

# Aplicación de elastografía por retorno temporal a la evaluación de textura en quesos

Javier Brum<sup>(1)</sup>; Sofía Barrios<sup>(2\*)</sup>; Gastón Ares<sup>(2)</sup>; Patricia Lema<sup>(2)</sup>; Rafael Canetti<sup>(3)</sup>; Carlos Negreira<sup>(1)</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Acústica Ultrasonora - Instituto de Física - Facultad de Ciencias. UDELAR. Montevideo, Uruguay.

<sup>2</sup>Instituto de Ingeniería Química - Facultad de Ingeniería. UDELAR. Montevideo, Uruguay

<sup>3</sup>Instituto de Ingeniería Eléctrica - Facultad de Ingeniería. UDELAR. Montevideo, Uruguay

\*sbarrios@fing.edu.uy

**Ganador del premio Innova 2009 al mejor trabajo**

El objetivo de este trabajo fue estudiar la aplicación de la técnica acústica Elastografía por Retorno Temporal (TRE) a la evaluación de la textura de distintos tipos de queso. Se evaluaron ocho muestras comerciales de diferente textura mediante TRE y Análisis de Perfil de Textura (TPA). Se encontró una buena correlación entre ambas medidas, lo que indica que la TRE podría ser un método adecuado para evaluar cambios en la textura de los quesos de forma no destructiva.

## Introducción

La aplicación de técnicas de monitoreo y control de calidad que permitan la evaluación de propiedades de alimentos de manera rápida y no destructiva es de gran interés para la industria alimentaria. En los últimos años se ha verificado el gran potencial que poseen las técnicas ultrasónicas para la evaluación de propiedades viscoelásticas de distintos tipos de alimentos (Benedito *et al.*, 2002). Las mismas constituyen una alternativa de bajo costo y fácilmente automatizable. En particular, la aplicación de ultrasonido a productos lácteos permite, entre otras cosas, la evaluación de la textura de diferentes tipos de queso.

La técnica de Elastografía por Retorno Temporal (TRE) se ha desarrollado en los últimos tres años en el Laboratorio de Acústica Ultrasonora del Instituto de Física, Facultad de Ciencias (Brum *et al.*, 2008; Catheline *et al.*, 2008; Benech *et al.*, 2009). La misma consiste en la generación de una señal acústica mediante una excitación externa. Una vez adquirida esta señal, se reconstruye numéricamente el proceso de focalización espacio-temporal. El ancho a -6dB del pico de focalización espacial de la señal permite evaluar la longitud de onda del pulso y por lo tanto relacionarlo con la elasticidad del medio en el cual se está propagando.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la aplicación de la técnica acústica de baja frecuencia Elastografía por Retorno Temporal (TRE) a la evaluación de la textura de distintos tipos de queso.

## Materiales y métodos

**Muestras:** se evaluaron ocho muestras comerciales de queso de distintas características de textura: cuatro muestras de Cuartirolo, dos de Colonia, un Danbo y un Magro. Las muestras se obtuvieron de empresas lácteas locales y se transportaron refrigeradas en empaques apropiados hasta el laboratorio donde se realizaron los ensayos.

**Elastografía por Retorno Temporal:** el set up experimental para las medidas de TRE se muestra en la Figura 1.

**Golpe.** El dispositivo consta de un martillo con punta de goma montado sobre un eje giratorio de forma tal que al soltarlo, siempre del mismo lugar, éste golpee al queso de la misma forma. El golpe se realizó en un único punto.

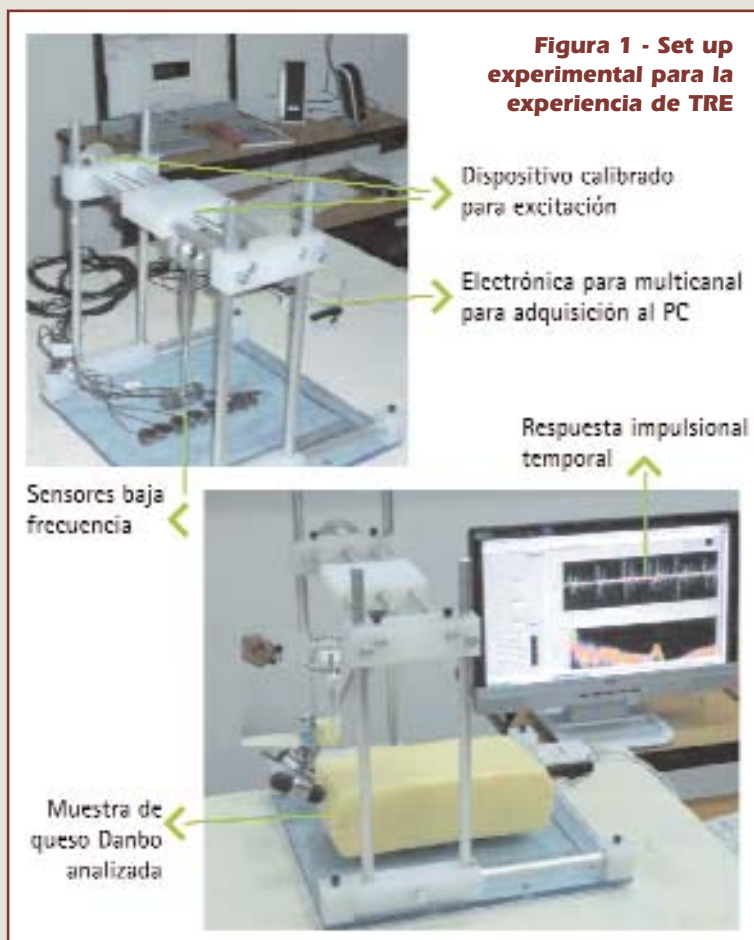
**Sensores.** Se adquirió la señal mediante ocho sensores ubicados en línea en la base del queso.

