

Clase II

Crecimiento Microbiano

Es un incremento en el número de células o aumento de la masa microbiana. El crecimiento es un componente esencial de la función microbiana, ya que una célula individual tiene un período de vida determinado en la naturaleza y la especie se mantiene solamente como resultado del crecimiento continuo de la población celular. En muchas situaciones prácticas es necesario el control de la población celular, el conocimiento de cómo se expande es útil para el diseño de métodos de control para el crecimiento microbiano. Una bacteria es una máquina capaz de duplicarse así misma. Los procesos sintéticos de crecimiento celular bacteriano implican no menos de 2000 reacciones bioquímicas de una gran variedad de tipos. Las reacciones principales de la síntesis celular son de polimerización, luego se ensamblan las macromoléculas, se forman las estructuras celulares: pared celular, membrana citoplasmática, flagelos etc.

El crecimiento microbiano ocurre por fisión binaria, bajo las mejores condiciones de *E. coli* puede completar su ciclo en 20 minutos. El control de la división celular está íntimamente ligado a los acontecimientos de replicación cromosómica.

Crecimiento de poblaciones

La velocidad de crecimiento es el cambio en el número de células por unidad de tiempo. El tiempo requerido para que a partir de una célula se formen dos células o el tiempo requerido para duplicar una población de células se llama *tiempo de generación* o tiempo de duplicación. En una sola generación se duplica el número de células o masa celular, en minutos en ocasiones en horas o días.

Crecimiento exponencial

Modelo de incremento de la población en el que el número de células se dobla cada cierto período de tiempo. Una de las características del crecimiento exponencial es que la velocidad de incremento en el número de células es lenta inicialmente pero después incrementa constantemente. Como muestra la figura 1, típica curva de crecimiento exponencial expresada aritméticamente, la pendiente va incrementando progresivamente. Esta figura se obtuvo de un crecimiento de una única célula que tiene un tiempo de generación de 30

minutos, tabla 1. En la figura 2 se presenta el número de células en escala logarítmica versus tiempo en escala aritmética (Gráfico semilog) lo que da una línea recta, este es un inmediato indicador de que las células están creciendo exponencialmente. Este tipo de gráficos semilog es útil para la estimación de tiempos de generación a partir de datos experimentales, el tiempo de generación puede leerse directamente a partir del gráfico figura 3.

Tiempo (horas)	Número total de células
0	1
0.5	2
1	4
1.5	8
2	16
2.5	32
3	64
3.5	128
4	256
4.5	512
5	1.024
5.5	2.048
6	4.096
.	.
.	.
10	1.048.576

Tabla 1. Incremento del número de células en el tiempo.

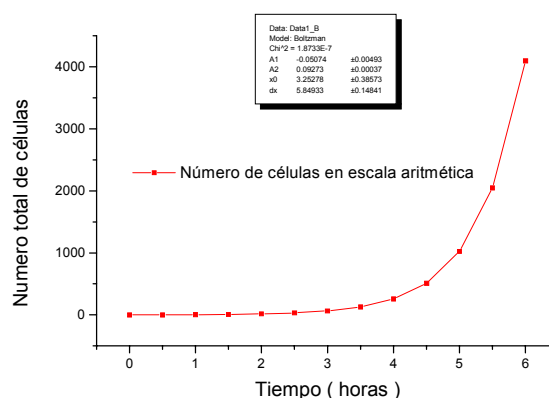


Figura 1. Velocidad de crecimiento de un cultivo microbiano. Escala lineal. Datos de la población duplicada cada 20 minutos.

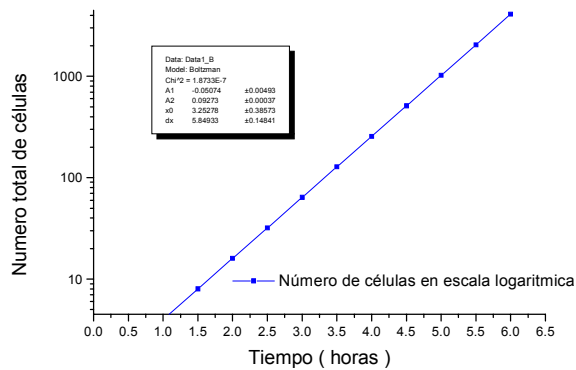


Figura 2. Velocidad de crecimiento de un cultivo microbiano. Escala logarítmica

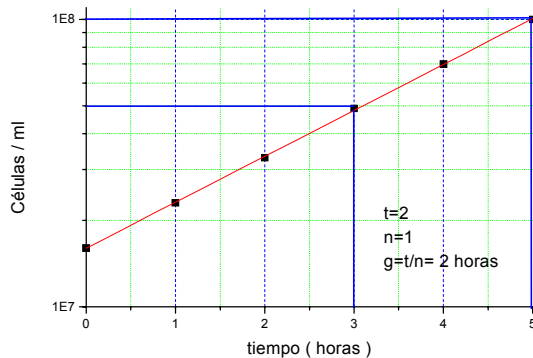


Figura 3. Modelo de estimación de los tiempos de generación.

