

## ESTUDIO DE LA TRANSFORMADA WAVELET DE SEÑALES ULTRASÓNICAS DURANTE EL PROCESO DE FERMENTACIÓN LÁCTICA

REYES ESTÉVEZ L. R.,\* CASTELLANOS LEÓN F., LAGUNEZ RIVERAL., PECH PÉREZA.

*Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca - Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-IPN Oaxaca). Calle Hornos 1003. Santa Cruz Xoxocotlán. C.P. 71230. Oaxaca, México. \*E-mail: luisricardo17@hotmail.com.*

### Resumen

Numerosas técnicas de control en el procesado de alimentos lácteos han sido estudiadas [1, 2, 3]. Ello tiene relevancia en la aplicación de sistemas de certificación de higiene tales como HACCP. Las mediciones ultrasónicas tienen una clara ventaja al medir sin contacto físico dichos alimentos y por lo tanto, reducir el riesgo de contaminación. En la producción de yogurt cambios bioquímicos modifican la densidad de la leche, afectando la velocidad de propagación de la onda ultrasónica [4, 5]. Se estudió una fermentación láctica mediante mediciones ultrasónicas, así como los cambios en la señal durante la formación de yogurt. Las señales obtenidas durante el seguimiento de la fermentación se analizaron mediante la TWC, identificando regiones características definidas en tiempo y frecuencia. Dichos valores se presentaron en frecuencias alrededor de 3 a 7 KHz y de 30 a 40 KHz en los tiempos de 0 a 0.006 seg asociados a la duración de la señal. El análisis de las señales mediante la TWC muestra cambios que son consistentes con la cinética de fermentación.

**Palabras clave:** Yogurt, Ultrasonido, Wavelet, Fermentación, Control de alimentos.

### 1. Introducción

Para asegurar inocuidad en el procesado de alimentos se debe evitar los contactos del exterior, por otra parte los productos alimenticios deben ser monitoreados y evaluados para mantener sus condiciones y calidad. Un sistema automatizado para alimentos garantiza la ausencia de impurezas debidas al contacto humano. El uso de métodos de medición por contacto presentan riesgos de contaminación al insertar los instrumentos de medición en los alimentos. Como es importante reducir dicho riesgo, se prefieren los métodos sin contacto. El monitoreo ultrasónico tiene la ventaja de ser una técnica de medición que evita el contacto directo con el alimento. Este hecho es una ventaja para el sistema HACCP [3]. Los tipos de ultrasonidos empleados en la industria de alimentos son ultrasonidos de potencia ( $> 10 \text{ W / cm}^2$ ) y ultrasonido de señal ( $< 1 \text{ W / cm}^2$ ), siendo el ultrasonido de potencia letal para los microorganismos [5]. El uso de ultrasonidos de señal para el seguimiento de cinéticas de formación de yogurt ha sido estudiada anteriormente [6, 7, 8] obteniéndose resultados satisfactorios. La formación de yogurt se realiza con mezclas de BAL que modifican el medio de crecimiento. Cada tipo de BAL modifica el medio de manera diferente al producir compuestos tales como: ácido láctico, acetaldehído, exopolisacáridos entre otros [9]. Parámetros como velocidad, frecuencia y amplitud de ondas ultrasónicas son afectados por los cambios en el medio de propagación. En años recientes se ha propuesto el estudio de señales mediante el análisis multiescala, una de las técnicas es mediante la TWC que descompone una señal en valores asociados a tiempo y frecuencia [10].

En contraste al análisis en el cambio de fase de una señal senoidal propuesto por Resa *et al.* [7], y del análisis del cambio de velocidad de una onda ultrasónica propuesto por Ostlie *et al.* [8]. El objetivo de este trabajo es analizar las señales ultrasónicas mediante la TWC y sus cocientes durante el proceso de formación de yogurt.

### 2. Procedimiento Experimental

Un recipiente con 50 ml de leche entera pasteurizada de vaca fue inoculado al 1% con yogurt natural comercial y se mantuvo incubado a 40°C durante 6 horas. En el intervalo de 120 a 135 minutos de la fermentación se realizaron mediciones ultrasónicas, considerando que la cinética se encuentra en la fase exponencial [9]. Se utilizó el equipo emisor-receptor marca Olympus modelo 5058PR acoplado con un osciloscopio para obtener las señales (de emisión y de salida), los transductores fueron colocados lateralmente (Figura 1). Las señales de emisión generadas por el equipo fueron pulsos ultrasónicos de baja potencia (de señal). Las señales de salida se analizaron posteriormente mediante la TWC.

