

INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE AGITACIÓN EN LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL PROCESO TÉRMICO EN UN CREMOGENADO DE COLIFLOR

¹Gómez, A. *; López, R.; ²Abril, J.; Casp A.

1CITA La Rioja, Centro Innovación y Tecnología Alimentaria de La Rioja.
Pol. Tejerías Norte. c/ Los Huertos 2.
Cp 26500. Calahorra, La Rioja.

agomez@cita-larioja.es

2Departamento de Tecnología de Alimentos
Universidad Pública de Navarra.
Campus Arrosadía.- Pamplona (España)

jabril@unavarra.es

PALABRAS CLAVE: tratamientos térmicos, consumo energético, autoclave de ducha de agua.

1. RESUMEN

La tendencia actual en los tratamientos térmicos se proyecta hacia la optimización del proceso de manera que se consiga disminuir el tiempo del tratamiento, garantizando, al mismo tiempo, la inocuidad del producto y redundando en una menor afección de la calidad organoléptica del producto final; mejorando, por tanto la eficiencia energética. Los tratamientos térmicos siguen siendo uno de los mejores métodos para la conservación en las Industrias Agroalimentarias ya que producen la inactivación de la población microbiana del alimento garantizando la seguridad alimentaria del producto.

La aplicación de movimiento durante un proceso térmico es una opción más que interesante para la optimización del proceso ya que mejora la transmisión de calor.

Bajo estas premisas se planteó el estudio de la influencia de los sistemas de agitación (rotativo: 6, 10 rpm, oscilante frente a estático) en la mejora de la transmisión de calor en un producto cremogenado de coliflor. Para ello se evaluó la reducción de tiempos en el tratamiento térmico de esterilización

Se concluyó que existe una mejora en la transmisión de calor durante la fase de esterilización del cremogenado de coliflor debido a la aplicación de un sistema de agitación. Esto trae consigo la reducción de tiempos de tratamiento en la fase de mantenimiento garantizando el mismo valor esterilizador F_0 . Esta reducción de tiempo resulta más destacable a medida que se aumenta la velocidad de rotación para los valores ensayados.

Por tanto, se consigue una mayor eficiencia del proceso térmico, pudiendo conseguir una reducción en los costes energéticos.

2. INTRODUCCIÓN

A priori, la aplicación de movimiento durante un proceso térmico, mejora la transmisión de calor, con lo que se conseguirá una optimización del mismo, y se reducirá el tiempo de tratamiento. Esta reducción de tiempo de tratamiento redundará en una menor afección en la calidad del producto final: minimizando las reacciones indeseables que se aceleran con la temperatura (Richardson, 2004). A medida que se incrementa la velocidad de rotación disminuye el tiempo para que el contenido del producto alcance la temperatura de tratamiento en el punto crítico. En este trabajo se plantea el estudio de la influencia de los sistemas de agitación en la mejora de la transmisión de calor en un producto tratado térmicamente por esterilización: producto V Gama, cremogenado de coliflor. Este trabajo se enmarca dentro del proyecto FOODFRESHTEC: *“Desarrollo de nuevos productos a partir de materias primas: COLIFLOR apta de acuerdo a unas Buenas Prácticas Postcosecha para su procesado en IV-V Gama.”*

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Producto: crema de coliflor de la siguiente composición: coliflor (var. Galliotte): 34%; patata (var Monalisa): 22%; agua: 34%; mantequilla: 3%; leche semidesnatada: 7%; sal: 1%. El producto sufre una cocción en Thermomix a 100°C durante 20 minutos.

Barquetas plásticas de polipropileno (PP) con material barrera (EVOH) de 310ml de capacidad y de dimensiones 187 x 137 x 36 mm. Las barquetas fueron termoselladas con film de la misma composición que el cuerpo en una cerradora semiautomática ULMA mod. SMART 300.

Proceso térmico de esterilización se realizó en un autoclave piloto SURDRY (figura 1) de ducha de agua sobrecalentada, con un caudal de 6 l/min, con posibilidad de trabajar por inmersión, modo estático, rotativo, oscilante.



