

SIMULACION Y OPTIMIZACIÓN DE UN PROCESO DE TRASFERENCIA DE CALOR PARA LA INACTIVACIÓN DE *Clostridium botulinum* EN ALIMENTOS COLOMBIANOS

OSCAR RODRÍGUEZ BARRAGAN, GUILLERMO SALAMANCA GROSSO¹,
JOSE ABRIL REQUENA²

¹Grupo de Investigaciones Mellitopalínológicas y Propiedades Físicoquímicas de Alimentos
Facultad de Ciencias Universidad del Tolima
Barrio Santa Helena, Ibagué-Colombia
e-mail: oscarrodriguez@gmail.com; salamancagrosso@gmail.com

²Departamento de Tecnología de Alimentos
Universidad Pública de Navarra
Campus de Arrosadia 31006 Pamplona-España
e-mail: jabril@acyja.com

Palabras clave: Colombia, Simulación, Inactivación térmica, *Clostridium botulinum*,

Resumen. Se han generado los perfiles de inactivación térmica *Cl. botulinum* en cinco productos colombianos susceptibles de enlatado: Lechona, Tamal, Envuelto de mute, Bollo de yuca y Subido. Se determinó el tiempo óptimo de esterilización a través de curvas de penetración de calor. El proceso se simuló sobre autoclave horizontal para dos tipos de bote metálico (99x102 mm y 83x140 mm), en el rango 120 a 150 °C hasta alcanzar 12 reducciones decimales. Se estimaron las propiedades térmicas C_p ($\text{KjKg}^{-1}\text{K}^{-1}$), κ ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) y α (mm^2s^{-1}). Los efectos de las interacciones bote y temperatura fueron verificados.

1. INTRODUCCIÓN

En tecnología de alimentos los procesos de transmisión de calor permiten la inactivación de agentes microbianos de significación. La persistencia de éstos agentes depende en buena medida de los efectos térmicos necesarios para el aseguramiento e inocuidad de los productos y protección de la salud pública. Los mayores riesgos proceden de tres patógenos principales, *Clostridium botulinum*, *Cl. perfringens* y *Bacillus cereus*. La simulación del proceso de transferencia de calor es cada vez más necesaria, pues reduce los costes de operación de autoclaves y la información generada es susceptible de valorar a través de diseños experimentales de cuyos resultados logra la optimización de un tratamiento frente a un microorganismo en particular. La alimentación de los colombianos es dependiente de factores culturales y económicos asociados; la movilidad, urbanización y necesidades de etnias y culturas, ha permitido y facilitado la incursión de productos típicos y su mercado se ha extendido a otros círculos sociales; la industria alimentaria ha centrado su interés en la

comercialización de éstos productos de gran demanda que se presentan ya sea en salmueras, enlatados, empacados al vacío o precocidos; por múltiples razones entre ellas las del tipo laboral, reducen el tiempo dedicado a la preparación de los alimentos es menor. Los beneficios que la tecnología de alimentos sobre los procesos de conservación y el establecimiento de condiciones que aseguren la inocuidad de los alimentos como requisito para la protección de la salud de los consumidores se hace efectiva cuando se busca la aplicación de procedimientos tendientes a la reducción del contenido de humedad, uso de barreras mecánicas, aseguramiento de la calidad respecto de la persistencia y reducción de agentes de deterioro de microorganismos de significación alimentaria, además de la optimización de formulaciones y condiciones de empaque, almacenamiento y manejo de los mismos [1].

La preservación de alimentos a través de operaciones de transferencia de calor se alcanza con la inactivación de los microorganismos patógenos; *Clostridium botulinum* es considerado como el principal agente patógeno, este agente es una bacterias anaerobias, grampositiva provista de flagelos peritricos y con la mayor termorresistencia y por ello con mayor probabilidad de sobrevivencia a los tratamientos térmicos[2,3]. La cantidad de calor requerida para inactivar los microorganismos es una importante propiedad, que debe ser determinada con el propósito de especificar un adecuado tratamiento térmico. Durante la cocción de los alimentos se logra reducir la actividad de microorganismos termosensibles, pero prevalecen otras formas de mayor resistencia. Los procesos térmicos convencionales tienen la obligación de alcanzar la inocuidad de los alimentos mediante un proceso letal y al mismo tiempo acondicionarse de la manera más práctica a las interacciones entre las variables del proceso, producto y empaque presentes en los eventos reales[4,5]. La salud pública se garantiza con un adecuado tratamiento que consiga 12 o más reducciones decimales para el *Cl. botulinum*, las operaciones de inactivación de agentes termorresistentes debe ser superior a los 100 °C [6,7]. Es evidente que un tratamiento realizado en estas condiciones tendrá un efecto sobre las cualidades organolépticas del alimento, luego las condiciones del tratamiento (tiempo y temperatura) deberán ajustarse también con el efecto cocción admitida o deseado [3,8].

