

Modelo matemático del crecimiento de bacterias

1. [Concepto y expresión matemática del crecimiento bacteriano](#)
2. [Concepto de muerte de un microorganismo](#)
3. [¿Qué necesita un microorganismo para crecer?](#)
4. [Detección y medida del crecimiento](#)
5. [Ciclo de crecimiento de poblaciones](#)
6. [Factores físicos y químicos que influyen en el crecimiento bacteriano](#)
7. [Caso real](#)
8. [Conclusiones](#)
9. [Recomendaciones](#)
10. [Bibliografía](#)
11. [Anexo](#)

CONCEPTO Y EXPRESIÓN MATEMÁTICA DEL CRECIMIENTO BACTERIANO.

Entendemos por **crecimiento microbiano** el aumento del número de microorganismos a lo largo del **tiempo**. Por tanto, no nos referimos al crecimiento de un único **microorganismo** (*ciclo celular*) sino al demográfico de una **población**. En este tema nos centraremos en el **crecimiento de bacterias**, el estudio que se hace puede servir también para entender el crecimiento de levaduras y de otros **hongos**. El crecimiento de los **virus** se produce de otra forma diferente y será tratado al final de este capítulo.

Denominamos **ciclo celular** al **proceso** de **desarrollo** de una bacteria considerada de forma aislada. A lo largo del ciclo celular, tiene lugar la replicación del material de la bacteria, la **síntesis** de sus componentes celulares, el crecimiento para alcanzar un tamaño doble del inicial y su división por bipartición de la bacteria para dar lugar a dos **células** hijas. La duración del ciclo celular coincide con el tiempo de generación y depende, en general, de los mismos factores de los que depende este.

El crecimiento de una población resulta de la suma de los ciclos celulares de todos sus individuos. Este crecimiento suele ser asincrónico puesto que cada microorganismo se encuentra en un punto diferente del ciclo celular. Por consiguiente, en un momento determinado en una población se encuentran células que acaban de dividirse, otras que están replicando su **ADN** y elongándose, otras que están iniciando la división celular, etc.

En un crecimiento sincrónico todas las células se encuentran simultáneamente en la misma fase del crecimiento celular. Los cultivos sincrónicos son muy difíciles de mantener por lo que su importancia está principalmente ligada a los estudios básicos de **biología** microbiana. Sin embargo, en la **naturaleza**, las **bacterias** del **suelo** se encuentran en condiciones de crecimiento próximas a la fase estacionaria (en la que se produce una cierta sincronización del cultivo) y, por consiguiente, durante cierto tiempo las poblaciones naturales probablemente se comporten como relativamente sincrónicas.

Las poblaciones de bacterias pueden crecer de una **forma explosiva** acumulando grandes números en un periodo de tiempo muy reducido. Puesto que el efecto nocivo (infecciones o **intoxicaciones**) de los microorganismos depende de su número en la mayoría de los casos, entender cómo se produce el crecimiento microbiano es importante para **poder** evitar o reducir dichos efectos nocivos.

Se denomina **crecimiento equilibrado** a aquél en el que todos la biomasa, número de células, cantidad de **proteínas**, de **ADN**, etc., evolucionan en paralelo. El crecimiento equilibrado probablemente ocurra en muy contadas ocasiones en condiciones naturales.

Por tanto, es principalmente un **concepto** de aplicación en el **laboratorio**. Sin embargo, es útil porque permite estudiar el crecimiento de microorganismos.

Las bacterias crecen siguiendo una **progresión geométrica** en la que el número de individuos se duplica al cabo de un tiempo determinado denominado **tiempo de generación** (\hat{o}). De esta forma, podemos calcular el número de bacterias (N) al cabo de un número de generaciones (n) usando la ecuación siguiente:

$$N = N_0 2^n$$

siendo N_0 el número de células en el momento actual. El número de generaciones se puede calcular de la siguiente forma:

$$n = t / \hat{o}$$

donde t es el tiempo transcurrido.

Los tiempos de generación de bacterias creciendo en ambientes favorables pueden ser muy cortos (**valores** de \hat{o} de 20 min). Esto lleva a que una única **célula** ($N_0 = 1$) creciendo con un $\hat{o} = 20$ min, llegue a poder producir 4.7×10^{21} células en 24 horas.

Si la bacteria crece en un medio líquido, las células que se producen en cada división continúan su vida independientemente en la mayoría de los casos formando una **suspensión** de células libres.