En algunos casos es necesario emplear una ecuación diferencial para expresar relaciones cuantitativas de crecimiento:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X$$

$$\frac{dX}{X} = \mu dt$$

$$\int_{X_0}^X \frac{dX}{X} = \int_0^t \mu dt$$

$$\ln X - \ln X_0 = \mu t \quad (1)$$

$$\ln\left(\frac{X}{X_0}\right) = \mu t$$

$$\frac{X}{X_0} = e^{\mu t}$$

$$X = X_0 e^{\mu t}$$

Duplicación de la población

$$\frac{X}{X_0} = 2$$

$$2 = e^{\mu t_{gen}}$$

$$\ln 2 = \mu t_{gen}$$

$$\mu = \frac{\ln 2}{t_{gen}} = (\ln 2) \frac{1}{t_{gen}}$$

$$\mu = (\ln 2)K = 0.693K$$

Reemplazando en (1)

$$\ln X - \ln X_0 = 0.693K t$$

$$K = \frac{\ln X - \ln X_0}{0.693 t}$$

Donde K es la constante de crecimiento para un cultivo cerrado, μ y K están relacionadas y reflejan el proceso de crecimiento de una población que incrementa exponencialmente.

Las densidades poblacionales bacterianas se expresan en notación científica mediante potencias de 10, por tanto en la ecuación

$$X = X_0 e^{\mu t}$$

se pueden convertir los logaritmos neperianos a los logaritmos base 10 y sustituir la constante instantánea μ por K:

$$K = \frac{\log_{10} X_t - \log_{10} X_o}{0.301t}$$

Cálculo del tiempo de generación

Para muchos propósitos en microbiología es útil conocer el tiempo de generación de una población microbiana durante el crecimiento exponencial, de la figura 2 se deduce que el crecimiento bacteriano exponencial es una progresión geométrica, existe una relación directa entre el número de células presente en el momento inicial y el habido en un momento determinado del crecimiento exponencial así:

$$N = N_0 2^n$$

N= número final de células, No= número inicial de células y n= número de generaciones que ha ocurrido durante el período de fase exponencial, el tiempo de generación de la fase exponencial se calcula t/n, donde t= horas o minutos de crecimiento exponencial y conociendo N y No, es posible calcular el número de generaciones y a su vez el tiempo de generación.

Para expresar la ecuación $N = N_0 2^n$ en términos de n, es necesario la siguiente transformación

$$N = N_0 2^n$$

$$\log_{10} N = \log_{10} N_0 + n \log_{10} 2$$

$$n = \frac{\log_{10} N - \log_{10} N_0}{\log_{10} 2}$$

$$n = \frac{\log_{10} N - \log_{10} N_0}{0.301}$$

De la figura 3 para un tiempo de generación de 2 horas. $N = 10^8$, $N_0 = 5 \times 10^7$.

$$n = \frac{\log 10^8 - \log (5 \times 10^7)}{0.301}$$

$$n = 9 - 8.69 / 0.301 = 1$$

Por lo tanto el tiempo de generación, $g = t/n = 2/1 = 2$ horas. El tiempo de generación puede calcularse de la pendiente en un gráfico semilog de crecimiento exponencial, como pendiente = $0.301/g$. Con el conocimiento de n y t se puede calcular g para microorganismos creciendo exponencialmente, bajo diferentes condiciones de crecimiento.

Ejercicio

Tiempo (horas)	Número total de células
0	300.000
2	1.41×10^8
4	9.95×10^{10}
6	3.3×10^{14}
8	2.7×10^{16}
14	1.22×10^{26}
18	2.16×10^{29}

-Sin hacer aproximación por mínimos cuadrados, calcule

-Grafique y obtenga μ y K.

-Obtenga el tiempo de duplicación gráfico y teórico.

Ciclo de crecimiento de poblaciones

Se ha visto el ciclo de crecimiento parcialmente en la parte de crecimiento exponencial. Un cultivo bacteriano simple y homogéneo tiene un ciclo de crecimiento como el que se representa a continuación. puede dividirse en varias fases:

Fase de latencia, exponencial, estacionaria y de muerte, ver figura 4.

Fase de latencia: Cuando una población microbiana se inocula en un medio fresco, el crecimiento ocurre después de cierto tiempo. Si un cultivo en crecimiento exponencial se inocula exactamente el mismo medio, no se observa esta fase sino que sigue creciendo exponencial, se requiere cuando las células se toman de un cultivo viejo, también cuando las células han sido dañadas por tratamientos: radiaciones, tóxicos, calor,

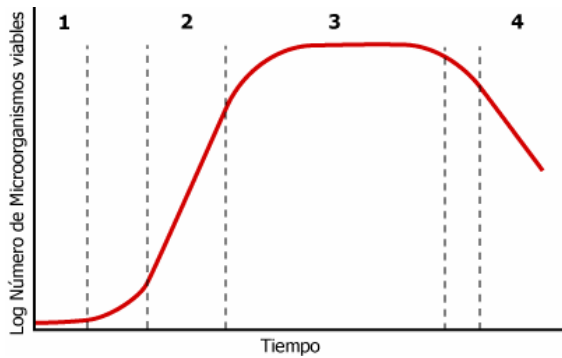


Figura 4. Curva típica de crecimiento de una población bacteriana (4).

también cuando se pasan de un medio rico a un medio pobre.

Fase exponencial: Es la consecuencia de que una célula se divida en dos, estas en otras dos y así sucesivamente, la mayoría crecen exponencialmente pero las velocidades de crecimiento exponencial pueden variar esencialmente. Es influenciada por las condiciones ambientales (temperatura, composición del medio de cultivo) y por las características genéticas del microorganismo las procariontas crecen más rápidamente que las eucariotas.

