OPTIMIZACION NUTRICIONAL DEL PROCESAMIENTO TERMICO DE ALIMENTOS ENLATADOS

José A. Barreiro Méndez,[1] *George R. Salas,*[2] *e Irma Herrera Morán*[3]

Universidad Simón Bolívar e Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Caracas, Venezuela

RESUMEN

En el presente trabajo se utilizó el modelo desarrollado por Barreiro, Salas y Herrera (7) para predecir la pérdida de nutrientes durante el procesamiento térmico de alimentos enlatados que se calienten por conducción, para la optimización de dicho proceso y con miras a llevar al máximo la retención de nutrientes en otros procedimientos con grados de esterilización equivalentes. Para ello, se simularon en una computadora digital diversos procesos (utilizándose como producto puré de guisantes envasado en latas 307x409), con valores de esterilización equivalentes con respecto al *Clostridium botulinum*, determinándose mediante el uso del modelo señalado, la retención de tiamina correspondiente a cada proceso. Se encontró un valor máximo de 0.688 (68.8%) en la fracción de tiamina retenida para un proceso a 114.2°C (237.5°F) por 95 minutos. De igual manera, se estudió la posibilidad de la

Manuscrito modificado recibido: 28–3–79.

1 Profesor Agregado de la Universidad Simón Bolivar, Apartado 5354. Caracas 101, Venezuela.

2 Centro de Ingeniería y Computación del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Caracas, Venezuela.

3 Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos de la misma Universidad.

existencia de un envase de dimensiones óptimas para retención máxima de nutrientes, con valores de esterilización equivalentes, tal como se hizo con anterioridad. Se encontró que no existía dicho óptimo; por el contrario, la retención de tiamina resultó ser mínima cuando el diámetro de la lata era aproximadamente igual a su altura, pudiéndose aumentar la retención cuando el diámetro tendía a infinito y la altura a cero, y viceversa. Por consiguiente, se concluye que desde el punto de vista de la retención de nutrientes, es preferible envasar el producto en latas achatadas o esbeltas para su procesamiento térmico con respecto al valor de esterilización deseado.

INTRODUCCION

Diversos autores (1-9) han presentado modelos o procedimientos para predecir la pérdida de nutrientes que ocurre durante el procesamiento térmico de alimentos enlatados que se calienten por conducción y que presenten cinética de degradación térmica de orden uno. Los modelos de Teixeira *et al.* (5), Barreiro, Salas y Herrera (7) y Lenz y Lund (8, 9) son de tipo teórico y no requieren datos experimentales de penetración de calor. Los dos primeros (5, 7) formularon programas de computadora que facilitan la simulación del procesamiento térmico. En los casos estudiados estos modelos proporcionan resultados satisfactorios dentro del intervalo de 90% de confiabilidad de los valores experimentales obtenidos por los autores; sin embargo, el modelo de Barreiro, Salas y Herrera (7), es completamente general y aplicable a cualquier posible caso. Permite la entrada de variables tales como temperatura inicial y final del producto; tiempo de calentamiento y enfriamiento; temperatura de procesamiento y agua de enfriamiento; radio y altura del envase; propiedades térmicas del alimento, y parámetros de cinética de destrucción térmica del nutriente estudiado.

Existen infinitas relaciones tiempo-temperatura para el procesamiento térmico de alimentos enlatados, capaces de proporcionar valores de esterilización análogos para la esterilización comercial de un alimento con respecto a un microorganismo patrón. Cada una de estas relaciones se caracteriza por una retención de nutrientes determinada, la cual puede ser calculada teóricamente, utilizando los modelos matemáticos desarrollados (5, 7, 8). Bajo estas condiciones es posible realizar un procedimiento de optimización no analítico, con el fin de seleccionar un procesamiento térmico óptimo para maximizar la retención de nutrientes en el alimento

(5). De igual forma, se puede seguir una técnica análoga para estudiar la posibilidad de la existencia de dimensiones óptimas del envase para lograr la retención máxima de nutrientes durante su procesamiento térmico.