Figura 1. Autoclave piloto SURDRY

El registro de la temperatura del agua de proceso y del producto se ha realizado con sondas Pt-100 Tracksense Ellab.

Métodos

Determinación del tratamiento térmico de esterilización (F_0), (C_0)

Se aplicó un tratamiento térmico de esterilización de manera que se garantizara la inocuidad del producto. En este caso se fijó la misma intensidad de tratamiento térmico de F_0 7 para todos los casos (estático, rotativo: Tapa-Fondo-Tapa, oscilante) con el fin de poder ver diferencias en el tiempo de tratamiento.

$F_{121,1}^{10}$ = valor esterilizador a la temperatura de referencia (121,1°C) y para el *Clostridium botulinum*, que es el microorganismo cuyas esporas se toman como referencia para los procesos de esterilización de alimentos. Para simplificar, este valor esterilizador se denomina F_0 .

C_{100}^{30} = valor de cocción a la temperatura de referencia (100°C) y para la modificación de la textura, cuyo parámetro "z" es próximo a 30°C. En el caso de la cocción es normal utilizar en cada caso el valor "z" de la propiedad que se esté estudiando.

Determinación del tiempo de tratamiento para cada sistema

Para conseguir la misma F_0 en todos los sistemas se partió de la curva de penetración de calor en modo estático (tratamiento control) en el centro térmico donde se varió el tiempo en

la fase de mantenimiento, ya que el efecto esterilizador (F_0) es función primordialmente del tiempo de mantenimiento de las temperaturas más altas.

Aplicación del tratamiento térmico

Se establecieron las diferentes condiciones de tratamiento para cada sistema: estático, rotatorio, oscilante en el autoclave piloto:

Sistema rotatorio

Las velocidades de rotación fueron seleccionadas con el fin de abarcar una velocidad intermedia y alta para poder ver diferencias en la reducción del tiempo de tratamiento: 6, 10 rpm (*Barriobero, Mir-Bel, 2010*). La influencia de velocidad de rotación tiende a saturarse, alcanzando una velocidad en que no existe mejora en la transmisión de calor.

Sistema oscilante

Los parámetros a controlar en el sistema de agitación oscilante es el tiempo de parada una vez realizada la oscilación, la transmisión de calor no mejora en función del tiempo de parada independientemente del tiempo de parada ya que la velocidad de la oscilación es la misma y no existen cambios sustanciales en la generación de las corrientes de convección (*Barriobero, Mir-Bel, 2010*). De acuerdo, a esto se seleccionó el mínimo tiempo de parada en cada oscilación 2s con el fin de minimizar ese tiempo y provocar por la inercia del movimiento del propio producto una homogeneización del mismo.

Registro de la evolución de la temperatura

Las temperaturas del interior y exterior de las barquetas se registraron con las sondas ubicadas en el punto crítico más desfavorable de la transmisión de calor. Las sondas se posicionaron de manera que se obtuvieran perfiles de temperatura experimentales de los puntos críticos. Se realizaron 3 repeticiones de cada tratamiento.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del sistema de agitación sobre la transmisión de calor

Tiempo de proceso de esterilización para cada sistema

Se estableció un tratamiento térmico de referencia cuyo F_0 fuera como mínimo de 6, concretamente entorno a 7 para garantizar la estabilidad comercial del producto. En la tabla siguiente aparecen detalladas de las condiciones del proceso aplicadas para cada sistema de agitación:

Tabla 1. Condiciones del tratamiento térmico.

