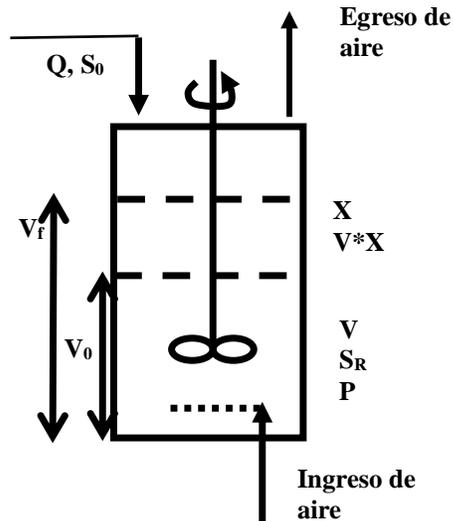


CULTIVO POR LOTE ALIMENTADO

El cultivo por lote alimentado es una operación discontinua durante la cual los nutrientes o partes de los nutrientes que ingresan al reactor por una corriente de alimentación y al no existir una corriente de salida aumenta continuamente el volumen de fermentación. Las condiciones iniciales comienzan como un cultivo discontinuo o por lote, una vez alcanzadas las condiciones requeridas se introducen la alimentación.



La velocidad de consumo de sustrato está definida por

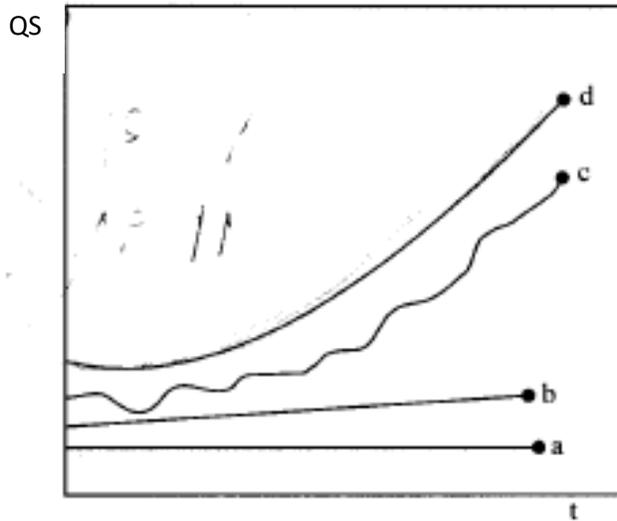
$$dS/dt = X \cdot V \cdot \mu / Y$$

Acá se ve que la velocidad de crecimiento está definida por la concentración del sustrato limitante, cuando este se consume, el crecimiento se reduce a 0. Una estrategia es incorporar ese sustrato paulatinamente o por pulsos para no acabar con el crecimiento o mantener un estado fisiológico.

Velocidad de alimentación del sustrato limitante = $Q \cdot S$

Si la oferta de sustrato limitante es mayor que la requerida el mismo se acumulará en el reactor y se podrá mantener la μ_m de crecimiento y por el contrario si disminuye por debajo del nivel requerido.

Esta alimentación debe estar basada en la demanda del microorganismo para la función requerida. Esta debe determinarse previamente para la programar la incorporación de la misma. Estas alimentaciones pueden ser constantes, lineales, exponenciales o arbitrarias.



. Funciones de alimentación de nutrientes. a: constante, b: lineal, c: arbitraria, d: exponencial.

Ecuaciones generales

Se plantean las siguientes restricciones:

- a) $Y_{x/s}$ es constante
- b) El consumo de sustrato para mantenimiento celular es despreciable
- c) El aumento de volumen del reactor es igual al de la solución agregada

Entonces

Velocidad de cambio del medio de cultivo: $dV/dt = Q$

Velocidad de cambio de la masa total de microorganismos: $dXV/dt = \mu XV$

Velocidad de cambio de la concentración de sustrato limitante: $dSV/dt = QS - \mu XV/Y_{x/s}$

Si consideramos la ecuación de Monod

$$\mu = \mu_{\max} \cdot S / (K_s + S)$$

Hasta ahora tenemos 4 ecuaciones con 5 incógnitas por lo que tendremos que definir el tipo de alimentación que satisfaga el comportamiento deseado o a la inversa.

Velocidad de crecimiento exponencial

Se fija la condición de $S_0 = \text{cte}$

De acuerdo a Monod para que el cultivo crezca a μ constante, se debe imponer que durante todo el periodo la concentración de sustrato limitante en el fermentador sea constante. Con esta condición se puede establecer un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas:

$$dV/dt = Q \quad (1)$$

$$dXV/dt = \mu XV \quad (2)$$

$$dSV/dt = QS - \mu XV/Y_{x/s} \quad (3)$$

derivando la última y reemplazando la (1) y la (2) previamente integrada ($\mu = \text{cte}$) tenemos:

$$S_R Q = QS_0 - \mu/Y_{x/s} * X_0 V_0 * e^{\mu t}$$

Despejando llegamos a

$$Q = \mu V_0 X_0 * e^{\mu t} / Y_{x/s} * (S_0 - S_R)$$

La conclusión es que para que una masa microbiana crezca a ritmo constante la alimentación debe ser de tipo exponencial y el factor del exponente no es otro que la velocidad de crecimiento.

Alimentación constante

En este caso la aproximación se logra al dividir el lote alimentado en dos zonas de acuerdo al tipo de crecimiento que experimenta la masa celular. De acá se obtiene dos grupos de ecuaciones que representan el comportamiento de las variables de interés bajo condiciones de crecimiento restringido y no restringido, desde el punto de vista del nutriente limitante.

