

MEJORA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO MODERADO EN JAMÓN CURADO MEDIANTE ULTRASONIDOS DE POTENCIA

PACS: 43.35.

Martinez-Escriba, G., Portilla, I., Navarro-Cabo, A., Bon, J., Benedito, J., Garcia-Perez, J.V.
Grupo de Análisis y Simulación de Procesos Agroalimentarios
Departamento de Tecnología de Alimentos
Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera s/n, Valencia E46022, España;
gemaresh@etsia.upv.es, ivporpe@etsiamn.upv.es, alnaca2@etsiamn.upv.es, jbon@tal.upv.es,
jibenedi@tal.upv.es, jogarpe4@tal.upv.es;

ABSTRACT

The aim of this work was to assess the kinetic improvement linked to the application of power ultrasound (PuS) in the mild thermal treatment of sliced dry-cured ham. For this purpose, dry-cured ham slices (thickness 2 cm) were water-heated at different temperatures (40, 45, 50 °C) using an ultrasonic bath (21 kHz). The evolution of temperature in different points of the slice was monitored. Thus, an increase of the thermal diffusivity of up to 55% was observed when PuS was applied. However, the improvement of transport phenomena by PuS application was reduced by the temperature increase.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la mejora cinética que conlleva la aplicación de ultrasonidos de potencia (UdP) en el tratamiento térmico moderado de jamón loncheado. Para alcanzar este objetivo, lonchas de jamón de 2 cm de espesor se calentaron en agua a diferente temperatura (40, 45, 50 °C) utilizando un baño ultrasónico (21 kHz). Se monitorizó la evolución de la temperatura en diferentes puntos de la loncha. Se observó un incremento de la difusividad térmica de hasta un 55% cuando se aplicaron UdP. Sin embargo, la mejora de los fenómenos de transporte por la aplicación de UdP disminuyó al aumentar la temperatura.

INTRODUCCION

La reducción del contenido de sal en jamón curado debido a los nuevos gustos del consumidor está provocando un incremento del número de jamones con texturas defectuosas. Uno de los principales defectos de textura es la pastosidad, caracterizado por una pérdida de elasticidad del músculo como consecuencia de una elevada actividad proteolítica. El defecto de pastosidad no solo disminuye la calidad organoléptica del jamón curado sino que también ocasiona una merma importante en el loncheado y provoca un alto grado de adhesividad entre las lochas.

La bibliografía previa ha puesto de manifiesto que un calentamiento moderado del jamón al final de su procesado puede conllevar una reducción relevante del defecto de pastosidad [1-2]. En vistas a una posible aplicación industrial, parece tener un mayor interés la realización de dichos tratamientos con producto loncheado que con jamones enteros en vistas a acelerar el proceso de calentamiento. Del mismo modo, la búsqueda de nuevas tecnologías para acelerar el tratamiento térmico es de elevado interés. Así, el presente trabajo pretende determinar la viabilidad de la aplicación de ultrasonidos de potencia (UdP) en medio líquido para acelerar el tratamiento térmico moderado de jamón curado loncheado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tratamiento térmico de jamón curado loncheado

En el presente estudio, se utilizaron lonchas de jamón curado adquiridas en un supermercado local, de 2 cm de espesor, y siempre tomadas de la parte central del jamón. Las piezas se envasaron al vacío con el objetivo de evitar el contacto con el agua durante el tratamiento y se mantuvieron en refrigeración hasta la realización de los tratamientos. Se estudió el comportamiento del músculo *Semimembranosus* (SM).

En el músculo SM, se colocaron dos termopares tipo T de clase 1 (alta precisión) de un diámetro de 0,5 mm colocadas dentro de una aguja hipodérmica para facilitar su penetración en la muestra. Uno de los sensores se colocó en el centro ($x=0$) de la loncha y otro en el punto medio entre el centro y la superficie ($x=0,5$). Además, se colocaron termopares tipo K en la superficie de la loncha y en el agua. Durante las experiencias, se realizaron lecturas cada 20 segundos de los distintos termopares (34970A, Agilent, USA).

