

REINGENIERÍA DE BIOPROCESOS: APLICACIÓN GALLETAS FERMENTADAS

Juan Manuel Cevallos Cevallos¹, Luis Miranda Sánchez²

¹Ingeniero de Alimentos 2003

²Director de Tesis, Ingeniero Químico, Universidad de Guayaquil, 1971, Master en Ciencias de los Alimentos, Universidad de Campinas, Brasil, 1975. Profesor de ESPOL desde 1979.

RESUMEN

Se realizó un análisis de los bioprocesos que intervienen en la elaboración de galletas fermentadas, del cual surgieron las hipótesis de cómo reducir el tiempo de fermentación sin afectar las características del producto actual, a través de cambios de temperatura y concentración de levadura. Esto trajo como consecuencia el diseño de un bioreactor y el empleo de un sistema de calentamiento, por lo tanto se diseñó y analizó económicamente los intercambiadores de calor a placas, serpentín y tanque enchaquetado, además de la producción de calor por calentamiento óhmico, a fin de determinar cuál de estas es la mejor alternativa para este proceso.

Se realizó también el diseño de un proceso bioquímico y uno químico para la producción de miel artificial (ingrediente necesario para este proceso) a fin de determinar a través de un análisis económico cuál es el más conveniente.

Finalmente se procedió a la validación experimental a escala piloto de las alternativas que dieron los mejores resultados.

INTRODUCCIÓN

Para la fabricación de galletas fermentadas son necesarios tres tipos de procesos: físicos, químicos y bioquímicos, de los cuales este último es el que define las principales características del producto final pero su desventaja es el tiempo requerido, pudiendo tardar hasta 24 horas en realizarse. El objetivo de esta investigación es realizar cambios en el proceso que conduzcan a una reducción del tiempo de fermentación y, por consiguiente, de los costos asociados.

Entre los principales parámetros reguladores de la velocidad de fermentación se encuentra la temperatura, por esto las masas se suelen mantener en cámaras que mantengan su temperatura por encima de los 35°. El problema es que en la mayoría de los casos la masa no entra a la cámara a temperatura óptima sino que recién la alcanza durante la 4 o 5 hora de fermentación.

Otro parámetro regulador de la velocidad de fermentación es la concentración de biomasa, que en la mayoría de los casos se trata de levaduras del género *Saccharomyces*. Se puede aumentar la cantidad de este microorganismo hasta cierto valor en el cuál la velocidad de fermentación es máxima, el problema es el costo que esto implicaría.

En esta investigación se plantean los mejores métodos para alcanzar la temperatura óptima de la masa desde el comienzo de la fermentación y para lograr una rápida multiplicación de las cepas de *Saccharomyces Cerevisiae*. Además se analizó la elaboración de miel artificial (ingrediente básico de muchos tipos de galleta) para determinar si su elaboración es más conveniente por hidrólisis ácida o enzimática.

De esta manera se pretende demostrar que la mejora siempre está presente y que hay que buscarla, evaluarla y aplicarla a fin de lograr un mayor nivel de competitividad de nuestras empresas.

REINGENIERÍA DE BIOPROCESOS: APLICACIÓN GALLETAS FERMENTADAS

Los bioprocesos que intervienen en la fabricación de galletas fermentadas son variados, unos son inducidos como la fermentación alcohólica por la levadura y otros son espontáneos como la fermentación láctica por bacterias aeróbicas. Además pueden haber bioprocesos en la elaboración de la miel artificial si es que se la realiza por hidrólisis enzimática.

Dificultades de los bioprocesos

Todos los procesos en los que intervengan agentes biológicos o bioquímicos deben ser mantenidos desde el comienzo a condiciones optimas de temperatura, pH, actividad de agua y concentración de catalizador, de los cuales la temperatura y la concentración de catalizador son los de mayor influencia en la velocidad de la reacción, pero el mantenimiento de estas condiciones presenta las siguientes dificultades:

1. La mayoría de veces se trata de mantener la temperatura de la masa a través de la temperatura de la cámara de fermentación, es decir que si la temperatura óptima de fermentación es 35°C la de la cámara debe ser alrededor de 35°C o mayor, sin embargo la masa se elabora y entra a la cámara a temperatura ambiente alcanzado la temperatura óptima recién a la cuarta o quinta hora.
2. Normalmente se emplean bajas concentraciones de catalizador debido a su alto costo, pese a que un aumento (hasta cierto límite) de catalizador provocaría un aumento de la velocidad de reacción.
3. La elaboración de miel artificial por métodos enzimáticos no es muy común en nuestro país debido al alto costo de la enzima invertasa, pese a que es un proceso mucho más eficiente que su elaboración por hidrólisis ácida

Propuesta de mejora.