Cuando una célula aislada comienza a crecer sobre un substrato sólido, el resultado del crecimiento al cabo del tiempo es una **colonia**. Se denomina **unidad formadora de colonia (UFC)** a una célula viva y aislada que se encuentra en un substrato y en condiciones ambientales adecuadas y produce una colonia en un breve lapso de tiempo.

Una UFC también puede corresponder a más de una célula cuando éstas forman parte de **grupos** unidos fuertemente (estreptococos o diplococos, por ejemplo) ya que cada **grupo** formará una sola colonia.

Cuando algunos tipos de bacterias o de levaduras patógenas crecen sobre superficies forman **biopelículas (biofilms)** en los que las células se asocian entre sí mediante capas de polisacáridos que forman una película que recubre la superficie sobre la que se encuentran las células.

Los biofilms son muy importantes porque los microorganismos que los forman resultan más resistentes a antibióticos y al ataque de células del **sistema** inmune y, por consiguiente, las infecciones que producen son más difíciles de tratar. La presencia de biopelículas es un problema serio en los **implantes ortopédicos**, catéteres, etc. El sarro de los dientes es un ejemplo de biofilm.

CONCEPTO DE MUERTE DE UN MICROORGANISMO.

Desde el punto de vista microbiológico, un microorganismo muere cuando pierde de forma irreversible la capacidad de dividirse. El fundamento de esta definición es que si un microorganismo ha perdido la capacidad de dividirse no podrá formar una colonia sobre un medio de cultivo y no será posible detectar su presencia por los **métodos** microbiológicos tradicionales.

Es decir: cuando no se produce aumento en el número de microorganismos no hay crecimiento. Sin embargo, un microorganismo puede estar muerto desde el punto de vista microbiológico y continuar desarrollando una actividad metabólica que se traduzca, por ejemplo, en liberación de toxinas.

Por otra parte, hay que considerar que la capacidad de multiplicación (crecimiento) de un microorganismo puede verse transitoriamente afectada por lesiones o por las condiciones físicas o químicas del entorno. En estos casos, podríamos considerar como muertos microorganismos que pueden reanudar su crecimiento si las condiciones son de nuevo favorables.

¿QUÉ NECESITA UN MICROORGANISMO PARA CRECER?

El aislamiento de bacterias a partir de muestras naturales se realiza, en la mayoría de los casos, mediante la **producción** de **colonias aisladas** en cultivos sólidos.

El crecimiento explosivo de las bacterias produce un gran número a partir de una única célula inicial de forma que, tras un periodo de tiempo de **incubación** en las condiciones ambientales adecuadas, se produce una colonia de individuos iguales.

Para crecer, un microorganismo necesita nutrientes que le aporten energía y elementos químicos para la síntesis de sus constituyentes celulares.

Dependiendo de la fuente de **carbono** que utilizan, los microorganismos se pueden clasificar en:

- **autotrofos:** si es el CO₂ atmosférico (microorganismos que fotosintetizan)
- **heterotrofos** si utilizan carbono orgánico.

Los microorganismos de importancia clínica son todos ellos heterótrofos.

La **fórmula elemental** de un microorganismo es, aproximadamente, **C₄H₇O₂N** lo que supone que los componentes de las células son: **carbono** que representa alrededor del 50% del peso seco, **oxígeno** (32%), **nitrógeno** (14%) y debe estar disponible, normalmente, en forma de NH₄ o de aminoácidos a los que se pueda tomar su grupo amino; **fósforo** (3%) y debe estar en forma de PO₄³⁻, **azufre** que representa en **torno** al 1% y procede de aminoácidos sulfurados o de SO₄²⁻; y otros **elementos traza** entre los que se encuentran Fe, K, Mg, Mn, Co, Mb, Cu y Zn.

La elaboración de **medios de cultivo** que permitan aislar microorganismos a fin de iniciar posteriores **cultivos puros** requiere proporcionar los nutrientes antes citados y, en ciertos casos, algunos aminoácidos o **vitaminas** que determinados tipos de microorganismos no pueden sintetizar.

Los **medios** de cultivo se pueden clasificar en **definidos** cuando su composición **química** se conoce totalmente y **complejos** cuando no es el caso porque están compuestos por **mezclas** de extractos de **materiales** complejos (extracto de levadura, extracto de carne, etc.).

Por otra parte, los medios de cultivo pueden ser **líquidos** o bien **sólidos** si se añade algún agente solidificante que no sea consumible por los microorganismos (normalmente **agar**).