El tratamiento térmico se realizó en un baño de ultrasonidos de acero inoxidable de 15 L (ATG15160, ATU, España) (Figura 1) dotado de un sistema de control ON-OFF de temperatura basado en la recirculación del agua del baño y utilización de un equipo de refrigeración externo. En las experiencias donde se aplicaron UdP, se suministraron 600 W a los transductores ultrasónicos mientras que en las experiencias sin aplicación de UdP se introdujo un agitador (D91126, Heidolph Instruments, Alemania) de tipo hélice a 360 rpm con el objetivo de aumentar la turbulencia en el baño y así homogeneizar su temperatura.

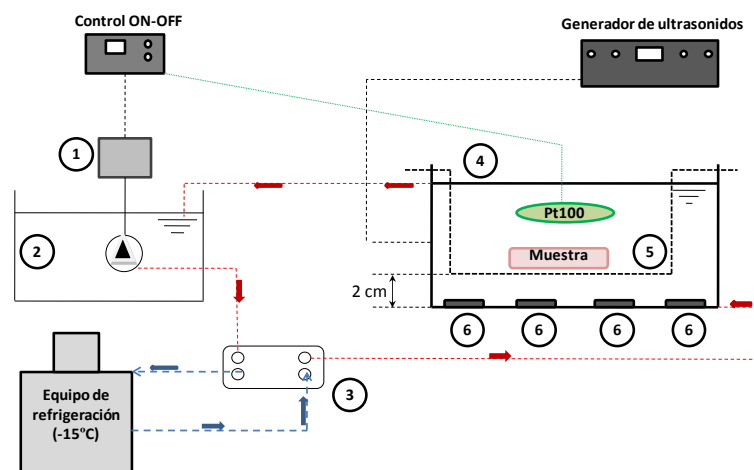


Figura 1. Montaje experimental utilizado para la realización del tratamiento térmico. 1: Bomba y agitador. 2: Depósito pulmón. 3: Intercambiador de calor. 4: Baño de ultrasonidos. 5: Cesta porta muestras. 6: Transductores ultrasónicos.

Se realizaron tratamientos térmicos de las lonchas de jamón a diferentes temperaturas del agua del baño (40°C, 45°C y 50°C) con (US) y sin (SUS) aplicación de ultrasonidos de potencia. Las experiencias finalizaron cuando la diferencia de temperaturas entre el punto más

frío de la loncha ($x=0$) y el agua del baño era igual o inferior a 5°C. En todos los casos, se realizaron 3 réplicas para cada condición experimental ensayada.

Modelización del proceso de calentamiento

Con el objetivo de poder predecir la temperatura en los diferentes puntos de la loncha de jamón a lo largo del tiempo de calentamiento, se aplicó un modelo que consideró que la transferencia de calor fue únicamente controlada por la conducción, basado en la Ley de Fourier [3]. Se supuso que el material era isótropo y homogéneo, la difusividad térmica constante, y se consideró la loncha de jamón como una lámina infinita (espesor $2L = 2$ cm) a efectos de transferencia de calor, debido a que el área de las caras planas es muy superior al área de la superficie perimetral.

$$\frac{T(x,t) - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = 2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{\beta_n L} e^{-\alpha \beta_n^2 t} \cos(\beta_n x) \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde: x es la posición (m), t el tiempo (s), T es la temperatura (°C) y α la difusividad térmica (m^2/s), ∞ hace referencia a la temperatura del baño, T_0 la temperatura inicial de la muestra, L es el semi espesor de la muestra y β_n es un valor característico [3].

El modelo de transferencia de calor se ajustó a las cinéticas de calentamiento planteando un problema de optimización a partir del cual se identificó la difusividad térmica que minimizó la suma de los errores cuadráticos entre la temperatura experimental y la calculada. La bondad del ajuste se evaluó determinando los errores medios relativos y comparando los valores experimentales y calculados.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 2 se muestra las cinéticas de calentamiento en el centro de las lonchas de jamón ($x=0$) a diferentes temperaturas con (US) y sin (SUS) la aplicación de ultrasonidos de potencia. Para todas las temperaturas se observa un incremento de la velocidad de calentamiento en las experiencias US. Así, a 40°C, el tiempo de calentamiento para las experiencias SUS fue de 16 ± 2 min, mientras que en las experiencias US se redujo a 10 ± 1 min, lo que representa una reducción del 31%.

