y el pH juegan un papel vital en el medio ambiente en que se encuentra la bacteria, lo cual también es sumamente importante para otras especies microscópicas. Se ha

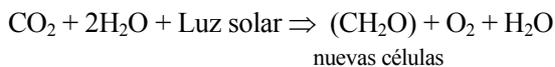
observado que la actividad de las bacterias se duplica por cada 10°C de incremento en la temperatura hasta que se alcanza un límite de temperatura en el cual la bacteria ya no sobrevive. De acuerdo al rango de temperatura en el cual la bacteria tiene su máximo desarrollo, las bacterias pueden ser clasificadas como: criofílicas, mesofílicas y termofílicas. Su clasificación está de acuerdo a la Tabla I.

El pH de la solución también es determinante en el desarrollo y crecimiento de los microorganismos. La mayoría de los microorganismos pueden tolerar ambientes de pH mayor a 9.5 o menor a 4.0, pero el rango óptimo de pH para que las bacterias comunes cumplan apropiadamente sus funciones es de 6.5 a 7.5.

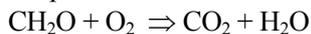
HONGOS: En ingeniería de tratamiento de aguas los hongos son considerados protistas multicelulares, heterotróficos, no fotosintéticos. Los hongos son estrictamente aeróbicos. Tienen la capacidad de crecer en condiciones de poca humedad y pueden tolerar un medio ambiente con bajos valores de pH, aunque su rango óptimo de pH es 5.6. Los requerimientos de nitrógeno son bajos y son de aproximadamente la mitad de los que requieren las bacterias comunes. Esta habilidad para sobrevivir a bajos valores de pH y con cantidades relativamente limitadas de nitrógeno, los hacen sumamente importantes en el tratamiento biológico de algunas aguas de origen industrial.

ALGAS: Las algas son protistas unicelulares o multicelulares, autotróficos y fotosintéticos. La presencia de algas en las aguas es indeseable ya que producen malos olores y sabores en el agua de consumo. Interfieren en los procesos de filtración, y al darle coloración al agua disminuyen sus características estéticas. En lagunas de oxidación, las algas son valiosas debido a que producen oxígeno a través del proceso de fotosíntesis. Por la noche, cuando no hay disponible luz para la fotosíntesis, emplean el oxígeno disponible para la respiración. Las reacciones bioquímicas simplificadas de los procesos bioquímicos que ocurren en la fotosíntesis y en la respiración son las siguientes:

Fotosíntesis



Respiración



En el medio ambiente acuático y como consecuencia de las reacciones anteriores, este proceso metabólico causa una variación diurna y nocturna del oxígeno disuelto. La habilidad de las algas para producir oxígeno es de vital importancia para la ecología del medio ambiente de las aguas. Para que una laguna de oxidación aeróbica o facultativa opere adecuadamente, se requiere de las algas, que son la fuente de oxígeno para las bacterias aeróbicas heterotróficas. Esta relación simbiótica entre las bacterias y las algas, es el mecanismo a través del cual las aguas residuales pueden ser depuradas en lagunas de oxidación.

Debido a que las algas utilizan el dióxido de carbono en la actividad fotosintética, es posible que el agua alcance altos valores de pH. Si se alcanzan altos valores de pH, la alcalinidad tiende a ser alcalinidad de hidróxidos y carbonatos y si además en el agua es alta la concentración de calcio, se puede rebasar el valor de la constante de producto de solubilidad del carbonato de calcio, y este precipita. Esta remoción del carbonato por precipitación evita que el pH se siga incrementando.

De la misma forma a como ocurre con el oxígeno disuelto, existe una variación en el valor del pH. Durante el día, las algas consumen dióxido de carbono lo cual tiende a incrementar el valor del pH; por la noche, las algas producen CO₂ lo cual resulta en una disminución en el pH. El resultado neto, en un sistema bien equilibrado es un valor más o menos constante en el valor del pH, que es requisito indispensable para el proceso de depuración de las aguas.

También, como los demás organismos, las algas requieren de compuestos inorgánicos para su reproducción. Los principales elementos requeridos de este tipo son nitrógeno y fósforo. Otros elementos traza o micronutrientes también son esenciales; entre estos se encuentran: hierro, cobre y molibdeno.