En síntesis, los objetivos del presente trabajo fueron dos: 1) la aplicación del modelo matemático desarrollado por Barreiro, Salas y Herrera en la simulación de procesos térmicos, con miras a ilustrar la aplicación del modelo en la búsqueda de un proceso térmico óptimo, para máxima retención de nutrientes, envasado en una lata de dimensiones dadas. 2) El segundo propósito fue estudiar la posibilidad de la existencia de un envase de dimensiones óptimas que contenga un volumen dado de producto, tal que la retención de nutrientes sea máxima al someterlo a un procesamiento térmico de esterilización comercial.

PARTE EXPERIMENTAL

Con el fin de ilustrar el procedimiento de optimización, se simularon diversos procesamientos térmicos en una computadora digital. Para ello se utilizó el programa desarrollado por Barreiro, Salas y Herrera ya citado (7). Se seleccionó este modelo por ser completamente general y proporcionar resultados satisfactorios. El alimento escogido para la simulación fue puré de guisantes, el cual se calienta por conducción y es naturalmente rico en tiamina. Esta vitamina presenta cinética de degradación térmica de orden uno (10) y es termolábil al pH que presenta dicho alimento. La difusividad térmica del puré de guisantes con un contenido de 20 g de agua por 100 g de puré fue estimada en 0.1019 cm^2/min (0.0158 $pulg^2/min$) (6). Los parámetros cinéticos de destrucción térmica de la tiamina fueron calculados por los autores corrigiendo los valores encontrados por Mulley, Stumbo y Hunting (11) en puré de guisantes; dichos valores fueron de D_{250}=165.6 min y Z=25.6°C (46°F).

El microorganismo en base al cual se calcularon los procesos térmicos para lograr la esterilización comercial del producto fue el *Clostridium botulinum*, cuyos parámetros de resistencia térmica más comunes en alimentos de baja acidez son D_{250}=0.21 min y Z=10.0°C (18°F) (12). Los cálculos de los valores de esterilización de estos procesos se realizaron en el punto frío del envase; el valor de esterilización deseado fue de F=2.52 min. Para ello se empleó el procedimiento matemático presentado por Stumbo

(12), aunque igualmente se hubieran podido realizar por el modelo de Barreiro, Salas y Herrera (7).

En todos los casos se fijó en 37.8°C (100°F) la temperatura inicial del producto al entrar al autoclave, y para los efectos de este estudio el tiempo de calentamiento se hizo igual al de enfriamiento, con una temperatura media del agua de enfriamiento de 26.7°C (80°F). Es conveniente señalar que para cualquier otro producto o condiciones de procesamiento, bastará cambiar los valores señalados por los pertinentes.

Optimización del Procesamiento Térmico

Para lograr la optimización de este proceso se simularán los diversos procesamientos suponiendo que el alimento debe ser envasado en latas de tamaño 307x409 y procesado bajo las condiciones ya señaladas.

Existen infinitas relaciones tiempo-temperatura capaces de producir un valor de esterilización dado, permaneciendo constantes los otros parámetros de procesamiento. Cada una de estas relaciones representa un proceso térmico dado, el cual induce una pérdida de nutrientes que se puede determinar teóricamente por el método de Barreiro, Salas y Herrera (7). De esta forma, se calcularon diversos procesos térmicos equivalentes para lograr la esterilización del producto (F=2.52 min), fijando la temperatura de procesamiento y calculando el tiempo requerido por el método de Stumbo (12); a su vez se estimó la fracción de tiamina retenida asociada a cada proceso utilizando el mismo método de Barreiro, Salas y Herrera (7). Las temperaturas de procesamiento seleccionadas fueron de 104.4°C (220°F), 110.0°C (230°F), 115.6°C (240°F), 121.1°C (250°F) y 126.7°C (260°F). Estos procesos fueron analizados para la determinación de uno que proporcionase la máxima retención de tiamina.