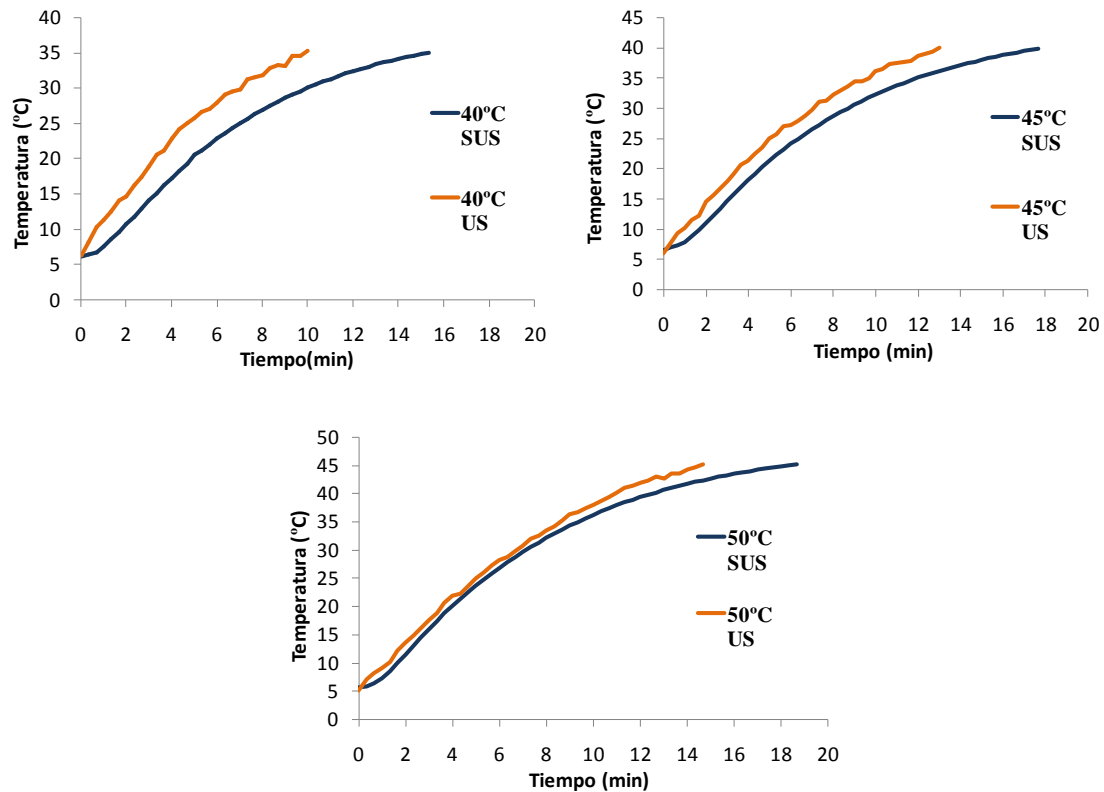


Figura 2. Cinéticas de calentamiento en el centro de la loncha ($x=0$) de jamón curado ($L=1$ cm) a diferentes temperaturas del baño (40,45 y 50 °C), con (US) y sin (SUS) aplicación de ultrasonidos de potencia.

Las diferencias observadas debido a la aplicación de ultrasonidos de potencia no incluyen el calentamiento asociado a la cavitación en el agua ya que el sistema de control de temperatura permitió un adecuado control de la temperatura del baño (Figura 3) durante las experiencias. Así, la mejora de la velocidad de calentamiento debe asociarse a los efectos de los UdP en la resistencia externa e interna a la transferencia de calor y no a un incremento del gradiente de temperaturas. En caso de no realizarse un adecuado control de la temperatura, las diferencias entre las experiencias SUS y US serían mayores.