<sup>1</sup> HACCP: Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control, por sus siglas en inglés

<sup>2</sup> TWC: Transformada Wavelet Continua

<sup>3</sup> Bal: Bacterias Ácido Lácticas



Figura 1. Posición de los sensores en el frasco

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron 6 señales de salida a intervalos de 3 minutos (Figura 2). Cada señal tiene un tiempo de duración de 0.02 segundos y las señales fueron tomadas cada 3 minutos. A cada señal se le asignó un identificador estructurado de la siguiente manera: *Frasco\_tiempo de fermentación\_tiempo de exposición*.

En los primeros instantes de la duración de la señal (0 - 0.001 seg), el conjunto tiene un coeficiente de correlación de 0.9998; posteriormente (0.001 - 0.004 seg) el coeficiente de correlación disminuye a 0.987 y se observa un cambio decreciente en la amplitud en dirección del tiempo de la fermentación. Finalmente (0.004 - 0.02 seg) se observan cambios en los armónicos de la señal y un coeficiente de correlación de 0.8751 (Figura 3).

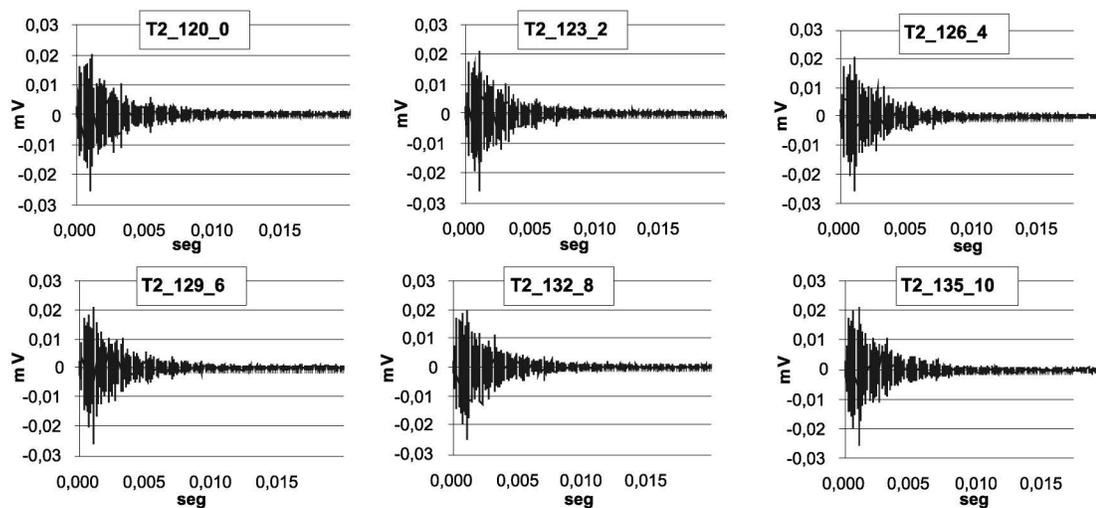


Figura 2. Señales obtenidas del frasco T2 en los minutos 120 a 135 de la fermentación.