Optimización de las Dimensiones del Envase

Para investigar la posibilidad de la existencia de dimensiones óptimas de latas cilíndricas y maximizar la retención de nutrientes, se fijó un volumen equivalente al que puede ser envasado en una lata de 307x409. Existen infinitas relaciones diámetro-altura que proporcionan un volumen equivalente al de este tamaño de lata. Con este propósito se ensayaron las siguientes relaciones diámetro/altura, las cuales encierran un volumen equivalente al de

una lata de 307x409: 0.41, 0.75, 0.92, 1.16, 1.52, 2.13, 3.28, con diámetros de 7.13, 8.73, 9.33, 10.08, 11.04, 12.35 y 14.26 cm, respectivamente.

Para cada una de estas relaciones se siguió un procedimiento análogo al presentado con anterioridad, calculándose los tiempos de procesamiento requeridos para obtener grados de esterilización iguales (F=2.52 min) para las mismas temperaturas de procesamiento; luego, en cada caso se determinó en forma teórica la retención de tiamina.

RESULTADOS Y DISCUSION

Optimización del Procesamiento Térmico

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1 y en la Figura 1. Según se observa, existe un proceso térmico tal que la retención de nutrientes, en este caso tiamina, es máxima. Este proceso óptimo corresponde a una temperatura de 114.2°C (237.5°F) por 95 minutos. La fracción de tiamina retenida al aplicar este proceso fue de 0.688 (68.8°/o) para las condiciones de procesamiento señaladas, usando latas de 307x409.

En el supuesto de que se deseara maximizar simultáneamente varios nutrientes, es menester establecer antes un criterio de importancia relativa entre éstos. Dicho criterio podría ser de tipo económico, por ejemplo, el costo para reponer los nutrientes perdidos suplementando el alimento, o bien uno de tipo estrictamente nutricional, pesando el valor nutricional de los nutrientes perdidos. En este caso habría que seguir un criterio análogo al aquí presentado, determinándose para cada proceso térmico equivalente la pérdida de cada nutriente, ponderando, de acuerdo al criterio establecido, la importancia cuantitativa de dicha pérdida. A partir de los resultados obtenidos podrá determinarse un máximo de retención al cual corrésponde determinado procesamiento térmico óptimo.

Es conveniente hacer notar que, en general, el proceso térmico que proporciona la retención máxima de nutrientes no coincide con la retención máxima de las cualidades organolépticas del producto. Por consiguiente, se estima recomendable seleccionar un proceso térmico subóptimo en el que se consideren ambos factores.

Optimización de las Dimensiones del Envase

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2. Siguien-

TABLA 1

PROCESOS TERMICOS EQUIVALENTES Y RETENCION DE TIAMINA EN PURE DE GUISANTES ENVASADOS EN LATAS 307 x 409*

Temperatura de procesamiento, °C	104.4	110.0	115.6	121.1	126.7
Tiempo de procesamiento calculado, min	200.5	116.8	85.3	70.0	60.3
Fracción de tiamina retenida	0.603	0.674	0.681	0.651	0.605

* Temperatura inicial del producto: 37.8°C; difusividad térmica: 0.1019 cm^2/min; temperatura del agua de enfriamiento: 26.7°C, y tiempo de enfriamiento = tiempo de calentamiento.