En **función** de los microorganismos que pueden crecer en ellos, los medios pueden ser:

- **selectivos** cuando favorecen el crecimiento de ciertos microorganismos mientras suprimen el de otros (por ejemplo, el medio SPS para clostridios),
- **diferenciales** cuando alguno de sus componentes permite identificar las colonias de un tipo de microorganismos (por ejemplo medios con hematóxinas para identificar colonias de microorganismos hemolíticos)
- **selectivo-diferenciales** cuando combinan las dos características anteriores (por ejemplo, el agar de MacConkey para identificar *Escherichia coli*),
- **medios de enriquecimiento** que permiten aislar un tipo determinado de microorganismo a partir de una mezcla una población mixta de gran tamaño.

DETECCIÓN Y MEDIDA DEL CRECIMIENTO

Existen diferentes **sistemas** para detectar y medir el crecimiento de microorganismos; los principales son: recuento directo, medida de la masa de las células, recuento de viables, medida del número de partículas, medida de parámetros bioquímicos y medida de la actividad metabólica.

- **Recuento directo:** consiste en la **observación** al **microscopio** de volúmenes muy pequeños de suspensiones de bacterias. Se usan unos portaobjetos especiales denominados **cámaras de Petroff-Hausser**. Para que la medida sea correcta es necesario que la **densidad** de células sea del orden de 10^5 por ml.
- **Medida de la masa de células:** el sistema se basa en que las células en suspensión dispersan la **luz** causando la turbidez del cultivo. La turbidez depende de la masa en suspensión y, por tanto, midiendo esta se puede estimar aquella. Este es el parámetro de medida más fácil de usar en los cultivos de laboratorio. La densidad de células debe ser del orden de 10^5 por ml.
- **Recuento de viables:** consiste en sembrar un **volumen** determinado de cultivo o **muestra** sobre el medio de cultivo sólido adecuado para estimar el número de viables contando el número de colonias que se forman puesto que cada una de estas deriva de una UFC. Para que la medida sea correcta desde el punto de vista estadístico, es necesario contar más de 300 UFC.

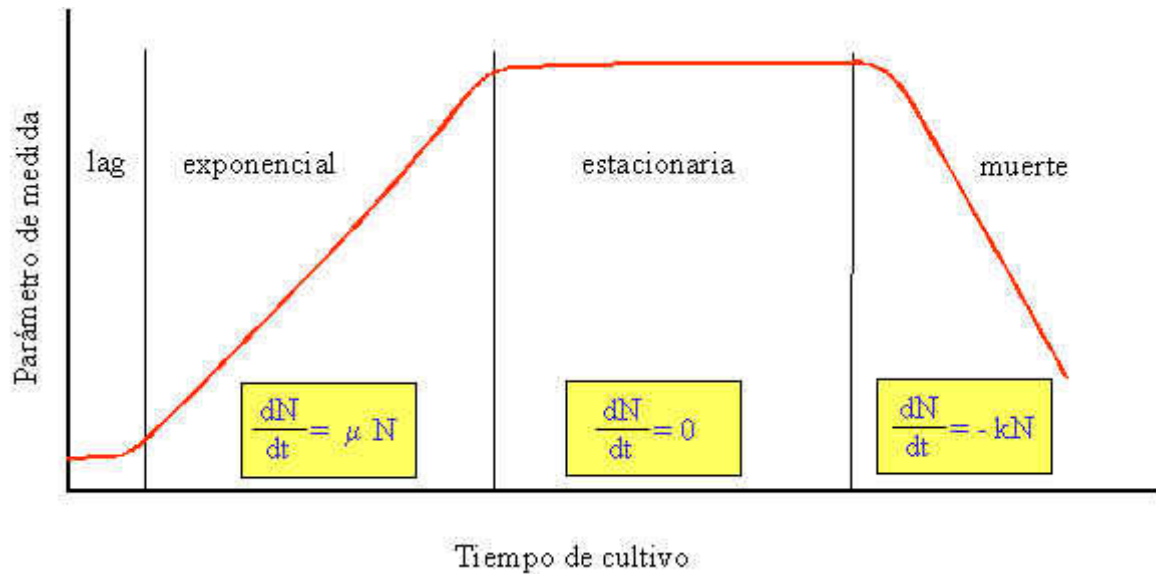
En ciertas ocasiones en las que la densidad de microorganismos es demasiado baja, éstos se pueden recolectar por filtración a través de una membrana (de $0.2 \mu\text{m}$ de tamaño de poro) y posterior colocación de la membrana en un medio de cultivo adecuado para que se formen las colonias.