Fase estacionaria: En un cultivo donde no se renueva el medio un cultivo el crecimiento exponencial no puede ocurrir indefinidamente. Una bacteria pesa alrededor de una billonesima de gramo (10^{-12} g), cada 20 minutos en 18 horas producirá una población bacteriana cerca de 4000 veces el peso de la tierra, obviamente es imposible mantener ese ritmo de crecimiento. Habitualmente un nutriente esencial del medio de cultivo se acaba, o algún producto de desecho se acumula en el medio hasta que alcanza una concentración inhibitoria de crecimiento exponencial. La población alcanza la fase estacionaria. No hay incremento neto o decremento del número de células. Sin embargo, aunque no hay crecimiento, ocurren funciones celulares, incluyendo el metabolismo bioenergético y algunos procesos biosintéticos. Algunos microorganismos pueden tener un crecimiento lento, algunas células crecen y otras mueren, siendo el balance total de ausencia de

incremento en el número de células, esto se conoce como *crecimiento críptico*.

En *E. coli* se han identificado genes que son necesarios para la supervivencia durante esta fase genes *sur*, si existen mutaciones conducen rápidamente a la muerte celular a medida que entran en la fase estacionaria.

Fase de muerte: Si la incubación continua después que la población alcanzó la fase estacionaria las células entran en fase de muerte, en algunos casos acompañada de lisis celular, es también de acuerdo a la figura 4 una función exponencial. Sin embargo, en muchos casos la velocidad de muerte es mucho más lenta que la velocidad de crecimiento exponencial.

Medición del crecimiento

Se mide siguiendo los cambios en el número de células o el peso de la biomasa celular. Existen diversos métodos para contar el número de células o para estimar la masa celular dependiendo del microorganismo.

Contaje total de células

-Contaje directo, en muestras secas o líquidas, en líquidas se requiere de una cámara especial de Petroff-Hausser:

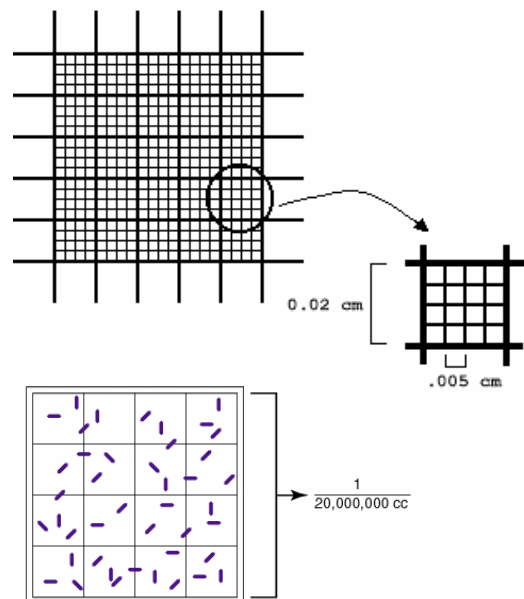
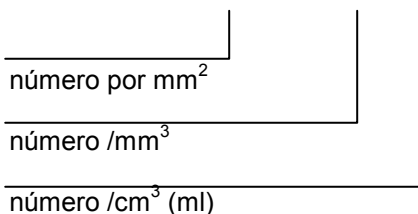


Figura 5. Contaje microscópico directo usando la cámara de de Petroff-Hausser (2).

Para la observación microscópica; se cuentan todas las células en un cuadrado; por ejemplo 12 células (en la práctica se halla la media de varios cuadrados), cada rejilla tiene 25 cuadrados grandes y un área total de 1 mm² y un volumen de 0.02 mm³. Para calcular el número por mililitro de muestra:

$$12 \text{ células} \times 25 \text{ cuadrados} \times 50 \times 10^3 = 1.7 \times 10^7$$



Cuando la muestra no está teñida se requiere un microscopio de contraste de fases.

-Contaje de viables

El anterior cuenta tanto células vivas como células muertas, para el contaje de vivas está el método de contaje para viables, contaje en placa o contaje de colonias, una colonia es una célula viable que puede dar lugar a una colonia, ver figura 6.

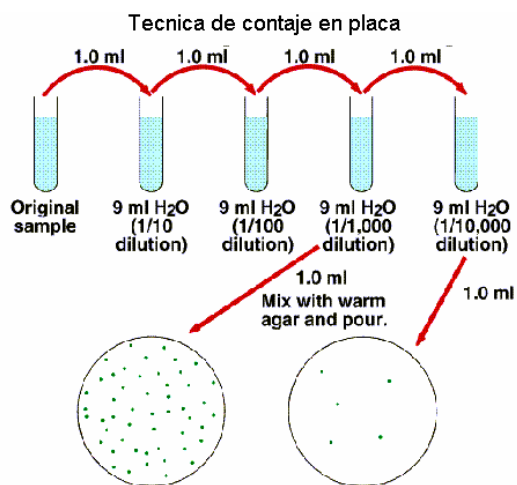


Figura 6. Técnica de contaje en placa (2).

Se puede hacer de dos maneras:

Siembra en superficie: se siembra con una asa de siembra y se incuban las colonias, se cuentan las que crezcan en la superficie.

Vertido en placa: Es una siembra a profundidad, se pipetea un volumen conocido (0.1-1 ml) en el medio de cultivo fundido previamente y enfriado a 40 °C,

se vierte se mezcla e incuba. El organismo debe resistir 40-45 °C. Se cuentan tanto las colonias de superficie como las que están sumergidas en el medio.

El número de colonias debe oscilar entre 30-300. Si se obtiene este número en la dilución 1/1000, por ejemplo 159 colonias x factor de dilución (10³), es el recíproco de la dilución (10⁻³), se reporta 1.59 x 10⁵ UFC/ml de muestra.