FASES	Sistema	t (min)	T^a(°C)	P(bar)	F₀
CALENTAMIENTO		15	121	1,5	
MANTENIMIENTO	Estático	20	121	1,5	7,77 ± 0,42
	Rotativo 6 rpm	12			7,77 ± 0,40
	Rotativo 10 rpm	10			7,37 ± 0,76
	Oscilante (tiempo de espera 2s)	11			7,43 ± 0,29
ENFRIAMIENTO		15	60	1	

En la tabla 1 se observa como el hecho de generar una agitación externa durante el tratamiento térmico supone una disminución en el tiempo de proceso, concretamente en la fase de mantenimiento. La limitación en la reducción del tiempo de duración de la fase de mantenimiento vendrá dada por el cumplimiento de los límites críticos establecidos para garantizar la seguridad alimentaria.

En el caso de los tratamientos aplicados por rotación, a medida que se aumenta la velocidad de rotación se reduce el tiempo de la fase mantenimiento. Para el caso del sistema oscilante, existe también una reducción de tiempo en el mantenimiento encontrándose el tiempo para conseguir el valor de F_0 definido entre la rotación a 6 rpm, 10 rpm.

Todo esto se puede observar a través de las figuras en las que se representa la curva de penetración de calor en el punto crítico obtenidas para cada uno de los sistemas (Figuras 2, 3, 4, 5).

En ellas se observa cómo para el tratamiento en estático la penetración de calor (Figura 2) se da de forma más lenta, donde el mecanismo de transmisión más característico es solamente la convección natural. En este caso no existe convección forzada debida a la agitación externa cómo se observa en las figuras 3, 4, 5, donde se observa un cambio de tendencia en la curva de penetración de calor hacia un comportamiento convectivo de la transmisión de calor. Esto supone una transmisión de calor más eficiente alcanzándose el valor límite establecido F_0 antes que en el caso del tratamiento térmico en estático (minuto 42), frente al minuto 33-35 min con los sistemas de agitación (rotación, oscilante).

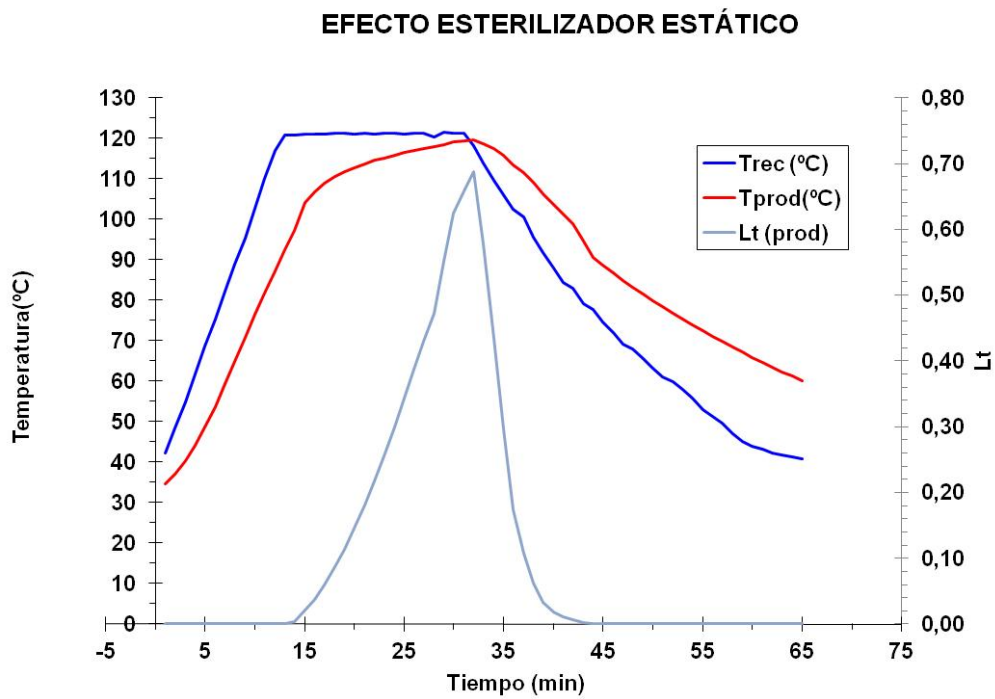


Figura 2. Curva de penetración de calor y de letalidad en el punto crítico de una barqueta sometida a un tratamiento térmico en estático.