- **Medida del número de partículas** usando contadores electrónicos de partículas. Estos sistemas no nos indican si las partículas corresponden a células vivas o muertas; pero nos pueden dar una idea del tamaño de las partículas.
- **Medida de parámetros bioquímicos** tales como la cantidad de ADN, ARN, proteínas, peptidoglicano, etc. por unidad de volumen.
- **Medida de actividad metabólica** de las bacterias como que respiran producen una disminución del potencial redox del medio en que se encuentran como consecuencia del **consumo de oxígeno** (utilización de colorantes sensibles a oxidación-reducción tales como el azul de metileno).

CICLO DE CRECIMIENTO DE POBLACIONES.

En un cultivo bacteriano en medio líquido, se pueden diferenciar cuatro fases en la **evolución** de los parámetros que miden el crecimiento microbiano:

- **Fase lag o de adaptación:** Durante la que los microorganismos adaptan su **metabolismo** a las nuevas condiciones ambientales (de abundancia de nutrientes) para poder iniciar el crecimiento exponencial.
- **Fase exponencial o logarítmica:** en ella la **velocidad** de crecimiento es máxima y el tiempo de generación es mínimo. Durante esta fase las bacterias consumen los nutrientes del medio a velocidad máxima. La evolución del número de células durante esta fase se explica con el **modelo** matemático descrito anteriormente. Esta fase corresponde a la de infección y multiplicación dentro del organismo del agente infeccioso.
- **Fase estacionaria:** en ella no se incrementa el número de bacterias (ni la masa u otros parámetros del cultivo). Las células en fase estacionaria desarrollan un metabolismo diferente al de la fase de exponencial y durante ella se produce una acumulación y liberación de metabolitos secundarios que pueden tener importancia en el curso de las infecciones o intoxicaciones producidas por bacterias.



Los microorganismos entran en fase estacionaria bien porque se agota algún nutriente esencial del medio, porque los **productos** de desecho que han liberado durante la fase de crecimiento exponencial hacen que el medio sea inhóspito para el crecimiento microbiano o por la presencia de competidores u otras células que limiten su crecimiento.

La fase estacionaria tiene gran importancia porque probablemente represente con mayor fidelidad **el estado** metabólico real de los microorganismos en muchos ambientes naturales.

- **Fase de muerte:** se produce una reducción del número de bacterias viables del cultivo.

Las fases, parámetros y cinética de crecimiento discutidas para el caso de los medios líquidos se presentan también en los sólidos. La cinética de crecimiento, en este caso, sólo se puede seguir utilizando unos sistemas de detección especiales siendo el más sencillo, la medida del número de células viables por unidad de superficie o por unidad de masa.

FACTORES FÍSICOS Y QUÍMICOS QUE INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO BACTERIANO.

- **Temperatura:** Cada microorganismo tiene una **temperatura** de crecimiento adecuada. Si consideramos la variación de la velocidad de crecimiento en función de la temperatura de cultivo, podemos observar una **temperatura mínima** por debajo de la cual no hay crecimiento; a temperaturas mayores se produce un incremento lineal de la velocidad de crecimiento con la temperatura de cultivo hasta que se alcanza la **temperatura óptima** a la que la velocidad es máxima. Por encima de esta temperatura óptima, la velocidad de crecimiento decae bruscamente y se produce **la muerte** celular.

El aumento de la velocidad de crecimiento con la temperatura se debe al incremento generalizado de la velocidad de las reacciones enzimáticas con la temperatura. Se denomina **coeficiente de temperatura** a la relación entre el incremento de la velocidad de reacción y el de temperatura. En términos generales, la velocidad de las reacciones bioquímicas suele aumentar entre 1.5 y 2.5 veces al aumentar 10°C la temperatura a la que tienen lugar.

La falta de crecimiento a temperaturas bajas se debe a la reducción de la velocidad de las reacciones bioquímicas y al **cambio de estado** de los **lípidos** de la membrana celular que pasan de ser fluidos a cristalinos impidiendo el funcionamiento de la membrana celular.

La muerte celular a altas temperaturas se debe a la desnaturalización de proteínas y a las alteraciones producidas en las membranas lipídicas a esas temperaturas.

Es importante tener en cuenta que a temperaturas bajas, el metabolismo celular es lento y las células paran de crecer; aunque suelen morir. Sin embargo, cuando la temperatura es superior a la óptima, se produce la muerte celular rápidamente y las células no pueden recuperar su capacidad de división si baja posteriormente la temperatura. Esto permite esterilizar por **calor** y no por frío.

Hay varios **tipos de microorganismos** en función de sus temperaturas de crecimiento mínima, máxima y óptima.