Medidas de masa celular y de turbidez

A veces es más importante estimar la masa celular que el número. Como son proporcionales se determina un parámetro para estimar el otro. La masa seca obtenida por peso seco es aproximadamente el 10% y el 20% de la masa húmeda. Otro método son las medidas de turbidez, aunque muestras por encima de 0.5 de D.O pierden linealidad.

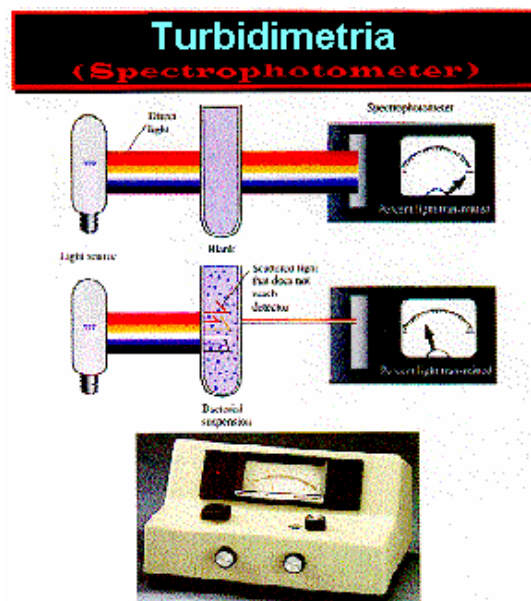


Figura 7. Espectrofotometro para medir difracción de la luz (3)

Este método se emplea ampliamente para seguir el crecimiento de cultivos microbianos; se puede medir repetidamente la misma muestra y construir gráficos semilog para calcular tiempos de generación, ver figura 7.

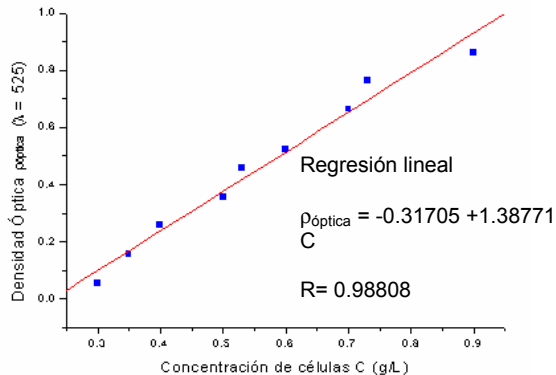


Figura 7. Curva patrón de biomasa para *Acetobacter acetii* (8)

Nutrición y condiciones de crecimiento como agentes selectivos en poblaciones naturales

Los microorganismos en la naturaleza son capaces de mejorar el papel de recicladores de la materia orgánica e inorgánica, ya que existen diversas especies y diferentes requerimientos metabólicos, ejemplo *Streptococcus lactis*, es un importante miembro de un digestor anaerobio y en una herida humana puede causar gangrena, debido a su habilidad de digerir proteínas anaerobicamente. Es importante entender los hábitat de crecimiento de los microorganismos porque los Ingenieros Ambientales a menudo dirigen e intentan el control de microorganismos en su hábitat natural.

Los microorganismos y su hábitat

Las especies comprenden las poblaciones microbianas y estas son seleccionadas para interactuar con el ambiente y unas a otras: *hábitat natural*. Los microorganismos debido a su tamaño son dispersados por aire y agua a grandes distancias, entonces, existen diferentes tipos de microorganismos que se introducen en un hábitat y proliferan; las condiciones físicas y nutricionales de los microorganismos mezclados es la mejor adaptación a ese ambiente. Muchos ambientes son capaces de soportar el crecimiento de muchas especies microbianas diferentes, el balance de especies se ajusta frecuentemente debido a los pequeños cambios nutricionales y de condiciones físicas. Otros ambientes son restrictivos y habitados por unos pocos tipos especializados de microorganismos. El hecho de que los factores

nutricionales y físicos afectan el crecimiento de los microorganismos nos permite predecir el tipo de microorganismo que predomina en cierto hábitat, cada microorganismo debe ser aislado en un cultivo puro y ser determinados los requerimientos. Este conocimiento es esencial para el control de los habitantes microbianos en un hábitat natural.

Los *factores físicos* actúan en general como agentes selectivos, porque determinan el tipo de microorganismo capaz de crecer y su influencia sobre la tasa de crecimiento en otros microorganismos.

Los *factores químicos* pueden o no ser selectivos, carbono y nitrógeno se usan y se requieren en formas específicas, Mg y Fe son usados en la misma forma por todos los microorganismos, en pequeñas cantidades pueden ejercer una presión selectiva.

Efecto de los factores ambientales sobre el crecimiento

Entendiendo la influencia medio ambiental sobre los microorganismos se explica como se distribuyen, métodos de control y cual condición ambiental es más benéfica para uno u otro microorganismo. Los factores más importantes son: Temperatura, pH, Disponibilidad del agua y oxígeno.

Los factores más importantes son: Temperatura, pH, Disponibilidad del agua y oxígeno.

Uno de los factores más importantes en la selección de especies es la temperatura. Cada microorganismo es capaz de crecer solamente entre un rango específico de temperaturas. Puede ser estrecho para patógenos, ejemplo *Neisseria gonorrhoeae*.