En este trabajo se han considerado en cinco productos de amplio consumo entre la población colombiana y que han ganado el interés de la industria alimentaria obligando a la generación de nuevas formas de envasado para su comercialización y consumo. Se estudia la dinámica de las curvas de penetración de calor y se establecen los criterios técnicos que han de ser acogidos para el aseguramiento e inocuidad mediante tratamiento térmico y respecto del agente *Cl. botulinum* usado como referencia en los estudios de letalidad.

MATERIALES Y METODOS

Alimentos: Lechona es el producto típico del Tolima Grande, es elaborado con carnes magras de pollo y cerdo, arroz, papa, arvejas, zanahorias y demás condimentos y aderezos naturales permitidos que han sido declarados aptos para consumo humano. El tamal, esta elaborado de

maíz cocido, cerdo, pollo, porciones de res, zanahoria, arroz y alverja, todo esto envuelto en hojas de biao. El bollo de yuca, proveniente de la costa atlántica se compone de yuca molida y sal que ha sido molida y amasada, luego se envuelve en hojas de maíz y se cocina en agua. Los envueltos de maíz son una masa de granos de mazorca molidos, queso y un poco de azúcar, que después de mezclados se envuelven en hojas de maíz y se cocinan en agua. Los subidos, propios y a diferencia de los envueltos de maíz estos llevan granos más grandes provocando una fermentación que aumenta su tamaño en el proceso de cocción. La composición proximal de estos alimentos es como se muestra a continuación.

Agente de significación: El botulismo es una intoxicación neuromuscular producida por un bacilo anaeróbico, Gram-Positivo y formador de esporas, ampliamente distribuido en la tierra, el agua fresca y los sedimentos marinos [2,9]. Aunque todas las variedades de *Clostridium* capaces de producir la toxina fueron catalogados *Cl. botulinum* se ha identificado distintas especies capaces de generar la toxina *Cl. butyricum*, *Cl. barati*. No obstante existen 4 tipos definidos de esta toxina, pero según los tecnólogos de alimentos las variedades de los grupos I y II son de mayor riesgo para la salud humana produciendo toxinas tipo A, B, E y raramente tipo F. Las variedades del grupo III no generan toxinas que desencadenen enfermedades [9].

Diseño experimental. Se generó un diseño factorial 2^2 (Temperatura de mantenimiento de 120 y 150 °C; tipo de bote metálico 83x140 mm (756 cm³) y 99x102 mm (785cm³). Las variables respuesta que se tuvieron en cuenta fueron el tiempo de mantenimiento (min), la temperatura máxima en el centro del alimento (°C) y la letalidad obtenida (min). Los efectos de las interacciones bote y temperatura fueron verificados usando el paquete estadístico Minitab 14TM

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización de materias primas. El contenido de humedad de los alimentos bajo estudio es alto, condición que favorece la proliferación de microorganismos patógenos, esto se evidencia en el Tamal y el Envuelto de mute. La lechona sobresale por un alto valor proteico y un contenido de sustancias inorgánicas mayor a los demás. El bollo de yuca y el envuelto de mute proveen grandes cantidades de energía al cuerpo en forma de carbohidratos, aporte reducido en el tamal pero que se ve compensado con su contenido de grasas. Los alimentos en general son malos conductores térmicos. En el estudio sobresale el valor de la conductividad térmica de la lechona y el envuelto de mute, esto debido al gran aporte del contenido de humedad y proteína. La capacidad calorífica se hace mayor en el envuelto de mute debido al aporte hecho por el agua y los carbohidratos. Los carbohidratos del bollo de yuca lo hacen de igual forma el alimento más denso del estudio.