Tipo de microorganismo	Temperatura mínima	Temperatura óptima	Temperatura máxima
Mesófilo	5 - 15	30 - 45	35 - 47
Psicrófilo	-5 + 5	12 - 15	15 - 20
Psicrótrofo	-5 + 5	25 - 30	30 - 35
Termófilo	40 - 45	55 - 75	60 - 90

Los microorganismos psicrótrofos son mesófilos que pueden crecer a temperaturas bajas. Por tanto, se les puede considerar como psicrófilos facultativos. Esto es importante desde el punto de vista aplicado porque cuando se encuentran contaminando **alimentos**, son capaces de crecer en condiciones de **refrigeración** (4 - 8°C) y de producir infecciones en los consumidores del alimento (30 - 35 °C).

Desde el punto de vista clínico, los microorganismos capaces de producir infecciones en pacientes son los mesófilos y algunos psicrótrofos ya que sus temperaturas óptimas de crecimiento coinciden con las corporales.

- **Actividad de agua (aw):** Se denomina actividad de agua a la relación entre la **presión** de vapor de agua del substrato de cultivo (P) y la presión de vapor de agua del agua pura (Po). El **valor** de la actividad de agua está relacionado con el de la humedad relativa (HR).

El valor de la actividad de agua nos da una idea de la cantidad de agua disponible metabólicamente. Por ejemplo: comparemos **el agua** pura donde todas las moléculas de agua están libremente disponibles para **reacciones químicas** con el agua presente en una disolución saturada de sal común (NaCl) donde una parte importante de las moléculas de agua participa en la solvatación de los iones de la sal disuelta. En este último caso, la actividad de agua mucho menor que en el primero. conforme aumenta la cantidad de solutos en el medio, disminuye su actividad de agua.

El agua es un substrato en muchas reacciones bioquímicas (proteasas y lipasas, por ejemplo). Cuando no hay agua disponible, estas reacciones se detienen y el metabolismo se para. Esta falta de agua también detiene

muchas de las **enzimas** que podrían degradar las **estructuras** biológicas. Por ello, las células que no crecen por falta de agua no mueren rápidamente: los sistemas de degradación tampoco funcionan y no las degradan.

Es decir: cuando un microorganismo se encuentra en un sustrato con actividad de agua menor que la que necesita, su crecimiento se detiene. Esta detención del crecimiento no suele llevar asociada la muerte del microorganismo, sino que éste se mantiene en condiciones de **resistencia** durante un tiempo más o menos largo. En el caso de las esporas, la fase de resistencia puede ser considerado prácticamente ilimitada.

La gran mayoría de los microorganismos requiere valores de actividad de agua muy altos para poder crecer. **Los valores** mínimos de actividad para diferentes tipos de microorganismos son, a título orientativo, los siguientes: bacterias $a_w > 0.90$, levaduras $a_w > 0.85$, hongos filamentosos $a_w > 0.80$.

Como puede verse, los hongos filamentosos son capaces de crecer en sustratos con actividad de agua menor (más secos) de la que permite el crecimiento de bacterias o de levaduras. Por esta razón se puede producir deterioro de alimentos de baja actividad de agua (por ejemplo, el queso o almíbares) por mohos (hongos filamentosos) y no por bacterias.

En función de su **tolerancia** a ambientes con baja a_w , los microorganismos que pueden crecer en estas condiciones se clasifican en **halotolerantes**, **halófilos** y **xerófilos** según toleren o requieran condiciones salinas o hipersalinas, respectivamente.

La reducción de la actividad de agua para limitar el crecimiento bacteriano tiene importancia aplicada en **industria** alimentaria. La utilización de almíbares, salmueras y salazones reduce la actividad de agua del alimento para evitar su deterioro bacteriano.

- **pH:** Es un parámetro crítico en el crecimiento de microorganismos ya que cada tipo de microorganismo tiene un rango de **pH** en el que puede vivir adecuadamente, fuera de este rango muere.

El pH intracelular es ligeramente superior al del medio que rodea las células ya que, en muchos casos, la obtención de energía metabólica depende de la existencia de una diferencia en la concentración de protones a ambos lados de la membrana citoplásmica.

El pH interno en la mayoría de los microorganismos está en el rango de 6,0 a 8,0. Los rangos de pH tolerables por diferentes tipos de microorganismos son, también, distintos. Hay **microorganismos acidófilos** que pueden vivir a $\text{pH}=1.0$ y otros **alcalófilos** que toleran $\text{pH}=10.0$.