En lagos y lagunas naturales, el crecimiento excesivo de las algas es indeseable, por lo que uno de los procesos avanzados de tratamiento de aguas residuales, es la eliminación del nitrógeno o fósforo, o los dos en

forma conjunta, para evitar la proliferación de este material. También la remoción de los micronutrientes requeridos para su crecimiento y reproducción, es una alternativa para el control de las algas.

PROTOZOARIOS: Los protozoarios son protistas microscópicos que por lo regular son unicelulares y que además poseen movilidad, lo cual realizan generalmente por medio de un flagelo o cola. La mayoría de los protozoarios son aeróbicos heterotróficos, aunque algunos de ellos son anaeróbicos. Los protozoarios son de mayor tamaño que las bacterias y consumen estas como fuente de energía. De hecho, los protozoarios consumen en los efluentes finales de las aguas tratadas, la materia orgánica residual y las bacterias que se puedan encontrar en dicho efluente.

ROTÍFEROS: Los rotíferos son animales multicelulares, aeróbicos, heterotróficos. Su nombre es originado del hecho que poseen dos juegos de antenas rotatorias, las cuales giran y les comunican movimiento para capturar su alimento. Los rotíferos son muy eficientes consumiendo bacterias dispersas y floculadas, así como partículas pequeñas de material orgánico. La presencia de rotíferos en el agua depurada indica una alta eficiencia en el proceso aeróbico de purificación.

CRUSTÁCEOS: Los crustáceos. al igual que los rotíferos son animales multicelulares aeróbicos heterotróficos. A diferencia de los rotíferos, los crustáceos tienen una capa o cubierta dura. Los crustáceos son alimento natural de los peces, por lo que frecuentemente se encuentran en la mayoría de las aguas naturales. No se presentan en grandes cantidades en sistemas biológicos de tratamiento de aguas y su presencia en efluentes es indicativo de un agua con baja cantidad de materia orgánica y valores altos de oxígeno disuelto.

VIRUS: Un virus es la más pequeña estructura biológica conteniendo toda la información necesaria para su propia reproducción. Los virus son tan pequeños que solo pueden ser vistos con microscopio electrónico. Son parásitos obligados, por lo cual siempre requieren de un organismo huésped en el cual sobrevivir. Una vez estabilizados en el huésped dirigen toda su compleja maquinaria a la producción de nuevas partículas de virus. Eventualmente, la célula huésped se rompe liberando nuevas partículas de virus, las cuales se van a infectar nuevas células.

Muchos virus que producen enfermedades en el hombre también se encuentran en las heces fecales de éste, por lo que en ingeniería de tratamiento de aguas residuales es necesario el control de los mismos. Esto se efectúa con la cloración de los efluentes y la disposición adecuada de los mismos.

1.5 CRECIMIENTO BACTERIANO Y OXIDACIÓN BIOLÓGICA

PATRONES DE CRECIMIENTO EN CULTIVOS INDIVIDUALES: Las bacterias se pueden reproducir por fisión binaria, en forma sexual, o por expansión. Generalmente estas bacterias se reproducen por fisión, esto es, por división la célula viene a ser dos nuevos organismos. El tiempo requerido para cada fisión, que es llamado el tiempo de generación, puede variar desde varios días hasta menos de 20 minutos. Por ejemplo, si el tiempo de generación es de 30 minutos, en doce horas tendremos 16,777,216 bacterias nuevas. Esto es únicamente para dar una idea de su extraordinaria capacidad de reproducción ya que en la realidad no podría darse tal situación por limitaciones en el sustrato, en los nutrientes, y aún en el tamaño mismo del sistema.

CRECIMIENTO BACTERIANO EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE BACTERIAS: El patrón de crecimiento de las bacterias en una prueba por lotes, es mostrado en la figura 6. Inicialmente un pequeño número de organismos son inoculados en un volumen fijo de medio de cultivo. Este medio de cultivo tiene los nutrientes y el alimento necesario para que las células se empiecen a reproducir, además de que se dan las condiciones de temperatura más adecuadas para el desarrollo de los microorganismos. Después de cierto tiempo se cuentan el número de bacterias y se grafica este valor junto con el tiempo en que se hizo la lectura. Si este proceso de lectura se realiza a medida que transcurre el tiempo y los microorganismos se adaptan al medio ambiente y crecen, se obtiene una curva de crecimiento similar a la mostrada en la figura 6. En esta gráfica se observan cuatro fases más o menos definidas.

1.-La fase de aclimatación: durante este periodo las bacterias crecen lentamente, debido a que éstas inicialmente debe aclimatarse a las condiciones del medio de cultivo.