Para cada microorganismo existe un a temperatura mínima por debajo de la cual no existe crecimiento, una temperatura óptima, a la cual el crecimiento es lo más rápido posible y una temperatura máxima a la cual no existe crecimiento. La temperatura óptima siempre esta más cerca de la máxima que de la mínima. Se denominan temperaturas cardinales, características de cada microorganismo y pueden variar ligeramente de acuerdo a la composición del medio de cultivo. Las temperaturas cardinales para un microorganismo difieren enormemente; algunos poseen temperaturas tan bajas como 5-10 °C y otros hasta 100 °C. El rango de temperaturas es mucho más amplio, desde puntos por debajo de la congelación del agua hasta 110 °C que es el caso

de la Arquea *Pyrodictium brokii*. El rango habitual de crecimiento es de unos 30 °C, aunque no es constante para todos los microorganismos.

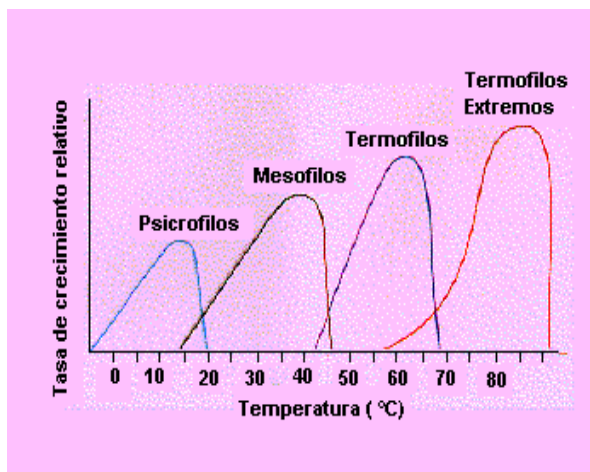


Figura 8. relación de la temperatura y la tasa de crecimiento para un psicrófilo, mesófilo, termófilo y termófilo extremo (5).

Clases de microorganismos según la temperatura

Es posible distinguir cuatro grupos microbianos en relación con su temperatura óptima: psicrófilos, con temperaturas óptimas bajas, mesófilos, con temperaturas óptimas medianas, termófilos, con temperaturas óptimas más altas, hipertemófilos o termófilos extremos, con temperaturas muy altas.

Acidez y Alcalinidad

Se expresa en una escala en la que la neutralidad es 7. El pH es una función logarítmica, un cambio en una unidad de pH representa 10 veces el cambio en la concentración de hidrogeniones, ver figura 9.

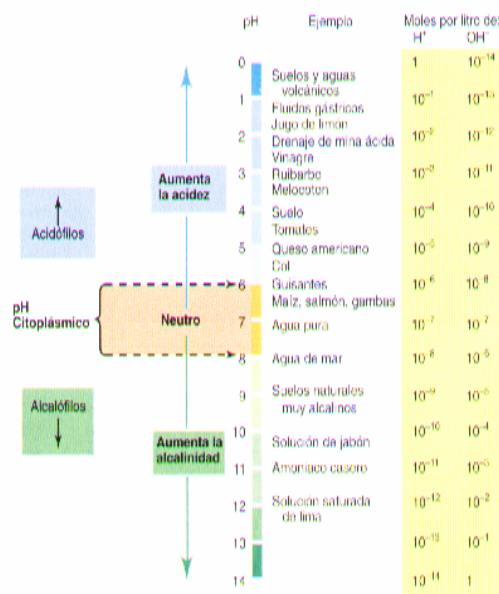


Figura 9. Escala de pH (5).

Cada organismo tiene un rango de pH dentro del cual es posible el crecimiento y normalmente posee un pH óptimo muy bien definido. La mayoría de los ambientes naturales tienen pH de 5.9, sólo pocos crecen a pH menores de 2 y mayores de 10. Los que crecen a pH menores de 2 son *acidófilos*, los hongos tienden a soportar la acidez más que las bacterias. Los microorganismos que posean un pH mayor de 10 se denominan *alcalófilos*, se encuentran generalmente en suelos altamente carbonatados, son importantes industrialmente ya que poseen proteasas alcalinas, son empleadas como suplemento para detergentes. Independiente del pH extracelular el pH intracelular debe permanecer cercano a la neutralidad, con el objeto de impedir la destrucción de las macromoléculas. En acidófilos o alcalófilos extremos el pH debe variar en 1.0 y 1.5 unidades respecto a la neutralidad, pero para los neutrofilos (pH 6.0-8.0), el pH del citoplasma es neutro o casi neutro.

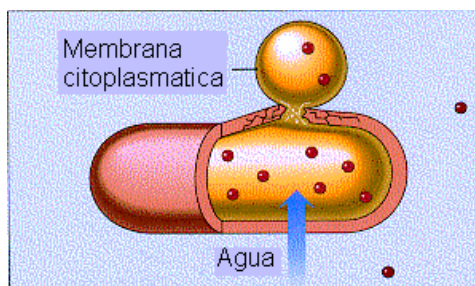
Disponibilidad del agua

Es importante para el crecimiento microbiano, depende del contenido de agua del ambiente y de la concentración de solutos en ella. Esto es porque las sustancias disueltas tienen gran afinidad por el agua, por esto en asociación a los solutos es inutilizable por los microorganismos.