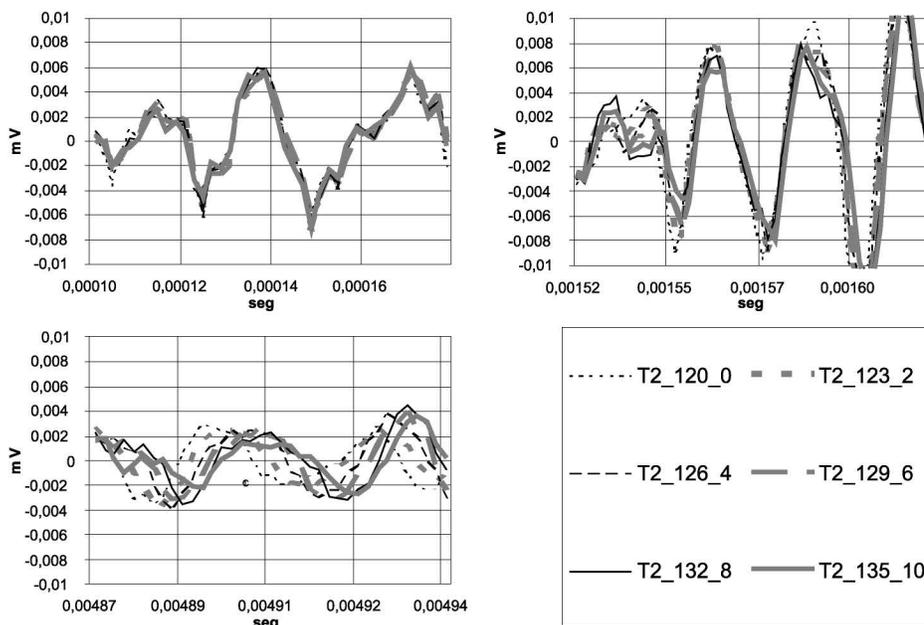


Figura 3. Acercamiento del conjunto de señales pertenecientes al frasco T2.

En el análisis mediante la TWC se utilizaron dos rangos de frecuencias para observar los valores característicos, de 0 a 10 KHz y de 0 a 100 KHz (Figura 4).

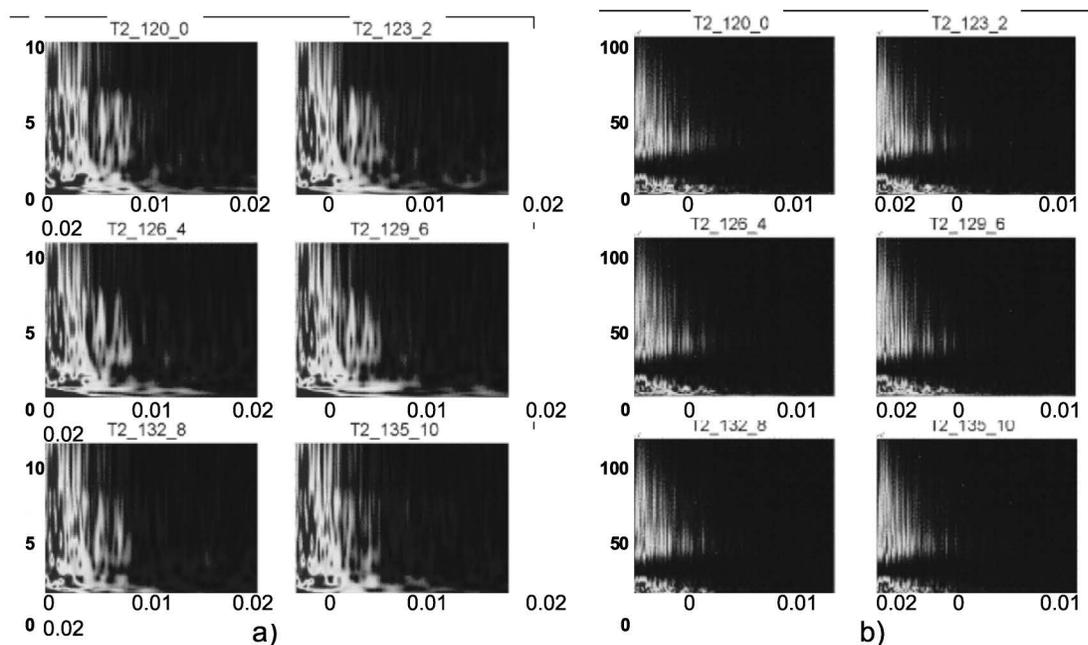


Figura 4. Transformada wavelet de las señales obtenidas, a) 0 a 10 KHz y b) 0 a 100 KHz.

Para resaltar los cambios, se utilizó el análisis mediante cocientes (una deconvolución en tiempo-frecuencia [10]) de las transformadas de las señales (Figura 5). La deconvolución se realizó con respecto a la transformada de la última señal obtenida.