2.-Fase de aclimatación con crecimiento: En este tiempo las células se dividen y multiplican en función del tiempo de generación de esta especie y en función de su capacidad para procesar alimento.

3.-Fase estacionaria: En esta fase la población permanece mas o menos estacionaria y constante. Esto se debe a: (a) las celdas han consumido el sustrato y/o los nutrientes que se encontraban inicialmente; (b) el crecimiento de nuevas células es contrarrestado por la muerte de las células existentes.

4.-Fase de extinción o fase endógena: Los microorganismos son obligados a metabolizar su propio protoplasma. No hay reposición de la materia empleada dado que el alimento es escaso. En esta fase ocurre un fenómeno que se conoce como lisis; este consiste en la liberación de las células muertas de los nutrientes que ellas contienen. Estos nutrientes son empleados por las células que sobreviven y durante esta fase la razón de incremento de nuevas células, es mucho menor a la velocidad de muerte y desactivación de las células originales. La curva presentada en esta fase es inversa a la que se observa en la fase 2.

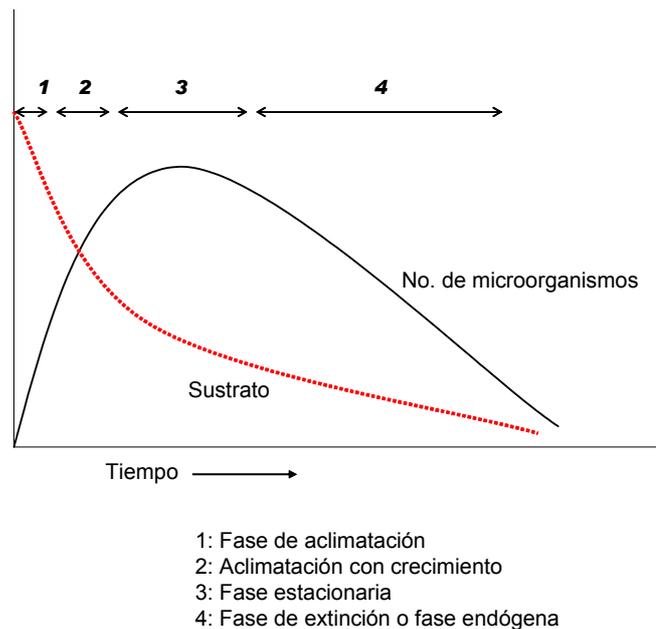


Figura 6: Patrón de crecimiento de los microorganismos en función del tiempo

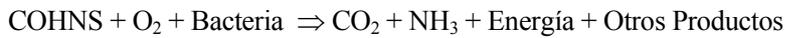
CRECIMIENTO EN CULTIVOS MIXTOS: Los sistemas biológicos reales comprenden no una sino muchas diferentes especies. Todas y cada una de ellas están íntimamente relacionadas y cada organismo en el sistema tiene su particular curva de crecimiento. La forma y posición de la curva de crecimiento depende además de la especie, de factores tales como: tipo de sustrato, pH, temperatura, y si el sistema es aeróbico o anaeróbico. Aunque se considera a las bacterias como el componente mas importante en la estabilización de aguas de deshecho, la interrelación entre las diferentes especies hacen pensar de un sistema biológico de estabilización de materia orgánica, como un ecosistema en el cual existe una mutua dependencia entre las diferentes especies.

1.6 OXIDACIÓN BACTERIANA:

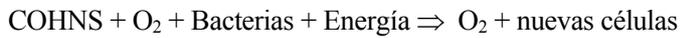
La conversión de materia orgánica a productos gaseosos estables y tejido celular, puede efectuarse aeróbicamente, anaeróbicamente o facultativamente, empleando lechos en suspensión o medios de crecimiento fijos. Como ya ha sido discutido con anterioridad, en la digestión aeróbica de materia orgánica, una porción de ésta es oxidada a productos terminales, y en este proceso de oxidación se obtiene energía para la construcción de nuevo tejido celular. En la ausencia de sustrato o materia orgánica, el tejido celular es consumido en forma endógena y se emplea para respirar y obtener energía para las funciones propias de la célula. Este tejido empleado además de energía produce gases terminales. En los sistemas biológicos estos tres procesos ocurren simultáneamente.