Hay que considerar que, como consecuencia del metabolismo, el pH del medio de crecimiento suele tender a bajar durante el cultivo. Por otra parte, la bajada del pH del medio que producen ciertos microorganismos les confiere una **ventaja selectiva** frente a otros competidores. Así, por ejemplo, las bacterias lácticas que producen grandes cantidades de ácido láctico como consecuencia de su metabolismo primario reducen el pH del medio a valores inferiores a los soportables por otras bacterias competidoras (llegan a bajar el pH del medio hasta 4.5). De esta forma, las bacterias competidoras mueren y las lácticas se convierten en la población dominante.

La bajada del pH se puede deber a varios factores, uno de los cuales es la liberación de **ácidos** orgánicos de cadena corta (fórmico, acético, láctico) por ciertas bacterias.

En este sentido, hay que tener en cuenta que la **acción** bactericida de estos ácidos orgánicos de cadena corta es más potente que la debida únicamente a la bajada del pH que producen. Esto es, los ácidos orgánicos de cadena corta son tóxicos para algunas bacterias por sí mismos.

El efecto letal del pH ácido sobre los microorganismos tiene **aplicación** en la conservación de alimentos acidificándolos. De esta forma, la adición de ácido acético en forma de vinagre permite la conservación de alimentos perecederos (escabeches, por ejemplo) y la producción de ácidos en el curso de fermentaciones naturales permite alargar la vida de los alimentos (coles fermentadas, por ejemplo).

- **Potencial redox:** nos indica la capacidad del sustrato para aceptar o donar

electrones, esto es: sus características **oxidantes o reductoras**. Uno de los factores que intervienen en el potencial redox, aunque no el único, es la concentración de oxígeno [O₂].

Hay microorganismos que requieren ambientes oxidantes para crecer, mientras que otros necesitan ambientes reductores. El metabolismo de ambos tipos de microorganismos presenta diferencias notables. El requerimiento de condiciones oxidantes o reductoras no debe confundirse con la necesidad de presencia o ausencia de oxígeno para que se produzca el crecimiento.

En general, cuando un microorganismo requiere un **ambiente** oxidante se dice que desarrolla un **metabolismo oxidativo** (o **respirativo**) mientras que los microorganismos que requieren ambientes reductores (o menos oxidantes) realizan un **metabolismo fermentativo**.

Un **microorganismo es aerobio** cuando necesita oxígeno para vivir y es **anaerobio** cuando o bien no lo necesita (**anaerobios facultativos** como las bacterias entéricas, o como *Saccharomyces cerevisiae*; o **anaerobios aerotolerantes** como las bacterias lácticas) o cuando muere en presencia de oxígeno (**anaerobios estrictos** como los clostridios).

Hay microorganismos que, aunque viven en presencia de oxígeno, no son capaces de utilizarlo como aceptor final de electrones y deben desarrollar un metabolismo fermentativo (los estreptococos, por ejemplo).

Por otra parte, hay microorganismos que pueden desarrollar ambos tipos de metabolismo. Esto es: en presencia de oxígeno desarrollan un metabolismo oxidativo y en su ausencia, fermentativo. El **rendimiento** de los **procesos** fermentativos es menor que el de los respirativos: las bacterias y las levaduras producen menos biomasa cuando crecen fermentando que cuando lo hacen respirando.

En el curso de ciertas reacciones metabólicas redox se forman **compuestos altamente reactivos** (radicales libres, formas superóxido) que pueden dañar las proteínas, membranas y ácidos nucleicos produciendo la muerte de las células. Las células se defienden de estos compuestos reactivos mediante las enzimas de: **superóxido dismutasa** (SOD) y **catalasa**. Los anaerobios estrictos carecen de **SOD** y de **catalasa** o tienen niveles muy bajos de estas enzimas de forma que no pueden sobrevivir en presencia de oxígeno. La detección de estas enzimas tiene valor taxonómico.

CASO REAL:

Propagación de células del *Lactobacillus casei* a escala de laboratorio para la elaboración de una bebida multifuncional probiótica, con el fin de evaluarla en el tratamiento y prevención de enfermedades gastrointestinales.

El *Lactobacillus casei*, es una bacteria ácido láctica que es utilizada para la elaboración de productos lácteos fermentados, conocida por tener excelentes efectos nutricionales, además de un sabor agradable, teniendo un efecto promotor de la salud, esto a través de la microflora intestinal y modulación del sistema inmune.

La cepa de *Lactobacillus casei* ha demostrado tener efecto sobre los problemas gastrointestinales de niños de corta edad, demostrando la disminución de la presencia y frecuencia de diarrea, además de parásitos intestinales patógenos como la *Giardia lamblia* y sobre la flora intestinal.