Para definir las simplificaciones nos basamos en que al ser la oferta constante cuando el consumo de sustrato limitante iguale a la oferta, la masa celular deberá disminuir su crecimiento, por lo que podemos distinguir dos zonas: una de crecimiento exponencial y otra de crecimiento limitado. Las condiciones iniciales para $t=0$ serán S_0 , V_0 y X_0 , la alimentación se designará como S_Q

Las condiciones de alimentación constante permiten integrar previamente las ecuaciones iniciales y quedan como.

$$V = V_0 + Qt$$

$$V * (S + X/Y_{x/s}) = QS_Q t + S_0 V_0 + X V_0 / Y_{x/s}$$

Se analizan las dos zonas de crecimiento:

A) Zona de crecimiento exponencial de la masa celular

$$XV = X_0 V_0 e^{\mu_{\max} t}$$

$$X = X_0 V_0 e^{\mu_{\max} t} / (V_0 + Qt)$$

$$S = [F * S_Q + S_0 V_0 + X V_0 * (1 - e^{-\mu_{\max} t}) / Y_{x/s}] / (V_0 + Qt)$$

B) Zona de crecimiento limitado de la masa celular: la concentración de sustrato S disminuye por lo el valor numérico de S se hace despreciable frente a $X/Y_{x/s}$ y se puede escribir:

$$VX = QS_Q * Y_{x/s} * t + S_0 V_0 * Y_{x/s} + V_0 X_0$$

$$\mu = QS_Q Y_{x/s} / (QS_Q Y_{x/s} t + S_0 V_0 Y_{x/s} + X_0 V_0)$$

$$X = (QS_Q Y_{x/s} t + S_0 V_0 Y_{x/s} + X_0 V_0) / (V_0 + Qt)$$

Luego llegamos a

$$S = \frac{Q S_0 Y_{X/S} K_s}{[Q S_0 Y_{X/S} (\mu_{\max} t - 1) + (S_0 V_0 Y_{X/S} + X_0 V_0) \mu_{\max}]}$$

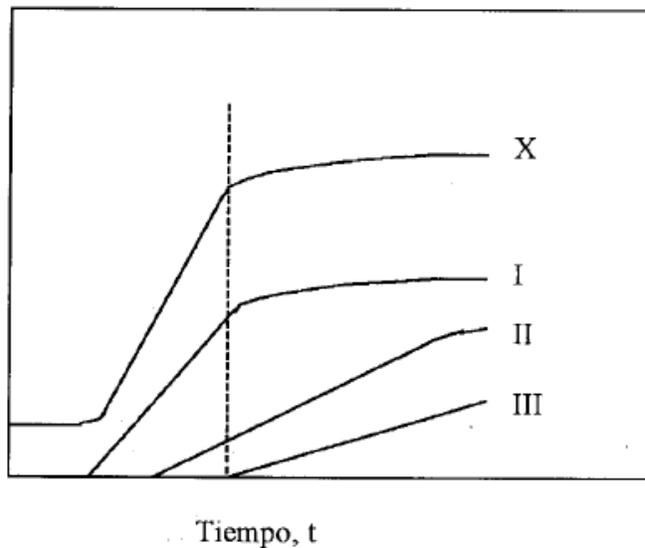
- C) Tiempo de transición entre las zonas de crecimiento exponencial y limitado: se debe cumplir que la masa celular calculada por ambas fases sea la misma:

$$X_0 V_0 e^{\mu_{\max} t} = Q S_0 Y_{X/S} t + S_0 V_0 Y_{X/S} + X_0 V_0$$

De donde se despeja t_T

Clasificación de los procesos de fermentación:

Los metabolitos tipo I o asociados al crecimiento son aquellos que se producen en la fase exponencial de crecimiento del cultivo. Los Tipo III o no asociados al crecimiento corresponden a los metabolitos producidos durante la fase estacionaria, El tipo II representa una situación mixta. Esta clasificación es sólo aplicable a cultivos en batch o lotes.



. Clasificación de Gaden de la producción en cultivo por lotes.

Producción de calor

El metabolismo celular es una reacción global exotérmica, por lo que para mantener constante la temperatura hay que retirar dicha energía. El calor de fermentación puede ser calculado en base a balances de calor y energía en los cuales se consideran la oxidación del sustrato y la formación de biomasa. Para fines de estimación se pueden seguir los siguientes métodos que son recomendables por ser simples y suficientemente precisos:

Fermentaciones anaerobias: el calor de fermentación puede considerarse igual al calor de reacción de la secuencia metabólica principal porque es muy pequeña la fracción de sustrato convertida en

células. El calor se realiza mediante los métodos termodinámicos clásicos basados en los calores de formación y combustión

Fermentaciones aerobias:

Se puede seguir un método similar pero es indispensable considerar la formación de células. Más simple es usar el método de Cooney que se expresa:

$$Q_F = 0,12 * Q_{O_2}$$

Donde Q_{O_2} es la velocidad de consumo de oxígeno

Q_F se da en Kcal/L.h y la velocidad de consumo de oxígeno en mmoles de O_2 /L.h, puede considerarse igual a la demanda de oxígeno.

Un balance simplificado considera que no hay acumulación de energía y se puede escribir que

$$Q_F + Q_A = Q_P + Q_I$$

Q_A es el calor de agitación y es del orden de 0,8 a 2, 5 Kcal/L. Se puede tomar en promedio 10 % de Q_F .

Q_F es del orden de 8 a 15 Kcal/L.h

Q_P pérdidas de calor, y Q_I calor transferido al sistema de enfriamiento.

Cuando hay crecimiento muy alto de microorganismos Q_I puede ser muy grande y requerir un equipo de intercambio de calor complejo