	Contenido (% P/P)
--	-------------------

Parámetros	Lechona	Tamal	Envuelto de Mute	Bollo de Yuca	Subido
Carbohidratos	16.50	17.50	29.40	33.80	28.50
Proteína	12.70	3.10	3.20	0.60	3.80
Cenizas	2.10	1.70	0.40	0.30	0.50
Grasa Total	8.00	8.80	0.30	0.10	1.80
Fibra	1.00	0.60	0.60	0.50	0.70
Humedad	59.70	68.30	66.10	64.70	64.30

Tabla 1. Análisis proximal (g/por 100g) de los alimentos colombianos incluidos en el estudio

Parámetros	Unidades	Valores				
		Lechona	Tamal	Envuelto de Mute	Bollo de Yuca	Subido
Capacidad calorífica	Kj/Kg°C	3.398	3.479	3.396	3.348	3.357
Conductividad térmica	W/m°C	0.496	0.526	0.555	0.551	0.542
Difusividad	mm ² /s	0.142	0.147	0.151	0.150	0.149
Densidad	Kg/m ³	1055.840	1027.450	1081.390	1093.860	1081.520

Tabla 2. Propiedades térmicas de los alimentos a 120 °C

Perfiles Térmicos. La evolución de la temperatura del sistema de calentamiento evidencia tres etapas determinadas por el sistema; la primera etapa de calentamiento inicia desde los 30°C y perdura durante 20 minutos hasta alcanzar el régimen de mantenimiento o segunda etapa donde se genera el mayor aporte del tratamiento hacia la inactivación de *Cl. botulinum*. Posteriormente la fase de enfriamiento determina el fin del proceso. Para el caso del tamal (figura 1) los perfiles generados a 120°C muestran tiempos mayores de esterilización que los generados a 150°C. De igual forma el pote de mayor volumen (785cm³) requiere de un régimen estacionario más severo para alcanzar el mismo efecto letal.. Aunque el aumento de los regimenes de autoclavado son de 30°C, no se manifiesta un incremento mayor a los 5°C en el punto frío del alimento. El tiempo de mantenimiento puede ser modelado para este caso, siendo T (°C) la temperatura de mantenimiento y V (ml) la capacidad de cada pote.

$$tiempo(min) = 2206,38 - 13,1989(T) - 2,68966(V) + 0.016092(T \times V) \quad (1)$$

Optimización: Se evidencia la existencia de diferencias significativas al nivel del 5% entre los dos niveles de temperatura usados y los dos tipos de potes estudiados. Según las superficies de contorno y de respuesta (figura 2) generadas para la interacción bote-temperatura y tiempo de mantenimiento demuestran que existe una relación lineal entre los factores y la variable respuesta. Para obtener una mayor retención de la calidad en los alimentos, el valor de la letalidad deseada y el tiempo máximo tiempo de proceso pueden ser usados como limitantes en

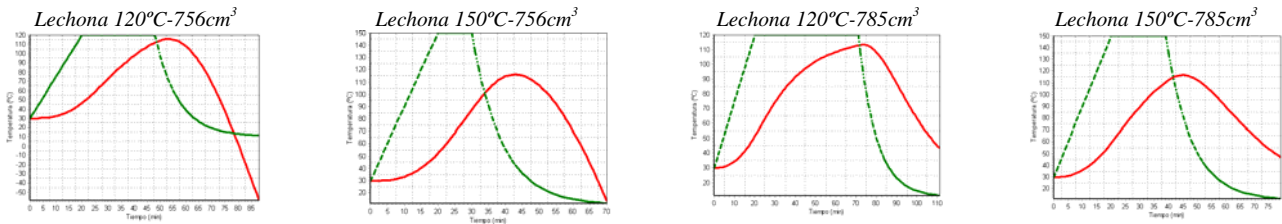


Figura 1. Perfiles térmicos para Lechona simulados con CPC Plus.

la búsqueda del ciclo óptimo del tratamiento térmico. El análisis de varianza divide la variabilidad de la Letalidad en distintos segmentos separados para cada uno de los efectos. El modelo así ajustado explica el 100.0% de la variabilidad de la letalidad:

$$L(\text{min}) = 107,483 - 0,852299(T) - 0.141379(V) + 0.00114943(T \times V) \quad (2)$$

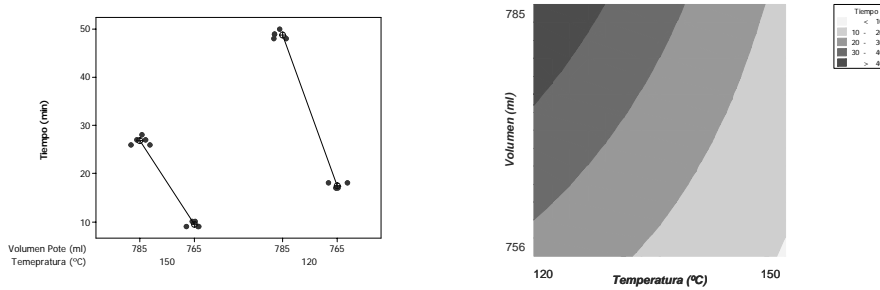


Figura 2. Variación del tiempo de mantenimiento con respecto al bote utilizado y la temperatura de esterilización.