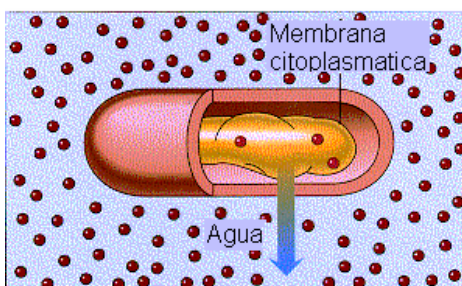
Actividad del agua y Osmosis

La disponibilidad del agua se expresa generalmente en términos físicos como *actividad del agua*, abreviadamente (a_w), es la razón entre presión de vapor del aire en equilibrio con una sustancia en solución y la presión de vapor, a la misma temperatura del agua pura. Por tanto sus valores varían entre 0-1.

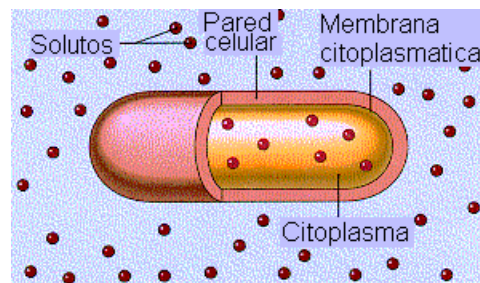
El agua difunde desde una región de elevada concentración (baja concentración de soluto) a otra en la que la concentración del agua es menor (concentración de soluto más alta), en un proceso que denominamos *osmosis*. La mayoría de las veces el citoplasma celular posee una mayor concentración de solutos que el medio exterior, de modo que el agua difunde hacia el interior celular, se dice que hay un balance de agua positivo, ver figura 10 a). Sin embargo cuando una célula esta en un ambiente con baja a_w , existe una tendencia de salida del agua intracelular. Por tanto, cuando una célula se introduce en una solución con baja a_w , tal como una disolución de sal o azúcar, *pierde* agua y se produce *plasmolisis*. La disolución de sal o azúcar puede considerarse como un ambiente seco.



a) balance de agua positivo



b) Plasmolisis



b) Estado de equilibrio

los efectos osmóticos en la naturaleza son de interés principalmente en hábitats con elevadas concentraciones salinas. El agua de mar contiene alrededor del 3% de cloruro sódico, y pequeñas cantidades de elementos y minerales. Los microorganismos aislados del mar *halófilos*, requieren por tanto cloruro sódico, pero la concentración óptima varía de un microorganismo a otro; *moderadamente halófilo* 6-15% de cloruro sódico, *discretamente halófilo* entre 1-6% de sal. Con baja a_w los microorganismos se mueren o pasan a formas durmientes por tiempo indefinido. Los *halotolerantes* soportan cierta baja a_w . Por el contrario otros crecen en baja a_w , con muy alta concentración salina *halófilos extremos*, requieren 15-30% de cloruro sódico para crecer. Los que crecen en altas concentraciones de azúcar *osmófilos* y en ambientes muy secos *xerófilos*.

Oxígeno

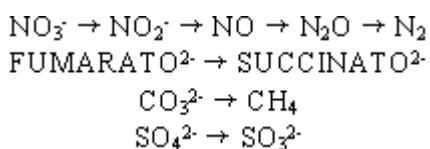
Basados en los requerimientos de oxígeno molecular las bacterias se pueden dividir en 5 grupos:

Aerobios obligados: requieren oxígeno para el crecimiento pues dependen de este elemento para cubrir sus necesidades energéticas. Crecen con tensión de oxígeno total (aire 21%) e incluso concentraciones mucho mayores. El oxígeno es el aceptor final de electrones en la cadena respiratoria.

Microaerófilos: sólo pueden crecer con bajas tensiones de oxígeno porque las altas tensiones son tóxicas para este tipo de microorganismos (1 a 12% de O_2 en la fase gaseosa). Por su limitada capacidad de respirar o porque contienen una enzima sensible al oxígeno. La energía la obtienen por respiración aeróbica, cuando no hay aceptores electrónicos terminales alternativos, o anaeróbica.

Anaerobios aerotolerantes: pueden crecer en presencia o ausencia de oxígeno, pero la energía la obtienen por fermentación. No pueden utilizar el oxígeno.

Anaerobios obligados: crecen en ausencia total de oxígeno porque necesitan un medio muy reductor. Mueren en presencia de oxígeno; tal vez porque son incapaces de eliminar algún producto tóxico proveniente del metabolismo del oxígeno como: peróxido de hidrógeno (H_2O_2), Superóxido (O_2^-) y radicales de hidróxilo (OH^\cdot). Muchos anaerobios estrictos son ricos en enzimas flavínicas, que reaccionan espontáneamente con el oxígeno para dar estos productos tóxicos. Los aerobios contienen enzimas que descomponen estos productos tóxicos, las cuales no poseen los anaerobios. Utilizan respiración anaerobia donde los aceptores finales de electrones pueden ser generalmente SO_4^{2-} , Fumarato $^{2-}$ o CO_3^{2-} .



Anaerobios facultativos: pueden crecer en presencia o ausencia de oxígeno. Utilizan al oxígeno como aceptor final de electrones en la cadena respiratoria cuando está disponible, y en ausencia de oxígeno la energía la obtienen por fermentación o respiración anaerobia (generalmente el NO_3^- es un aceptor final de electrones en las enterobacterias).