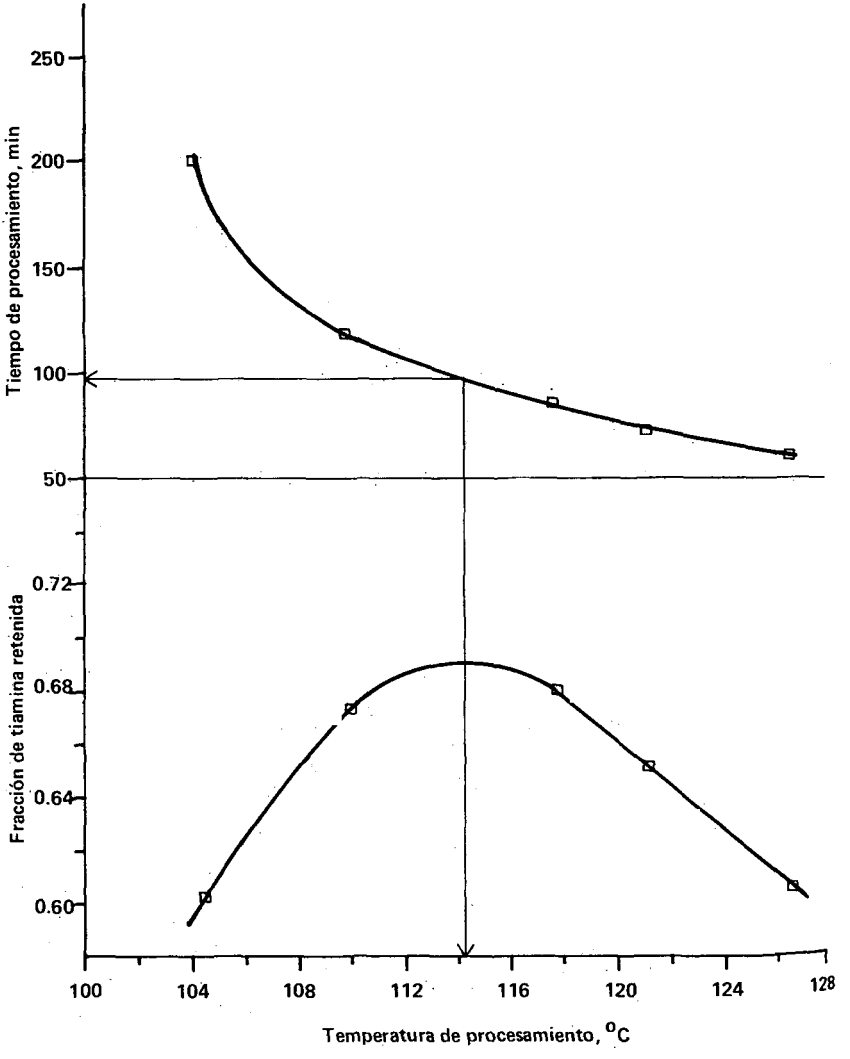

FIGURA 1

Procedimiento gráfico para la determinación de un proceso óptimo para maximizar la retención de tiamina

TABLA 2

PROCESOS TERMICOS EQUIVALENTES Y RETENCION DE TIAMINA PARA PURE DE GUISANTES ENLATADOS EN ENVASES DE VOLUMENES EQUIVALENTES AL DE UNA LATA 307 x 409

Diámetro de la lata, cm	2.807		3.437		3.675		3.969		4.348		4.861		5.613	
Diámetro / altura	0.41		0.75		0.92		1.16		1.52		2.13		3.28	
Temperatura de procesamiento, °C	t	R	t	R	t	R	t	R	t	R	t	R	t	R
104.4	183.7	.618	200.5	.603	205.3	.596	206.0	.596	202.2	.621	175.9	.639	155.8	.660
110.0	97.9	.711	116.8	.674	118.2	.675	118.7	.674	113.2	.721	103.3	.701	84.3	.735
115.6	69.4	.726	85.3	.681	87.2	.678	88.0	.676	84.0	.730	73.7	.715	56.2	.766
121.1	56.3	.702	70.0	.651	71.9	.647	70.5	.648	68.8	.710	59.9	.690	44.1	.757
126.7	48.2	.662	60.3	.605	62.3	.598	62.1	.601	60.6	.663	51.9	.644	38.1	.717

t = Tiempo de procesamiento, min.
R = Fracción de tiamina retenida.

do un procedimiento gráfico análogo al realizado anteriormente, para cada tamaño de envase considerado se encontró el valor máximo de retención de tiamina asociado a cada caso. Los resultados correspondientes a estos procesos óptimos para envases de volúmenes equivalentes se exponen en la Tabla 3.