La combinación de niveles de factores que maximizar la letalidad por encima de la región indicada (figura 3) sugiere una temperatura de 150 °C y un volumen de pote de 756 ml. De igual manera se certifica la influencia de la temperatura de mantenimiento sobre la letalidad lograda por el tratamiento térmico.

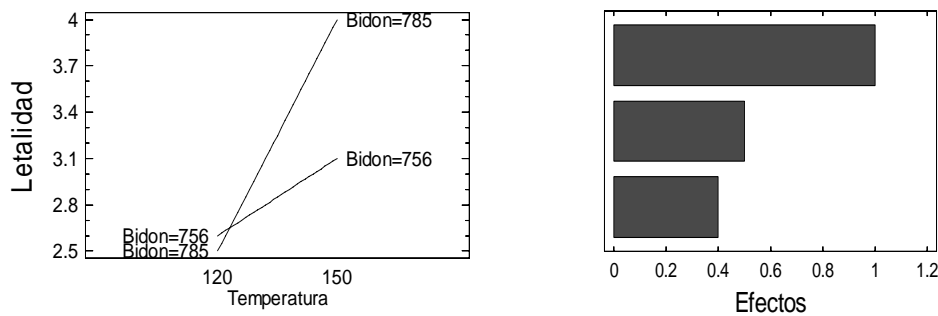


Figura 3. Interacción de factores para la letalidad y Grafico de Pareto

CONCLUSIONES

El software CPC Plus es una herramienta capaz de predecir el tiempo de esterilización para distintos productos en escenarios diversos, convirtiéndose en una posibilidad para el diseño de tratamientos térmicos de nuevos productos. La determinación de las propiedades térmicas permite modelar el comportamiento de los mismos bajo condiciones simuladas. En los escenarios donde la esterilización se realiza sobre potes de mayor volumen se hace necesario prolongar por más tiempo el tratamiento térmico, por el contrario al aplicar regimenes térmicos más severos la duración del mismo se ve disminuida considerablemente pero contrata con los posibles daños nutricionales y organolépticos que se pueden generar sobre el alimento. Para el caso de *Cl botulinum* es necesario alcanzar valores esterilización cercanos a los 3.0 minutos por lo tanto una combinación de variables optima, que según el estudio realizado se cumple cuando la temperatura de mantenimiento alcanza los 150°C y los potes de 756 ml. Se recomienda la evaluación de las propiedades térmicas de cada alimento y su variación a través del tiempo, teniendo en cuenta el efecto de la temperatura sobre su composición del alimento

REFERENCIAS

- [1] STEELE, R. (2004) Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food: The Mayor Types of Spoilage: An Overview. Estados Unidos: CRC Press.
- [2] GIBBS, Paul (2002) Foodborne pathogens. Hazards, risk analysis and control: Characteristics of spore-forming bacteria. Estados Unidos: CRC PRESS.
- [3] CASP A.; ABRIL, J.(2003) Procesos de Conservación de Alimentos: Fundamentos de los Tratamientos Térmicos. Ed. MUNDI-PRENSA, Madrid. España.
- [4] VAN, Ann. (1999) Processing Foods: Quality, Optimization and Process Assessment: Enzymic time-temperature integrators for the quantification of thermal processing terms of food safety. Estados Unidos: CRC Press.
- [5] HIROKO, Ionura; VELEZROMO, Carmen (2007). Desarrollo de un software empleando LabVIEW para evaluación y calculo de procesos térmicos. *En: Alimentos, Ciencia e Ingeniería*. Vol 16, (1) pp 268-270.
- [6] RICHARDSON, P. (2004) Improving the Thermal Processing of Foods. CRC Press. Estados Unidos.
- [7] FORSYTHE, S. (2003). Alimentos Seguros: Microbiología. Acribia. España
- [8] JONGEN, W. (2002) Fruit and Vegetable Processing. Improving Quality. CRC Press. Estados Unidos
- [9] GIBBS, Paul. Foodborne pathogens. Hazards, risk analysis and control: Characteristics of spore-forming bacteria. Estados Unidos: CRC PRESS, 2002.
- [10] RODRIGUEZ, Oscar; FORERO, Freddy; SALAMANCA, G. (2007). Programa para el análisis dinámico de curvas de penetración de calor en alimentos enlatados. *En: Alimentos, Ciencia e Ingeniería*. Vol 16, (1) pp 261-264.