



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



Monitoreo de la etapa de coagulación de la leche en la fabricación de queso por técnicas no destructivas utilizando ultrasonido

Leandro Andrés Cabrera Fontes

Programa de Posgrado en Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República

Montevideo – Uruguay

Diciembre de 2018

RESUMEN

El proceso de fabricación de queso es complejo, e implica una serie de cambios en las propiedades físicas y químicas de la leche. En general, este proceso se compone de cuatro etapas fundamentales: coagulación, desuerado, salado y maduración.

El proceso de coagulación de la leche es una de las etapas más significativas en la producción de queso. En esta etapa se produce la transformación de la leche líquida en un gel viscoelástico, por acción de enzimas específicas llamadas quimosinas. El punto de corte del gel, que marca el final de la etapa de coagulación, es de gran importancia para el proceso de fabricación de queso, incidiendo sobre el rendimiento del proceso, en la composición y en la calidad del producto final. Es por esto que la industria quesera requiere de tecnologías de monitoreo en línea para realizar el correcto seguimiento de la etapa de coagulación, con el objetivo de estandarizar y optimizar el proceso de fabricación y de lograr un producto final con características que se repitan en cada lote de producción.

Diferentes investigadores han reportado el potencial de usar técnicas de medida por ultrasonido de baja intensidad en la determinación del punto de corte del gel, dado que con ellas se pueden lograr medidas rápidas, de bajo costo y no destructivas, aspectos que resultan atractivos para la industria. Si se busca aplicar dichas técnicas en el monitoreo del proceso de fabricación de quesos, es preciso determinar cuán sensibles serán a cambios en la materia prima y/o en el proceso, para lo cual es necesario evaluar la sensibilidad de la técnica de ultrasonido a los cambios que generan los principales factores que afectan a la coagulación de la leche, entre los que se encuentran: concentración de enzima coagulante, temperatura y pH.

En este trabajo, se plantea como objetivo general el estudio de la variación en la atenuación ultrasonora de ondas de compresión como técnica para realizar el seguimiento de la etapa de coagulación de la leche en el proceso de fabricación de queso, evaluando la capacidad de esta técnica para ser utilizada en el monitoreo en línea de dicho proceso. En paralelo, se realizó el monitoreo mediante reología de deformación de baja amplitud, como técnica de referencia.

La principal dificultad encontrada para la aplicación de las medidas de ate-

nuación ultrasonora en el proceso de coagulación de la leche radica en que, ante la presencia de burbujas de gas en la leche, se genera una interferencia en las medidas de atenuación ultrasonora, siendo esta interferencia de mucho mayor magnitud que el cambio que genera la variación de las propiedades fisicoquímicas de la leche sobre las medidas de atenuación ultrasonora.

Al eliminar la interferencia que generan las burbujas de gas disueltas en la leche, se encontró que las medidas de atenuación ultrasonora son sensibles a los cambios fisicoquímicos que se generan en la leche a medida que tiene lugar la coagulación enzimática. Estos cambios dan lugar a dos zonas: en primera instancia una zona en que la atenuación ultrasonora de las ondas de compresión no varía significativamente y posteriormente, una zona de marcado decaimiento exponencial en la atenuación ultrasonora, siendo t_u el tiempo en donde ocurre el cambio de zonas.

Los resultados del presente trabajo indican que existe una buena correlación lineal entre t_u y el tiempo de gelificación reológico, t_g . De esta forma es posible relacionar ambos parámetros mediante un modelo lineal, en donde se consideran las distintas condiciones de coagulación ensayadas (pH, concentración de enzima y temperatura). Por otra parte, los resultados indican que también existe una buena correlación lineal entre t_u y el tiempo de corte reológico, definido como el tiempo correspondiente al máximo en la curva dG'/dt ($t_{\text{cut}_{\text{max}}}$). En el rango de condiciones de coagulación ensayadas, es posible relacionar t_u con $t_{\text{cut}_{\text{max}}}$ a partir de un modelo lineal.

Por lo tanto, una vez superada la interferencia de las burbujas de gas disueltas en la leche, la técnica de medida de variación en la atenuación ultrasonora de las ondas de compresión mostró potencial para ser aplicada en el proceso de coagulación de la leche en la fabricación de queso, sobre todo porque con esta técnica se puede determinar de forma objetiva el tiempo de corte del gel, variando la temperatura, la concentración de enzima y el pH en dicho proceso. A su vez, esta técnica es de fácil implementación, de relativo bajo costo, y no altera al medio, por lo que podría aplicarse en la tina de coagulación como sensor en línea para el monitoreo del proceso.

Palabras clave: ultrasonido, coagulación enzimática, atenuación, leche, monitoreo en línea.