Siguiendo el mismo orden de temas las alternativas para eliminar las dificultades mencionadas demostradas en esta investigación son:

1. Sistema de calentamiento del agua utilizada como ingrediente a fin de que la masa alcance la temperatura óptima durante el mezclado y eliminación del sistema de mantenimiento de temperatura de la cámara de fermentación.
2. Uso de un bioreactor para reproducción acelerada de la cepa responsable de la fermentación.
3. Balanceo de la línea de producción a fin de minimizar la cantidad de enzima invertasa a utilizarse en la elaboración de miel artificial.

Sistema de calentamiento.

La fermentación es una reacción exotérmica, es decir que libera calor, el cual es absorbido por la masa. La cantidad de calor producida varía con la temperatura. Para conocer la cantidad de calor que se produce a determinada temperatura se realizó un estudio (1) cuyos resultados se muestran en la figura 1.

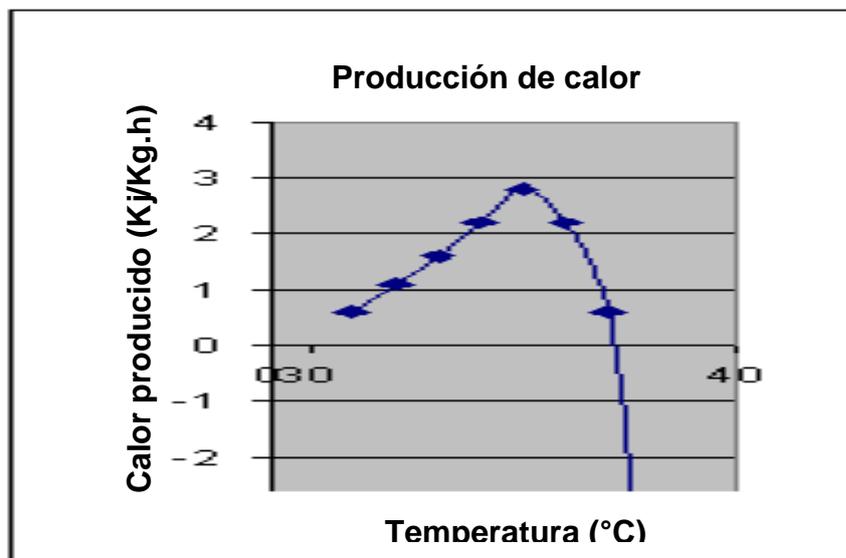


Figura 1. Producción de calor durante la fermentación

Este estudio se realizó en cámaras de fermentación a temperatura ambiente (28°). En esta figura vemos la producción de calor en el intervalo de 30-40°C. Observamos que a 38°C el calor producido se iguala al calor perdido al ambiente y a temperaturas superiores el calor neto lo recibe el ambiente. Esto demuestra que si la masa está a temperatura optima de 35°C no es necesario mantener la cámara de fermentación a temperaturas altas sino más bien a temperatura ambiente a fin de crear un diferencial de temperatura entre la masa y el ambiente que permita que la masa pierda el calor que se está produciendo de acuerdo a la figura 1. Además el aumento de la temperatura inicial de la masa de 28°C a 35°C provoca una reducción de aproximadamente el 15% en el tiempo de fermentación (1). Se realizó un estudio comparativo entre procesos real (28°C) y sugerido (35°C sin uso de la cámara de fermentación) obteniéndose los resultados mostrados en la figura 2.