En un proceso aeróbico los tres procesos descritos anteriormente pueden estequiométricamente ser representados de la siguiente manera:

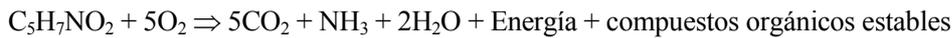
OXIDACIÓN:



SÍNTESIS:



RESPIRACIÓN ENDÓGENA:



En estas reacciones COHNS representa la materia orgánica en el agua residual y $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ es la formula generalizada o formula mas simple con que es representado el tejido celular.

1.7 MICROORGANISMOS EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:

La característica que tienen los microorganismos de completar el ciclo de degradación para su crecimiento y reproducción del material orgánico desechado por los organismos superiores, es la forma en la cual el hombre aplica la naturaleza de los microbios para limpiar sus aguas residuales.

En este proceso en que los diferentes microorganismos consumen el sustrato en su propio beneficio, remueven el material orgánico presente en las aguas residuales y lo transforman en nuevas células y en gases inocuos que se emiten a la atmósfera, limpiando el agua de la materia orgánica disuelta originalmente presente.

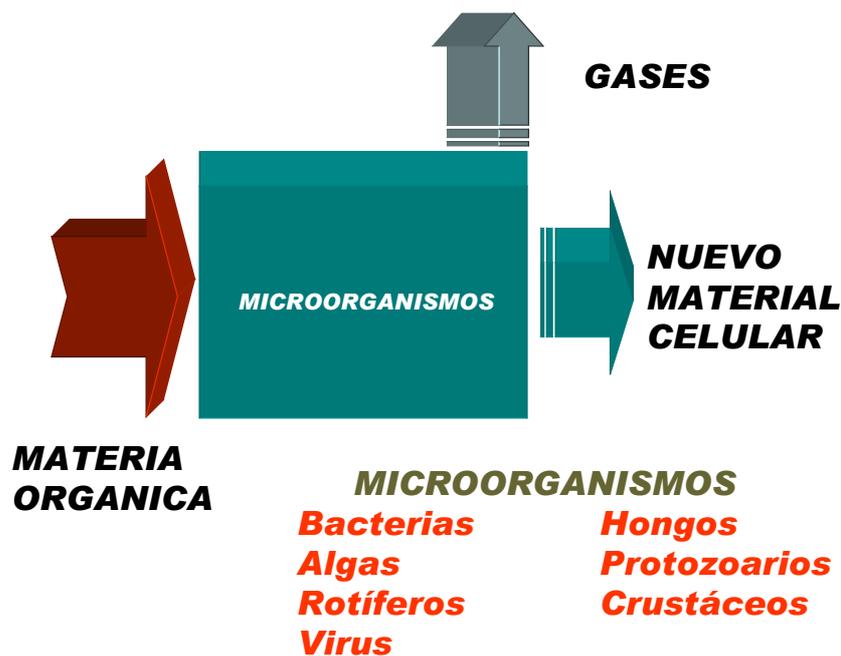


Figura 7: Microorganismos y conversión de materia biodegradable en células nuevas y gases inocuos.

Esta no es la única forma de aplicación de las propiedades de los microorganismos ya que existe la microbiología de alimentos, la microbiología industrial y la microbiología del medio ambiente, entre otras ramas de la ciencia de la microbiología que aplican las diferentes características y metabolismos de los microbios para obtener provecho de ellos.

Los principales objetivos del tratamiento biológico en aguas residuales, es coagular y remover los sólidos coloidales no sedimentables, y estabilizar la materia orgánica. Para las aguas de origen doméstico el

objetivo es estabilizar la materia orgánica y los nutrientes como nitrógeno y fósforo; para las aguas residuales agrícolas el objetivo es remover los nutrientes, específicamente nitrógeno y fósforo; para las aguas industriales el objetivo es remover o reducir la cantidad de desechos orgánicos e inorgánicos que éstas puedan contener. Las aguas residuales de origen industrial, frecuentemente contienen sustancias que son tóxicas a los microorganismos que llevan a cabo el proceso biológico de estabilización de la materia orgánica, por lo que de ser así, los emisores responsables que generan estos desechos deben efectuar un pretratamiento previo de sus aguas de deshecho, tratando de remover estas sustancias tóxicas. Con un control adecuado de todos los factores de tratamiento, especialmente los de carácter biológico, todas las aguas residuales pueden ser tratadas con éxito, por lo tanto, es conveniente para el ingeniero ambiental, conocer y comprender los alcances y límites de los diferentes procesos biológicos de tratamiento, así como de los requerimientos para un control efectivo de los mismos.