Esto se logró hallando una concentración celular mediante bioensayos de laboratorio, a determinados periodos de tiempo y con características semejantes, por duplicado para optimizar cada uno de los procesos.

Se realizó a nivel de laboratorio, mediante recuentos en cámara de Newbauer, realizando esto en tratamiento por duplicado de lo cual se obtuvieron los resultados de fermentar la bebida por 4 horas a una temperatura de 40°C y sin agitación.

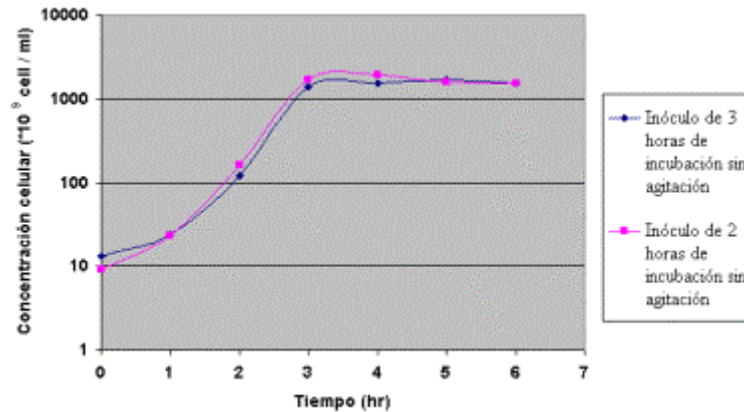
Bioensayo para estudiar el comportamiento del inóculo de 3 y 2 horas de incubación, sin aplicar agitación.

BIOCONVERSIÓN ESCALA DE LABORATORIO (2 L)	
Acidez inicial: 19 °D	Inóculo: 3%,
Temperatura empleada: 40 °C.	r.p.m. No se presenta
Recuento del inóculo: 1,0 – 2,0 * 10 ⁹ cell / ml	Volumen del inóculo: 60 ml.
Volumen de trabajo: 2000 ml.	Tiempo de proceso: 6 horas
Tiempo de incubación del inóculo: 3 y 2 horas.	

Resultados del crecimiento celular para el inóculo de 3 y 2 horas de incubación, sin aplicar agitación

Tiempo de Incubación	3 horas de incubación sin agitación		2 horas de incubación sin agitación	
	Cell / ml	°D	Cell / ml	°D
0	1,3*10 ⁸	19	9,2*10 ⁷	19
1	2,4*10 ⁸	26	2,3*10 ⁸	25
2	1,2*10 ⁹	47	1,6*10 ⁹	35
3	1,4*10 ¹⁰	85	1,7*10 ¹⁰	82
4	1,5*10 ¹⁰	105	1,9*10 ¹⁰	97
5	1,7*10 ¹⁰	107	1,6*10 ¹⁰	100
6	1,5*10 ¹⁰	113	1,5*10 ¹⁰	112

Gráfico -Resultados del crecimiento celular para el inóculo de 3 y 2 horas de incubación sin aplicar agitación-



Inferencia.

La fase Lag o de adaptación es relativamente larga (1 hora) si se compara con organismos que se reproducen en sólo 20 o 30 minutos.

La fase exponencial dura 2 horas por lo tanto cuando las bacterias tienen 2 horas de haber sido cultivadas es cuando se da el mayor consumo de nutrientes que les permite incrementar su velocidad de crecimiento para infectar al **objetivo**; por lo tanto en el caso del yogurt es beneficioso que se reproduzca e incluso se podría acelerar esa **reproducción** aumentando la cantidad de nutrientes del medio, pero si lo que se quisiera es erradicar o contrarrestar el crecimiento bacteriano, es en esta fase en la que se debe aplicar o bien un antibiótico o bien alterar las condiciones del medio de cultivo para dificultar la absorción de nutrientes y por ende perjudicar la reproducción bacteriana y así proteger al organismo de la infección bacteriana.

En la fase estacionaria ya no hay ni multiplicación ni infección. En el caso de la bacteria de yogurt es en esta fase en la que entran en acción ejerciendo su actividad gastrointestinal sobre la flora intestinal y otros organismos patógenos.