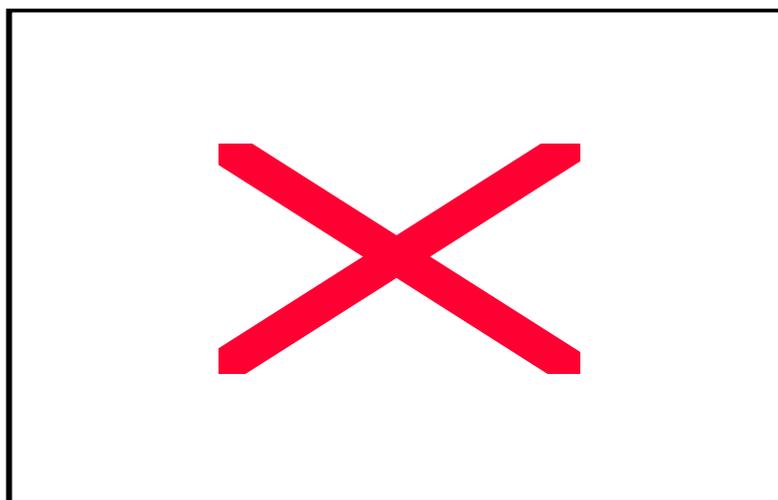


Figura 2. Comparación entre procesos a 28°C (real) y 30°C (sugerido)

Por lo tanto si se logra que la temperatura inicial de la masa sea de 35 °C no se necesitaría un sistema de mantenimiento de temperatura para cámaras y se ahorraría un 15% del tiempo de fermentación.

La forma más fácil de lograr esta temperatura es calentando el agua ingrediente. Se calculó la temperatura a la cual se debe calentar el agua tomando en cuenta la concentración típica de los ingredientes y los calores específicos de cada ingrediente (2) para luego realizar un balance de energía (3). La tabla I muestra estos valores.

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE LOS INGREDIENTES BASE PARA GALLETAS
FERMENTADAS

Ingrediente	Concentración (%)	Cp (Kj/Kg°C)	To (°C)
Harina	71.43	1.44	28
Grasa	8.57	1.675	4
Melaza ¹	4.17	3.89	28
Agua	15.83	4.187	?

Para que todos estos ingredientes alcancen la temperatura deseada de 35°C la temperatura del agua debe ser de 56.4°C (1).

Se diseñaron cuatro tipos de sistemas para lograr que el agua alcance esta temperatura basados en el uso de un caldero de 35 PSla (1). Los cuatro sistemas diseñados fueron: Intercambiador de calor a placas, tanque enchaquetado, serpentín y calentamiento óhmico, y luego se aplicó la técnica del punto de equilibrio (1) obteniéndose los resultados mostrados en la figura 3.

Los resultados demuestran que los mejores sistemas de calentamiento son el intercambiador a placas y el calentamiento óhmico.

¹ Como se verá más adelante la melaza proviene de la propuesta del empleo del bioreactor.

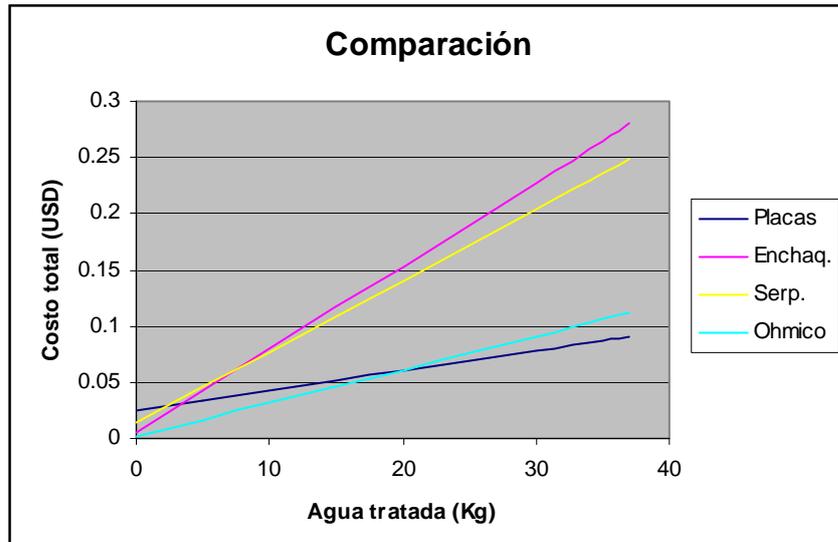


Figura 3. Selección del sistema de calentamiento ideal para el proceso

En la figura 3 se observa que para cantidades menores a 19 litros de agua por batch de galletas es más económico utilizar el calentamiento óhmico, caso contrario se debe usar intercambiador a placas.