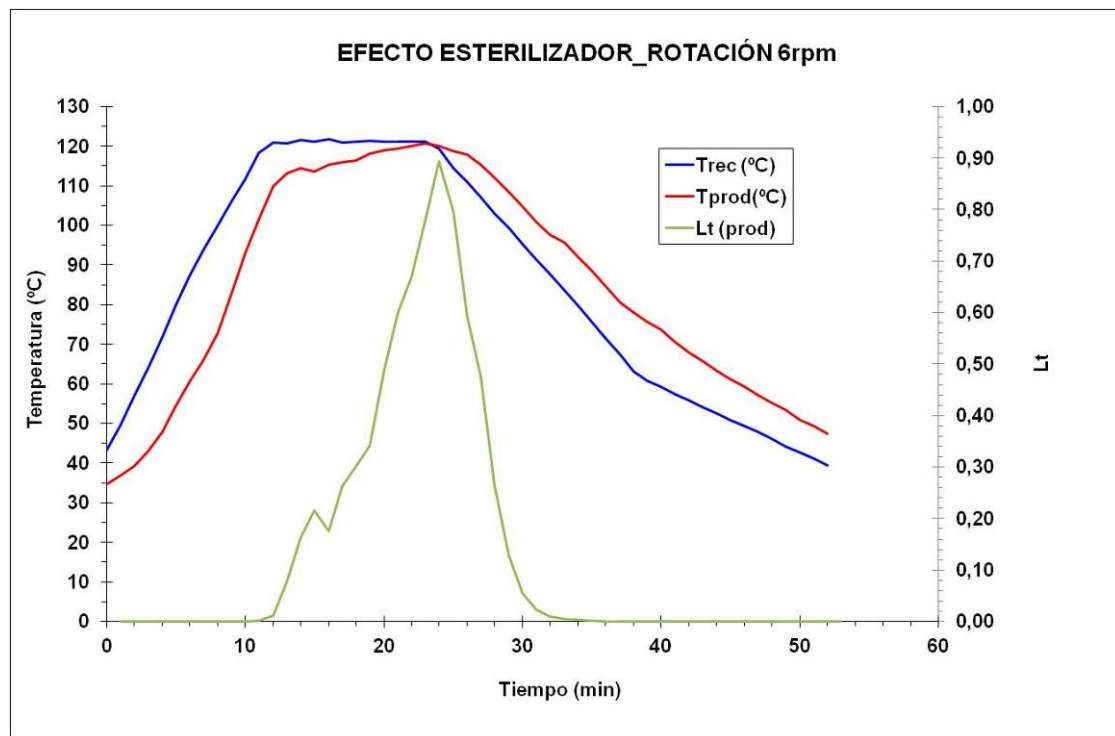


Figura 3. Curva de penetración de calor y de letalidad en el punto crítico de una barqueta sometida a un tratamiento térmico en rotativo 6 rpm.