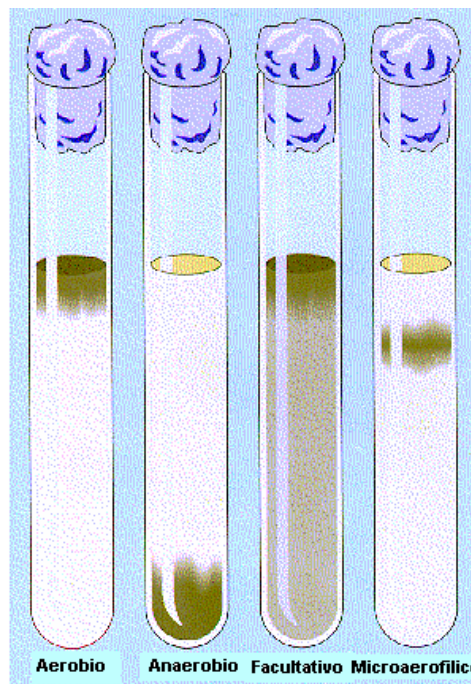
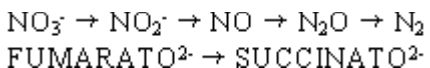


Figura 11. Crecimiento aeróbico, anaeróbico, facultativo y microaerofílico (6).

Cultivo microbiano y efecto del oxígeno

Formas tóxicas del oxígeno

El oxígeno es un oxidante poderoso y excelente aceptor de electrones para la respiración, su forma normal se le conoce como *tripleto de oxígeno*, su forma normal de oxígeno tóxico se le conoce como *singlete de oxígeno*, una forma de mayor energía en la que la capa más externa de electrones que rodean el núcleo se hace altamente reactivo y son capaces de llevar a cabo una serie de oxidaciones indeseables dentro de la célula, se produce bioquímicamente por acción de las peroxidasas. Los microorganismos que se encuentran corrientemente con singletes de oxígeno son las bacterias del aire o fototróficas, contienen *caratenoides* que los transforman a formas no tóxicas.

Otras formas tóxicas incluyen *anión superóxido* (O_2^-), *peróxido de hidrógeno* (H_2O_2) y el *radical hidróxilo* se producen durante el proceso de reducción del oxígeno hasta agua durante la respiración. Flavoproteínas, quinonas, tioles y proteínas que contienen azufre, pueden reducir el

(H₂O₂) hasta (O₂⁻) que es altamente reactivo y puede oxidar cualquier compuesto orgánico incluyendo las macromoléculas. Los (H₂O₂) pueden dañar componentes celulares, pero no son tóxicos como (O₂⁻) y los (HO⁻), estos últimos constituyen la forma más tóxica del oxígeno, afortunadamente es una forma transitoria y sólo producidos por radiaciones ionizantes. Se pueden originar pequeñas cantidades de (HO⁻) a partir de (H₂O₂), figura 12, pero cuando no se acumulan estos peróxidos, se elimina la fuente de radicales hidróxilo-

Reduccion del oxigeno hasta agua

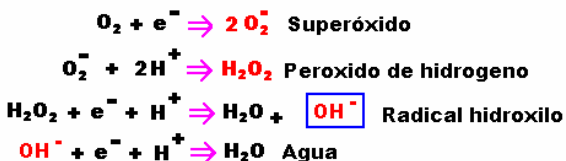


Figura 12. Reducción del oxígeno hasta agua mediante la incorporación secuencial de electrones. Todos los compuestos intermediarios que se forman son altamente reactivos y tóxicos para las células (5).

Enzimas que destruyen las formas tóxicas del oxígeno

Con tantas formas tóxicas los microorganismos han desarrollado formas enzimáticas capaces de destruirlas, figura 13. la más común es la *catalasa*, destruye el peróxido de hidrógeno, figura 13 a), otra enzima que actúa sobre esta forma tóxica es la *peroxidasa*, que difiere de la catalasa en que requiere un agente reductor normalmente el NADH, originando agua como producto, figura 13 b), La superóxido dismutasa (SOD), combina dos moléculas de superóxido para formar una molécula de peróxido de hidrógeno y una molécula de oxígeno, figura 13 C), la SOD y la catalasa trabajan juntas para llevar a cabo la conversión de superóxidos de vuelta al oxígeno, figura 13 d). Los aerobios y aerobios facultativos, generalmente contienen SOD y catalasa. La ausencia de SOD en anaerobios obligados es la razón por la que el oxígeno es tóxico para ellos.

Mecanismos protectores

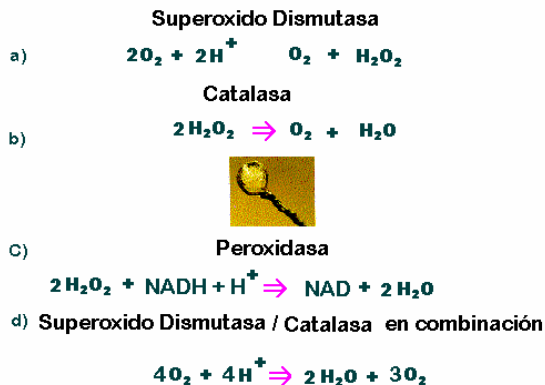


Figura 13. Mecanismos protectores de bacterias (3)

Carbono

Este elemento puede aportarse a los microorganismos en forma muy diversa dependiendo del tipo de metabolismo que posean. El carbono es utilizado por los microorganismos para sintetizar los compuestos orgánicos requeridos para las estructuras y funciones de la célula.

Los microorganismos se pueden dividir en categorías nutricionales en base a dos parámetros: naturaleza de la fuente de energía y naturaleza de la fuente principal de carbono (Estas propiedades metabólicas fueron seleccionadas arbitrariamente y no brinda una descripción completa de las necesidades nutricionales de un organismo).

Fototrofos: utilizan luz como fuente de energía.