Como puede observarse, no existe un máximo de retención de nutrientes no existiendo, por consiguiente, dimensiones óptimas. Teóricamente, los casos límite de un envase con diámetro infinito y altura cero o diámetro cero y altura infinita, darían la retención máxima posible. Sin embargo, cabe señalar un hecho interesante que confirma, en este trabajo, lo señalado por Teixeira, Stumbo y Zahradnik (6), y es que aun cuando no existe un óptimo para maximizar la retención de nutrientes, sí existen unas dimensiones que proporcionan retención mínima. Estas corresponden a aquellos valores del diámetro aproximadamente iguales a los de la altura. Por lo tanto, desde el punto de vista de la retención de nutrientes no es conveniente emplear envases cuyo diámetro y altura tengan valores parecidos, pudiendo utilizarse, en cambio, envases esbeltos cuya altura sea mucho mayor que su diámetro, o envases achatados de diámetro mucho mayor que su altura. Por supuesto, el uso de envases esbeltos o achatados estará limitado por aspectos de orden práctico o económico.

CONCLUSIONES

Se ha ilustrado, en este trabajo, la aplicación del modelo de Barreiro, Salas y Herrera (7) para la predicción de la pérdida de nutrientes con cinética de degradación térmica de primer orden, durante el procesamiento térmico de alimentos enlatados que se calienten por conducción, en la optimización del procesamiento térmico para la esterilización comercial de los mismos, con miras a maximizar su retención de nutrientes. De igual manera, se estudió la posibilidad de determinar dimensiones óptimas del envase para maximizar la retención de nutrientes.

En ambos casos el estudio se realizó utilizando un proceso de simulación en una computadora digital, para puré de guisantes. Se determinaron los procesos térmicos equivalentes y la retención de tiamina asociada a cada uno de ellos, para cuyos cálculos se tomó como patrón el microorganismo *Clostridium botulinum*. Los valores de esterilización fueron calculados en el punto frío del envase, y la pérdida de tiamina correspondiente a cada uno de

TABLA 3

PROCESOS TERMICOS OPTIMOS PARA LA MAXIMIZACION DE LA RETENCION DE TIAMINA EN PURE DE GUISANTES PARA DIVERSOS ENVASES DE VOLUMENES EQUIVALENTES AL DE UNA LATA DE 307 x 409

Diámetro de la lata, cm	2.807	3.437	3.675	3.969	4.348	4.861	5.613
Diámetro / altura	0.41	0.75	0.92	1.16	1.52	2.13	3.28
Máxima fracción de tiamina retenida	0.726	0.681	0.681	0.680	0.732	0.720	0.766
Temperatura óptima de procesamiento, °C	115.6	114.2	112.8	112.8	114.2	114.7	115.6
Tiempo óptimo de procesamiento, min	69.4	95.0	100.0	86.0	94.0	87.0	54.0

los procesos se estimó por el mismo método de Barreiro, Salas y Herrera (7).

En el primer caso se encontró que para una lata de 307x409 del producto, existía un proceso óptimo a la temperatura de procesamiento de 114.2°C (237.5°F) por 95.0 minutos, en cuyo caso la fracción máxima de tiamina retenida fue de 0.688 (68.8%).

En el segundo caso se constató que no existía un máximo de retención de nutrientes (tiamina) al variar las dimensiones del envase de forma tal que el volumen permaneciese constante e igual al de una lata de 307x409. Se encontró que a medida que se reducía el diámetro y se aumentaba la altura, o viceversa, la retención de nutrientes aumentaba, obteniéndose el caso límite cuando el diámetro tendía a infinito y la altura a cero, o viceversa. Se pudo observar, asimismo, que cuando el diámetro era aproximadamente igual a la altura, la retención de tiamina era mínima, por lo que desde el punto de vista de la retención de nutrientes, es conveniente utilizar para el procesamiento térmico latas achatadas o esbeltas, a fin de aumentar la retención de nutrientes. Esta medida, sin embargo, estaría limitada por aspectos de carácter práctico o económico.