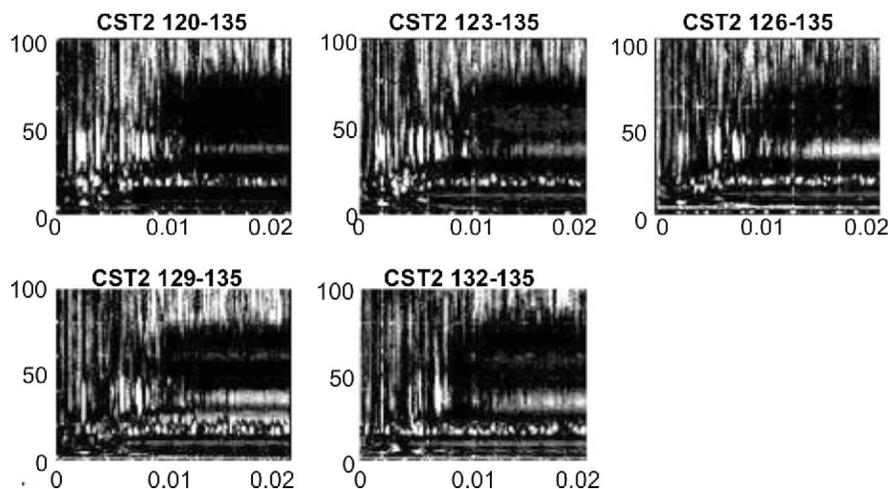


Figura 5. Cocientes espectrales de las señales.

#### 4. Conclusiones

Existen variaciones en amplitud y frecuencia en los armónicos de la señal ultrasónica a través del tiempo de fermentación. Altos valores en los coeficientes de la TWC de las señales muestran información relacionada a las características mecánicas del material, esta información se encuentra predominantemente en frecuencias de 3 a 7 KHz y de 30 a 40 KHz en tiempos de 0 a 0.006 segundos relativos a la duración de la señal.

El uso de cocientes espectrales resalta los cambios entre las TWC de las señales, obteniéndose una frecuencia característica en 10 KHz y una atenuación en la frecuencia de 40 KHz, estos cambios se atribuyen a modificaciones del medio durante el desarrollo de BAL que afectan la propagación de la onda ultrasónica.

#### 5 Referencias

- [1] Karoui R. y De Baerdemaeker J. (2007): A review of the analytical methods coupled with chemometric tools for the determination of the quality and identity of dairy products. *Food Chemistry*. Vol 102. No 3. Pags 621-640.
- [2] Shao Y., He Y. y Feng S. (2007): Measurement of yogurt internal quality through using Vis/NIR spectroscopy. *Food Research International*. Vol 40. No 7. Pags 835-841.
- [3] Sandrou D. y Arvanitoyannis I. (2000): Implementation of hazard analysis critical control point (HACCP) to the Dairy Industry: Current status and perspectives, *Food Rev. Int.* Vol 16. Pags 77.
- [4] Masuzawa N., Kimura A. y Ohdaira E. (2003): Ultrasonic monitoring of the progress of lactic acid fermentation, *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol 42. Pags 2963.
- [5] Sinisterra J. (1992): Application of ultrasound to biotechnology: an overview. *Ultrasonics*. Vol 30. No 3. Pags 180-185.
- [6] McClements D. (1995): Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science and Technology*, Vol 6, Pags 293-299.
- [7] Ogasawara H., Mizutani K., Ohbuchi T. y Nakamura T. (2006): Acoustical experiment of yogurt fermentation process. *Ultrasonics*. Vol 44. No.1. Pags e727-e730.
- [8] Resa P., Bolumar T., Elvira L., Pérez G. y Montero de Espinosa F. (2007): Monitoring of lactic acid fermentation in culture broth using ultrasonic velocity. *Journal of Food Engineering*. Vol 78. No 3. Pags 1083-1091.
- [9] Ostlie H., Helland M. y Narvhus J. (2003): Growth and metabolism of selected strains of probiotic bacteria in milk. *International Journal of Food Microbiology*, Vol 87. No 1-2. Pags 17-27.
- [10] Castellanos F., Ordaz M. y Contreras-Cristán A. (2010): Approximated solution of a linear differential equation based on the continuous wavelet transform. *Current Development in Theory and Applications of Wavelets*. Vol 4. No 2. Pags 109-129.