Quimiotrofos: la fuente de energía es química.

Autotrofos: utilizan como fuente de carbono al CO₂ y a partir del cual sintetizan los esqueletos carbonados de los metabolitos orgánicos.

Heterotrofos: utilizan compuestos orgánicos como fuente de C y electrones.

Combinándose estos dos parámetros se pueden establecer cuatro categorías principales de organismos:

Fotoautotrofos: dependen de la luz como fuente de energía y utilizan CO₂ como principal fuente de carbono. Vegetales superiores, bacterias fotosintéticas, algas eucarióticas, etc.

Fotoheterotrofos: utilizan luz como fuente de energía y emplean compuestos orgánicos como fuente de carbono. Algunas bacterias fotosintéticas y algas eucarióticas.

Quimioautotrofos: utilizan CO₂ como fuente de carbono y emplean fuentes de energía química proveniente generalmente de compuestos inorgánicos reducidos (H₂, S²⁻, NH₄⁺, etc).

Asimilación de NH³ y sales de amonio: el nitrógeno es transferido con este estado de oxidación a los aminoácidos por la vía de la glutamato/glutamina.

Fijación de Nitrógeno: el N₂ es reducido dentro de la célula a NH⁴⁺ y metabolizado.

Reducción asimiladora de Nitratos: los nitratos son reducidos dentro de la célula por la vía de los nitritos a NH₃ y metabolizado.

Hidrolizados proteicos: los microorganismos incapaces de asimilar el nitrógeno de sales inorgánicas, lo obtienen a través de compuestos orgánicos nitrogenados como los hidrolizados proteicos. Estos compuestos proteicos son a su vez hidrolizados por enzimas bacterianas, fuera de la célula, a aminoácidos, los que después son metabolizados dentro de la célula.

Clasificación Nutricional

- **Energía**
Quimiotrofos - fototrofos
- **Electrones (Hidrógeno)**
Organotrofos - Litotrofos
- **Carbono**
Heterotrofos - Autotrofos

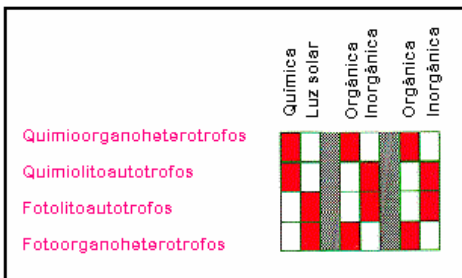


Figura 14. Clasificación Nutricional (6)

Quimioheterotrofos: utilizan compuestos orgánicos como fuente de carbono y energía. Los compuestos orgánicos también se comportan como fuente de electrones. Este grupo está integrado por animales superiores, hongos, protozoos y la mayoría de las bacterias.

Nitrógeno

El nitrógeno es utilizado por las bacterias para formar aminoácidos, pirimidinas, purinas, etc, y puede provenir de fuentes diferentes.

Azufre

El azufre puede ingresar en la célula reducido (grupos sulfhidrilos), como sulfato (debe ser reducido dentro de la célula para metabolizarse) o como aminoácidos azufrados. El azufre es utilizado para la síntesis de aminoácidos azufrados como la cisteína o metionina, que tienen un papel muy importante en la estructura terciaria de las proteínas (formación de puentes S-S) y en el sitio catalítico de enzimas.

Factores de Crecimiento

Son compuestos orgánicos que el microorganismo es incapaz de sintetizar a partir de los nutrientes y son fundamentales para la maquinaria metabólica de la célula. Son vitaminas, aminoácidos, purinas, pirimidinas, etc.

En relación al requerimiento de factores de crecimiento los microorganismos se pueden dividir en:

Protótrofos: microorganismos que sintetizan sus propios factores de crecimiento.

Auxótrofos: microorganismos que requieren una fuente exógena de factores de crecimiento debido a que son incapaces de sintetizarlos.

Mestría. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, 2001.

Iones Inorgánicos

Son esenciales para el crecimiento porque estabilizan los compuestos biológicos como enzimas, ribosomas, membranas, etc. Los iones requeridos para el crecimiento bacteriano son aportados en el medio a través de sales que contienen K^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , PO_4^{3-} , Fe^{2+} , Fe^{3+} y trazas de Cu^{2+} , Co^{2+} y Zn^{2+} .

Bibliografía

En línea:

1. <http://bacterio.cbm.uam.es/jlsanz/docencia/teoria.html#17>.
2. http://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/14_Micro.html#deter Consulta en Mayo de 2002.
3. <http://edicion-micro.usal.es/web/educativo/micro2/tema31.html> Consulta en Mayo de 2002.
4. <http://www.cat.cc.md.us/courses/bio141/labmanua/lab4/appb.html> Consulta en Mayo de 2002.
5. <http://www.microbiologia.com.ar/bacteriologia/fisiologia.php?Mostrar=medida> Consulta en Mayo de 2002.
6. <http://www.brooklyn.cuny.edu/bc/ahp/CellBio/Growth/MGDirect.html> Consulta en Mayo de 2002.
7. <http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.tusculum.edu/faculty/home/ivanlare/html/microbiology/learning/learn18.html&prev=/search%3Fq%3DPetroff-Hausser%26start%3D30%26hl%3Des%26ie%3DUTF8%26oe%3DUTF8%26sa%3DN> Consulta en Mayo de 2002.
8. Ocampo Quijano L. Eloísa. Inmovilización de células de *Acetobacter acetii* en soportes elaborados por técnica Sol-Gel. Tesis de