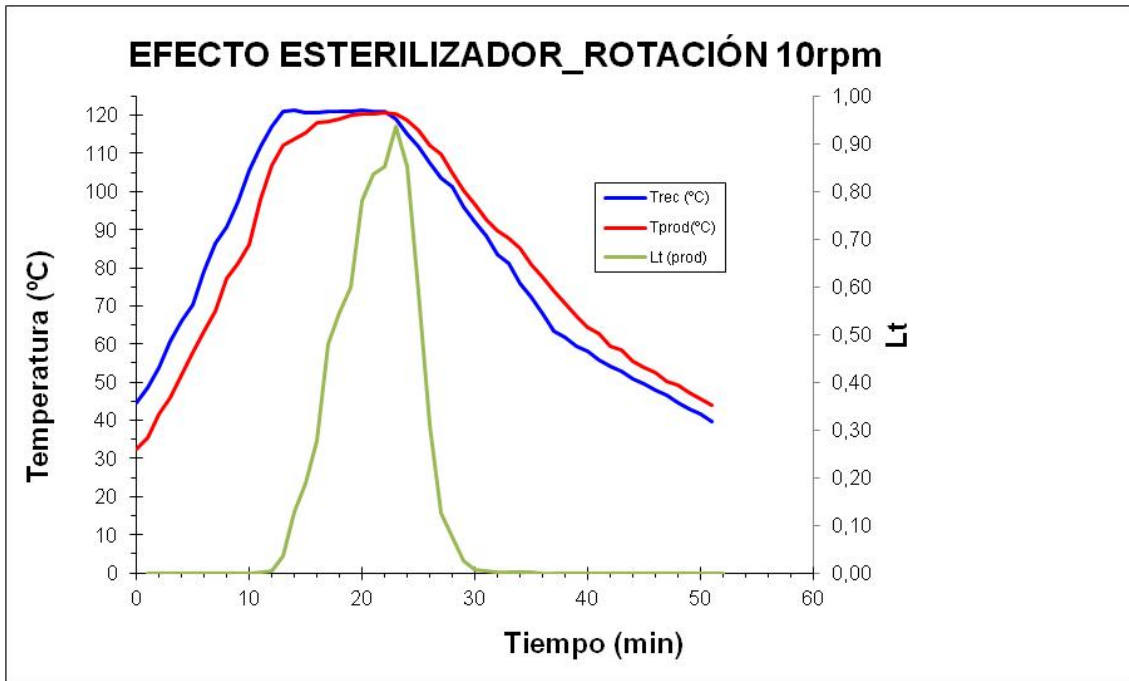


Figura 4. Curva de penetración de calor y de letalidad en el punto crítico de una barqueta sometida a un tratamiento térmico en rotativo 10 rpm.

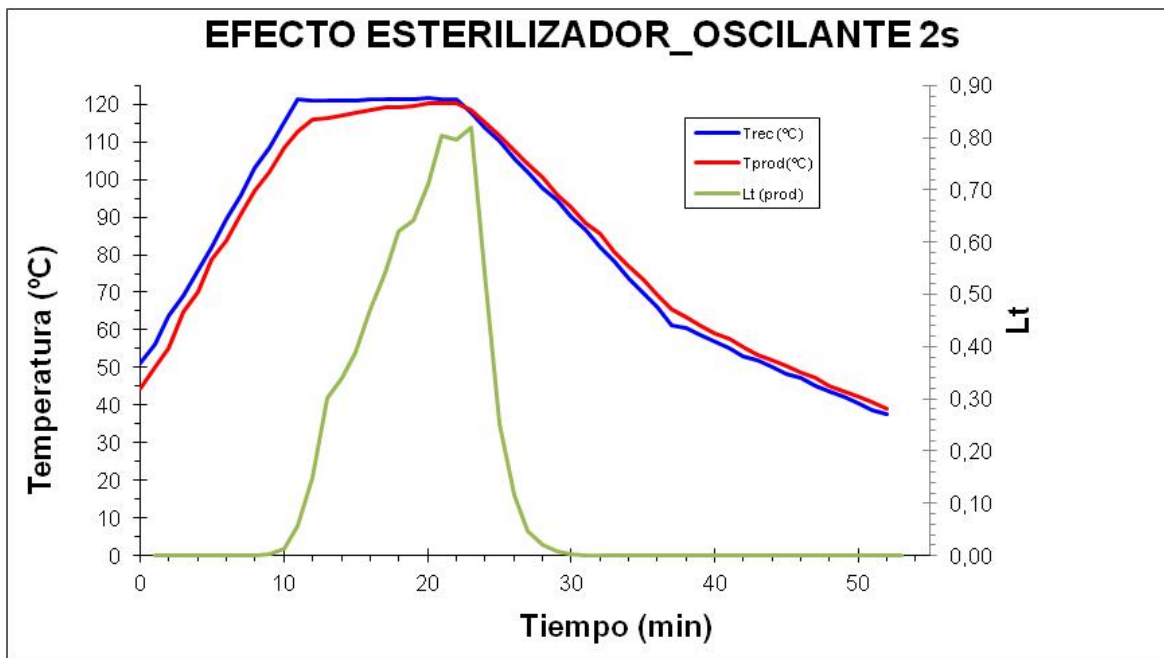


Figura 5 Curva de penetración de calor y de letalidad en el punto crítico de una barqueta sometida a un tratamiento térmico en oscilante (2s).