Concentración de levadura

Se puede aumentar la concentración de levadura en la masa sin costo adicional. Se realizó un estudio de cómo afecta la concentración de levadura a la masa y se determinó que al aumentar la concentración de 0.1 a 0.5 % de levadura prensada se logra una reducción del tiempo de fermentación del 29% aproximadamente (1). Para el efecto se diseñó un medio de cultivo que reduzca la presencia de cepas competidoras y un bioreactor (4) que produce 2.45 Kg de levadura / hora con una alimentación de 9.8 Kg de solución de melaza de caña por hora y 3 Kg/hora de oxígeno. Se obtuvo una velocidad específica de crecimiento de levadura μ de 0.47 h^{-1} y se producía un ahorro de alrededor de 2 USD/Ton si se quintuplicaba la cantidad de levadura y de aproximadamente 3 USD/Ton si se mantenía la concentración de 0.1% .

Combinando el aumento de temperatura y de concentración de levadura propuestos se logra una reducción del tiempo de fermentación de aproximadamente un 40% (1)

Elaboración de miel artificial.

Normalmente se cree que la elaboración de la miel artificial utilizando la enzima invertasa es más caro que por hidrólisis ácida, lo cuál se cumple si se utilizan concentraciones de enzima mayores a 75 ppm. Por otro lado concentraciones menores a 75 ppm requieren tiempos de reacción de más de 15 horas, a diferencia de la hidrólisis ácida que solo requiere una hora. Parecería que el proceso enzimático tarda más pero no es así. Por ejemplo si la cantidad de miel artificial requerida para la semana son 5000 Kg y la capacidad de la marmita es de 100 Kg, se necesitarían alrededor de 50 horas de trabajo si se emplea el método de la hidrólisis ácidas, debido a que no se puede comenzar un batch sin terminar el anterior, en cambio por el método enzimático utilizando una concentración de invertasa de 75 ppm se fabricarían los mismos 5000 Kg en 15 horas ya que se prepara la mezcla y se la deja reposar por doce horas en recipientes separados. De esta manera se puede lograr producir la cantidad de miel necesaria para una semana, un mes o un año en solo doce horas a 75 ppm de concentración. De igual manera se puede bajar la concentración de invertasa a expensas del tiempo de fermentación para lograr un mayor ahorro. Realizando cálculos que parten del diseño óptimo de estos dos tipos de procesos (1) se determinó que el proceso enzimático es más económico en determinado intervalo de producción de miel, por ejemplo utilizando una concentración de 70 ppm de invertasa las producciones menores a 91400 Kg/año de azúcar invertido son más económicas para el método enzimático, caso contrario el método de hidrólisis ácida es más conveniente.

CONCLUSIONES

1. Un aumento de la temperatura de la masa de 28 a 35°C provoca una reducción del 15 % en el tiempo de fermentación.
2. Un aumento de la concentración de levadura de 0.1 a 0.5% ocasiona una reducción del 29.4 % en el tiempo de fermentación.
3. Combinando aumento de temperatura y de concentración de levadura se logra una reducción del 40% del tiempo de fermentación.
4. Pese a que el intercambiador a placas requiere una mayor inversión, es el más económico para este proceso debido a su bajo consumo de combustible.
5. Debido a las bajas cantidades de agua necesarias para la elaboración de miel artificial y por ende a la baja cantidad de calor requerido, el tanque enchaquetado es el intercambiador de calor ideal para la elaboración de miel artificial.
6. El proceso bioquímico para la elaboración de miel artificial es más económico que el proceso químico y genera un producto de mejor calidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Juan Manuel Cevallos, "Reingeniería del proceso de elaboración de galletas fermentadas tipo cracker" (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2003)
2. R.P. Singh, D.R. Heldman, Introducción a la ingeniería de los alimentos (Zaragoza, España. Acribia, 1998), pp. 154, 491.
3. A. Valiente, Problemas de balance de material y energía en la industria alimentaria, (México D.F., México. Limusa, 1999), pp. 109-110
4. SECRETARÍA GENERAL DE LA OEA, Microbiología Industrial, 1994. pp. 31-37, 60-76.

VISTO BUENO DE LOS AUTORES:

Juan Manuel Cevallos C.

MSc. Luis Miranda S.
Director de Tesis

Diciembre 10 de 2003