CONCLUSIONES

- El crecimiento bacteriano puede considerarse como el crecimiento de poblaciones de muchos millones de células cuyas características son esencialmente **estadísticas**, y el comportamiento de **la célula** individual es tomado como una frecuencia.
- El crecimiento de las bacterias en cultivo puede determinarse midiendo experimentalmente el incremento de la **materia** celular (protoplasma) o del incremento del número de células.
- Las posibilidades fisiológicas de los microorganismos se relacionan inversamente con sus necesidades nutricionales, ya que, la síntesis de componentes celulares a partir de materia inorgánica o compuesto inorgánicos simples es obviamente un proceso más complejo de lo que sería si los productos de partida fueran sustancias orgánicas complejas químicamente más parecidas a los constituyentes finales de la célula.
- Los microorganismos probióticos juegan un papel importante en el desarrollo de nueva flora intestinal y de sustancias capaces de disminuir los patógenos como bacterias, virus y parásitos.

RECOMENDACIONES

- Al hacer uso de un medio gráfico es muy importante realizar un buen **análisis** de la curva de crecimiento bacteriano, ya que esto permite crear un cultivo que podrá ser catalizado ya sea positiva o negativamente según sea el resultado o **producto** que necesitemos generar.
- Para el caso específico del Lactobacillus casei recomendamos que si se desea aumentar o agilizar la producción se agregue en la fase exponencial un concentrado del

producto en lugar de agregar un concentrado de nutrientes, pues si bien es cierto que en esta fase las bacterias absorben la mayor cantidad de nutrientes, perderán tiempo en sintetizarlos y empezar a dividirse; si en cambio se agrega un concentrado del producto se ahorra el tiempo de síntesis y las bacterias empiezan de inmediato su multiplicación.

BIBLIOGRAFÍA

- Microsoft Corporation, Enciclopedia **CD-ROM Microsoft Encarta Básica** 2001, **Estados Unidos** 2000.
- Freeman, Bob A; **Microbiología** de Burrows 22ª **Edición**, Editorial Interamericana, **España** 1986. Pags. 57-62.

Consultados 2 de julio de 2005, 9:30 p.m.

- <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpyuVFpkAuxyYhyHRF.php>
- <http://www.unavarra.es/genmic/microclinica/tema%2002.pdf>
- <http://www.viatusalud.com>
- http://www.peruecologico.com.pe/glosario_c.htm
- <http://www.sfaf.org/tratamiento/hojasdeinfo/glosario.html>
- <http://www.eufic.org/sp/food/pag/food30/food302.htm>
- <http://www.qb.fcen.uba.ar/microinmuno/SeminarioMedios.htm>
- <http://www.seh-lelha.org/club/probiotico.htm>
- <http://www.monografias.com/trabajos10/cinrec/cinrec.shtml>

ANEXO

GLOSARIO

- **Agar:** elemento solidificante muy utilizado para la preparación de medios de cultivos. Se licúa completamente a la temperatura del agua hirviendo y se solidifica al enfriarse a 40 grados. Con mínimas excepciones no tiene efecto sobre el crecimiento de las bacterias y no es atacado por aquellas que crecen en él.
- **Cepa:** variante **genética** específica de un organismo. Conjunto de individuos de una misma especie existente en una colonia o cultivo.
- **Inóculo:** *inoculum* (microbio) pequeña cantidad de un producto que contiene bacterias y que se toma, por ejemplo, para hacer un cultivo, una resiembra o infectar determinados **animales** de experimentación.
- **Metabolito:** *metabolito* (Bioquím.) producto del metabolismo inmediato.
- **Microflora intestinal:** la microflora intestinal son bacterias intestinales cuya principal función es fermentar la sustancias aportadas por los alimentos (por ejemplo, las fibras alimentarias), que no pueden digerirse en el intestino delgado. Esta **fermentación** produce, entre otras moléculas, ácido láctico y ácidos grasos de cadena corta (acético, propiónico y butírico).
- **Probióticos:** las sustancias probióticas (bacterias vivas) y las prebióticas (componentes alimentarios de los que viven éstas). Las bacterias buenas o "probióticas" ayudan a mantener un **equilibrio** bacteriano saludable, estimulan la inmunidad intestinal y evitan la aparición de organismos patógenos que causan las alteraciones estomacales e intestinales.

Algunos ejemplos de alimentos probióticos son: ciertos yogures, productos lácteos fermentados y otros alimentos como verduras y productos de soja fermentados.

GRUPO DE DISCUSIÓN

BR. KARLA GRISELL MENA DURÁN

BR. HILDA MARISELA SHUPAN PINTO

BR. KRISCIA MIREYDA REYNOSA MENDOZA

BR. JENNIFER MARICELA GUZMÁN MELGAR

jennifer_guzman@navegante.com.sv

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA Y MATEMÁTICA

SECCIÓN DE MATEMÁTICA

MATEMÁTICA III CICLO 01/2005

CIUDAD UNIVERSITARIA, 11 DE JULIO DE 2005