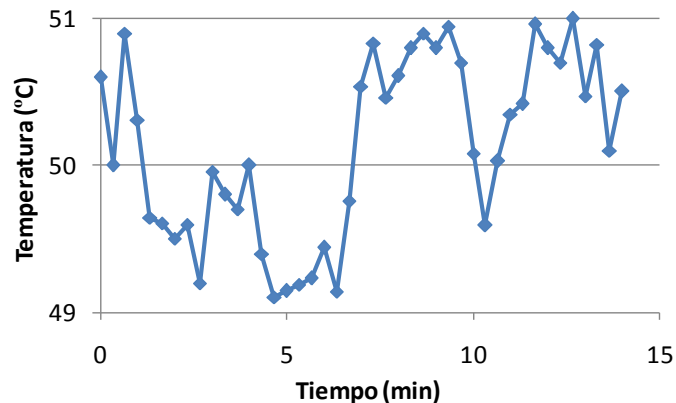


Figura 3. Evolución de la temperatura en el baño durante una experiencia con aplicación de ultrasonidos a 50°C.

En las cinéticas de calentamiento US se observan inestabilidades en los valores de temperatura que podrían ser consecuencia de los efectos mecánicos (compresiones y descompresiones) que los UdP provocan en el interior del producto e incluso a la aparición de fenómenos de cavitación en la fracción de agua libre del producto [4].

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la modelización de las cinéticas de calentamiento en las experiencias SUS y US. El modelo utilizado proporcionó un ajuste satisfactorio de las cinéticas de calentamiento con coeficientes de regresión entre 0.98 y 0.99 y errores medios relativos inferiores al 5%. Esto indica que las hipótesis consideradas en la formulación del modelo son adecuadas por lo que el calentamiento puede considerarse controlado por la conducción tanto en las experiencias SUS como US.

Tabla 1. Resultados de la modelización de las cinéticas de calentamiento en el centro de la loncha ($x=0$) para las experiencias con (US) y sin (SUS) aplicación de ultrasonidos (UdP). Difusividad térmica (α) y parámetros estadísticos: coeficiente de correlación (R^2) y error medio relativo (EMR).

T (°C)	α (10^{-7} m ² /s)	SUS R^2	EMR (%)	α (10^{-7} m ² /s)	US R^2	EMR (%)	$\Delta\alpha$ (%)
40	0.98	0.99	4.08	1.35	0.99	3.98	38
45	1.23	0.99	2.28	1.41	0.98	2.09	15
50	1.01	0.98	5.21	1.10	0.99	4.67	14

$\Delta\alpha$ hace referencia al incremento de la difusividad térmica por la aplicación de ultrasonidos de potencia.

La aplicación de UdP conllevó un incremento significativo de la difusividad térmica para todas las temperaturas. El mayor incremento se observó para las experiencias a 40°C (38%) y se observó un descenso del mismo a medida que se incrementó la temperatura (Tabla 1). Este hecho indica que los UdP son más eficientes en procesos de baja que de alta temperatura, lo cual se ha observado en otras aplicaciones en procesos agroalimentarios [5].

CONCLUSIONES

La aplicación de ultrasonidos de potencia puede considerarse una tecnología con alto potencial para ser aplicada en la mejora del calentamiento a temperaturas moderadas de jamón curado con el fin de reducir el tiempo de procesado. En trabajos posteriores debe abordarse si la aplicación de ultrasonidos de potencia también provoca modificaciones adicionales en la estructura del producto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al INIA, MINECO y al programa FEDER la financiación a través del proyecto: RTA2013-00030-C03-02.

REFERENCIAS

1. Gou, P., Morales, R., Serra, X., Guàrdia, M. D., Arnau, J. (2008). Effect of a 10-day ageing at 30 C on the texture of dry-cured hams processed at temperatures up to 18 C in relation to raw meat pH and salting time. *Meat Science*, 80, 1333-1339.
2. Morales, R., Arnau, J., Serra, X., Guerrero, L., Gou, P. (2008). Texture changes in dry-cured ham pieces by mild thermal treatments at the end of the drying process. *Meat Science*, 80, 231-238.
3. Mulet, T., Bon, J. (2001). Transferencia de calor por conducción en ingeniería de alimentos. Servicio de publicaciones de la Universitat Politècnica de València. SPUV-369. Valencia.
4. Gallego-Juárez, J. A, Graff, .F.K. (2015). Power ultrasonics. Applications of High-intensity ultrasound. Ed: Woodhead Publishing.
5. García-Pérez, J.V. (2007). Contribución al estudio de la aplicación de ultrasonidos de potencia en el secado convectivo de alimentos. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.