Valores: F_0

Para analizar correctamente el efecto de los diferentes sistemas de agitación, se analizó el efecto de esterilización (F_0). A continuación se recogen los valores medios de F_0 (Tabla 2) obtenidos para cada tratamiento térmico aplicado. El mismo F_0 como se ha explicado en materiales y métodos se consigue con tiempos diferentes, debido a una mejora en la transmisión de calor.

Tabla 2. Valores de intensidad media del tratamiento térmico (F_0) para cada uno de los sistemas aplicados con su correspondiente desviación típica.

Sistema	ESTÁTICO	ROTATIVO 6rpm	ROTATIVO 10rpm	OSCILANTE
Tiempo de la fase de mantenimiento (min)	20	12	10	11
F_0	$7,77 \pm 0,42$	$7,77 \pm 0,40$	$7,37 \pm 0,76$	$7,43 \pm 0,29$
C_0	$80,30 \pm 2,7$	$72,90 \pm 0,40$	$63,40 \pm 5,90$	$70,00 \pm 0,90$

Se observa una reducción en el tiempo de duración del tratamiento debido a la introducción de sistemas de agitación. Se observa como al aumentar la velocidad de rotación y manteniendo el valor de F_0 entorno a 7 el efecto en la cocción disminuye, C_0 de 80,30 en Estático pasa a 63,40 en Rotación 10 rpm. Gracias a la reducción en el tiempo de duración del tratamiento debido a la introducción de sistemas de agitación que mejoran la transmisión de calor, se observa una reducción en el efecto de cocción, frente al modo estático. Las modificaciones de las propiedades nutricionales son tiempo-dependientes (más sensibles a la duración del proceso).

El empleo de un sistema de agitación rotativo frente al modo estático supone una reducción del 10% en el consumo de vapor en el proceso de esterilización. El caudal máximo de vapor necesario para llevar a cabo el tratamiento térmico de esterilización aplicado mediante un sistema de agitación rotativo es mayor que en el caso del estático ya que el aporte de calor a través de la transmisión de calor del vapor al producto se realiza en un menor periodo de tiempo de proceso.

5. CONCLUSIONES

Existe una mejora en la transmisión de calor durante la fase de esterilización del cremogenado de coliflor debido a la aplicación de un sistema de agitación. Con los sistemas de agitación el mecanismo de transmisión predominante es la convección al contrario que en el caso del tratamiento térmico en estático, donde se da convección natural y conducción dada la viscosidad del cremogenado donde la transmisión de calor es más lenta. Esto trae consigo la reducción de tiempos de tratamiento en la fase de mantenimiento garantizando el mismo valor esterilizador F_0 , es decir, se alcanza el valor de F_0 establecido para garantizar la esterilidad comercial del producto cremogenado V Gama en menos tiempo. Esta reducción de tiempo resulta más destacable a medida que se aumenta la velocidad de rotación para los valores ensayados.

El empleo de un sistema de agitación rotativo frente al modo estático supone una reducción del 10% en el consumo de vapor en el proceso de esterilización. El caudal máximo de vapor necesario para llevar a cabo el tratamiento térmico de esterilización aplicado mediante un sistema de agitación rotativo es mayor que en el caso del estático ya que el aporte de calor a través de la transmisión de calor del vapor al producto se realiza en un menor periodo de tiempo de proceso.

Por tanto, se consigue una mayor eficiencia del proceso, pudiendo conseguir una reducción en los costes energéticos. Su interés radica en que los tratamientos térmicos son una etapa del proceso de elaboración de productos V Gama donde mayor consumo energético existe.

6. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto está financiado por la Consejería de Agricultura del Gobierno de La Rioja, en el que se cuenta con la participación de la Asociación Profesional de Productores y Comerciales de la Coliflor.

7. Bibliografía

Abril Requena, J. (2004a). *Tratamientos térmicos de alimentos en autoclave*. Universidad Pública de Navarra: 1-10.

Abril, J, Casp, A. (2004b). Proceso térmico de alimentos en barquetas plásticas. *III Congreso Español de Ingeniería de Alimentos*. (Pamplona). ISBN 84-688-7989. Pág. 785-788.

Abril, J, Casp, A. (2008). Influencia de la posición en el procesado térmico de alimentos en barquetas plásticas. *II Congreso Iberoamericano sobre Seguridad Alimentaria*. *V Congreso Español de Ingeniería de Alimentos* (Barcelona 5-7 Noviembre). CIMNE, España.

Abril, J, López, R, Casp, A. (2010). Tratamiento térmico de alimentos mediante agitación en sistemas de movimiento alternativo. *VI Congreso Español de Ingeniería de Alimentos* (Logroño). ISBN 978-84-7359-654-1.

Ali, A.A, Sudhir, B y Gopal, T.K.S. (2006). Effect of rotation on the heat penetration characteristics of thermally processed tuna in oil in retort pouches. *International Journal of Food Science and Technology*, 41: 215-219.

Ali, A.A, Sudhir, B, Mallick, A.K y Gopal, T.K.S. (2007). Effect of rotation on process time of thermally processed mackerel in oil in aluminium cans. *Journal of Food Process Engineering*, 31: 139-154.

Barriobero, J, Mir-Bel, J y López, R. Influencia de la velocidad de rotación durante la fase de esterilización en la calidad del tomate triturado. *VI Congreso Español de Ingeniería de Alimentos* (Logroño). Centro de Innovación y Tecnología Alimentaria de La Rioja (CITA-La Rioja). ISBN 978-84-7359-654-1.

Barriobero, J, Mir-Bel, J y López, R. Optimización de la fase de esterilización en tomate triturado mediante un método de agitación oscilante. *VI Congreso Español de Ingeniería de Alimentos* (Logroño). Centro de Innovación y Tecnología Alimentaria de La Rioja (CITA-La Rioja). ISBN 978-84-7359-654-1.

Berry, M.R. y Kohnhorst, A.L. (1985). Heating characteristics of homogeneous milk-based formulas in cans processed in an agitating retort. *Journal Food Science*, 50: 209-214 y 253.

Corradini, M.G, Normand, M.D, Peleg, M. Calculating the efficacy of heat sterilization processes (2005). *Journal of Food Engineering*, 67 (1-2): 59-69. 4th Ibero American Congress of Food Engineering. Valparaíso, CHILE.

Ghani, A, G., Farid, M.M, Zarrouk, S.J. (2003). The effect of can rotation on sterilization of liquid food using computational fluid dynamics. *Journal of Food Engineering*, 57: 9-16.

Gillespy, T.J. (1946). The heat resistance of spores of thermophilic bacteria I. *Annual Report 1946*. Pp 40-49. Campden and Chorleywood Food Research Ass. Chipping Campden. Campden and Chorleywood Food Research Ass. Chipping Campden.

Klesner, C. (2003). Application of the F-value for calculating heat-induced modifications in heat-treated milk. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte*, 55 (1): 61-72.

Naveh, D y Kopelman, I.J. (1980). Effect of some processing parameters on the heat transfer coefficients in a rotating autoclave. *Journal of Food Process and Preservation*, 4: 67-77.

Sablani, S.S, Ramaswamy, H.S. (1999). End-over-end agitation processing of cans containing liquid particle mixtures. Influence of continuous versus oscillatory rotation. *Food Science and Technology International*. ISSN 1082-0132. 5: 385-389.