**Estudio computacional del proceso de calentamiento continuo de leche por microondas con validación experimental**

Mercatante MM (1), Arballo JR (2) (3), Lespinard AR (1)

(1) Instituto Multidisciplinario de Investigación y Transferencia Agroalimentaria y Biotecnológica (IMITAB), CONICET - Instituto de Ciencias Básicas y Aplicadas, Universidad Nacional de Villa María, Av. Arturo Jauretche 1555, (5900), Villa María, Córdoba, Argentina.

(2) Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de los Alimentos (CIDCA) (CONICET CCT La Plata, CICBA, UNLP), Calle 47 y 116, La Plata, Argentina.

(3) Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería (UNLP), Calle 1 y 47, 9 La Plata (1900), Argentina.

milagro.mercatante@gmail.com

RESUMEN

La leche es una fuente rica de nutrientes, y debido a su composición bioquímica, pH y actividad de agua debe pasteurizarse para eliminar microorganismos patógenos, antes de ser destinada a consumo humano. Este tratamiento térmico puede generar pérdidas en componentes nutricionales, funcionales y sensoriales de la leche, especialmente en aquellos procesos donde el calentamiento no es uniforme y el producto está expuesto a altas temperaturas, como sucede en los procesos convencionales de pasteurización continua de la leche. En este sentido, el calentamiento por microondas constituye una alternativa tecnológica que permite maximizar la conservación de componentes de calidad de la leche, a la vez que reduce el recuento microbiano de manera eficiente. Para diseñar el proceso de pasteurización por microondas se requiere un método que permita conocer la distribución del campo electromagnético dentro del microondas y la distribución de la temperatura en el alimento. En este sentido, el modelado numérico constituye una herramienta eficaz que permite predecir la evolución térmica del producto y la distribución del campo electromagnético durante el calentamiento. El objetivo del presente trabajo consistió en desarrollar un modelo matemático que permita simular la distribución del campo electromagnético en la cavidad del horno, la transferencia de calor y la fluidodinámica que se desarrollan durante el calentamiento continuo de leche por microondas, como así también validar experimentalmente dicho modelo. El sistema a modelar consistió en un microondas (ATMA MC930XE), que contiene en su interior un serpentín helicoidal de vidrio (borosilicato 3.3), de 9 mm de diámetro interno y 2,77 m de longitud. Para la construcción del modelo se emplearon propiedades termofísicas de la leche medidas experimentalmente y estimadas usando correlaciones a partir de su análisis composicional. El modelo multifísico fue resuelto por el método numérico de elementos finitos utilizando el software COMSOL Multiphisics (versión 5.3). Para validar el modelo matemático del calentamiento continuo de la leche por microondas se llevaron a cabo ensayos experimentales en el equipo detallado anteriormente. Dicha validación se realizó para tres temperaturas de ingreso de la leche: 8 °C y 20 °C y 33 °C. Como resultado, se obtuvo la distribución del campo electromagnético dentro de la cavidad del horno de microondas y dentro de la muestra líquida, observándose que el mismo es no uniforme, con zonas de alta y baja energía. Además, se obtuvieron los perfiles de temperatura que se desarrollan en la leche para diferentes temperaturas de ingreso de la leche (entre 6,5 y 33,5 °C) y velocidad de flujo (entre 176 y 279 cm3/min), necesarias para alcanzar una temperatura de salida de 72 °C. El modelo de transferencia de calor se validó exitosamente obteniéndose temperaturas de salida de entre 68 y 70 °C. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, el modelo matemático podría resultar de interés para diseñar y optimizar el tratamiento térmico de la leche por microondas, minimizando las pérdidas de componentes nutricionales y sensoriales, lo que consecuentemente permitirá desarrollar la aplicación de esta tecnología a escala industrial.

Palabras clave: leche, microondas, simulación.