SUMMARY

NUTRITIONAL OPTIMIZATION OF THE THERMAL PROCESSING OF CANNED FOODS

The model developed by Barreiro, Salas and Herrera (7) for the prediction of nutrient losses during the thermal processing of conduction heated foods was used in this work to optimize the thermal processing, maximizing nutrient retention in processes with equivalent sterilization values. The processes were simulated in a digital computer (taking pea purée canned in cans 307x409 as the product analyzed). All of the processes had equivalent sterilization values with respect to *Clostridium botulinum*. The thiamine retention associated with each process was calculated by the model of Barreiro, Salas and Herrera (7). The maximum fraction of thiamine retained was of 0.688 for a process at 114.2°C (237.5°F) for 95 minutes. Also, the possibility of the existence of a can with optimum dimensions for maximum thiamine retention, with the same sterilization values, was studied. It was found that this optimum does not exist; on the contrary, the retention was at a minimum when the diameter approaches infinite and the height zero, and viceversa. For this reason, from the nutrient retention point of view, it is

better to process the product in flat or slender cans for a given sterilization value.

BIBLIOGRAFIA

1. Stumbo, C. R. New procedures for evaluating thermal process for foods in cylindrical containers. **Food Technol.**, 7: 309-315, 1953.
2. Ball, C.O. & F.W. Olson. The formula method. (Chapter 12). En: **Sterilization in Food Technology**. New York, Mc Graw Hill, 1957, 654 p.
3. Hayakawa, K. New parameters for calculating mass average sterilizing values to estimate nutrients in thermally conductive food. **Can. Inst. Food Technol. J.**, 2: 165-172, 1969.
4. Jen, Y., J. E. Manson, C. R. Stumbo & J. W. Zahradnik. A procedure for estimating sterilization of and quality factor degradation in thermally processed foods. **J. Food Sci.**, 36: 692-698, 1971.
5. Teixeira, A. A., J. R. Dixon, J. W. Zahradnik & G. E. Zinsmeister. Computer optimization of nutrient retention in the thermal processing of conduction heated foods. **Food Technol.**, 23: 845-850, 1969.
6. Teixeira, A. A., C. R. Stumbo & J. W. Zahradnik. Experimental evaluation of mathematical and computer models for process evaluation. **J. Food Sci.**, 40: 653-655, 1975.
7. Barreiro, J. A., G. R. Salas & I. Herrera. Formulación y evaluación de un modelo matemático para la predicción de pérdidas de nutrientes durante el procesamiento térmico de alimentos enlatados. **Arch. Latinoamer. Nutr.**, 27: 325-342, 1977.
8. Lenz, M. K. & D. B. Lund. The lethality-fourier number method: experimental verification of a model for calculating temperature profiles and lethality in conduction-heating canned foods. **J. Food Sci.**, 42: 989-996, 1977.
9. Lenz, M. K. & D. B. Lund. The lethality-fourier number method: experimental verification of a model for calculating average quality factor retention in conduction-heating canned foods. **J. Food Sci.**, 42: 997-1001, 1977.
10. Feliciotti, E. H. & W. B. Esselen. Thermal destruction rates of thiamine in puréed meats and vegetables. **Food Technol.**, 11: 77-84, 1957.
11. Mulley, E. A., C. R. Stumbo & W. M. Hunting. Kinetics of thiamine degradation by heat. A new method for studying reaction rates in model systems and food products at high temperatures. **J. Food Sci.**, 40: 985-988, 1975.
12. Stumbo, C. R. Thermal process evaluation (Chapter 9). En: **Thermobacteriology in Food Processing**. 2nd ed. New York, Academic Press, 1973, p. 123-128.