**Inversión temporal.** Utilizando la técnica conocida como filtro inverso (Tanter *et al.*, 2001), se realizó el tratamiento de las señales acústicas para la inversión temporal. A partir de este proceso se obtuvo la longitud de onda como el ancho del pico a -6dB de la focalización espacial (amplitud).

**Análisis de perfil de textura:** se realizó un Análisis de Perfil de Textura utilizando un Analizador de Textura TA.XT2i (Stable Micro Systems, Godalming, UK). Se realizó una doble compresión en cubos de 2 cm de arista, siendo las condiciones de ensayo las siguientes: velocidad de pre-ensayo: 1 mm/s; velocidad de ensayo: 0,5 mm/s; velocidad de post-ensayo: 1 mm/s; porcentaje de compresión: 50%. Utilizando datos adquiridos mediante el software Texture Expert Version 1.0 (Stable Micro Systems, Godalming, UK), se calcularon para cada muestra de queso dureza, rigidez, elasticidad y cohesividad.

## Análisis de datos:

**Análisis de varianza (ANOVA).** Se realizó un ANOVA con los anchos de focalización obtenidos por



TRE y los parámetros de textura medidos por TPA, considerando el tipo de queso como variable independiente. Los análisis se realizaron utilizando el software estadístico Genstat, calculando diferencias significativas por medio del test de Tukey a un nivel de significación del 5%.

**Regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS).** Se realizó un PLS considerando la amplitud como variable dependiente y los parámetros de textura instrumental como variables independientes. Los análisis se realizaron utilizando el software estadístico R. Este análisis busca explicar las variaciones en las medidas acústicas a través de las variaciones en las medidas de textura instrumental de los quesos.

### Resultados y discusión

**ANOVA.** El ANOVA mostró que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los distintos tipos de queso, tanto para el ancho de focalización como para los parámetros de textura instrumental. Esto implica que ambos métodos son capaces de reflejar las diferencias en los distintos tipos de queso.

**PLS.** Los dos primeros factores del PLS explicaron el 98,6% de la varianza de los datos de textura instrumental (variables independientes) y el 89,1% de la varianza de los datos acústicos (variable dependiente). En la Figura 2 se representan las variables en los dos primeros componentes del PLS. Los cuatro parámetros de textura instrumental estuvieron fuertemente correlacionados entre sí. Además, se

observa que el ancho de focalización se correlaciona con la dureza y la rigidez de las muestras. Esto sugiere que el ancho de focalización depende fuertemente de la textura de los quesos, aumentando al aumentar su dureza y rigidez.

Utilizando esta regresión, puede predecirse el ancho de focalización a partir de una combinación lineal de parámetros de textura instrumental. La ecuación que se obtiene, que explica el 89,1% de la variación de los datos, es la siguiente:

$$\text{Ancho (mm)} = 26,4 + 0,176 \cdot \text{Dureza} + 0,023 \cdot \text{Rigidez} + 16,67 \cdot \text{Elasticidad} - 19,98 \cdot \text{Cohesividad}$$

Como se observa en la Figura 3, la dureza y rigidez presentaron coeficientes significativamente positivos, lo que indica que influyeron en los valores de ancho de focalización obtenidos. Es decir, este parámetro acústico dependió principalmente de estos dos parámetros de textura de los quesos. La elasticidad y cohesividad no presentaron coeficientes significativos, lo que sugiere que no afectaron fuertemente las medidas acústicas.

Como se observa en la Figura 4, los anchos predichos por el modelo fueron muy cercanos a los determinados experimentalmente, para todos los quesos evaluados.

**Si esta es su idea en control de plagas**

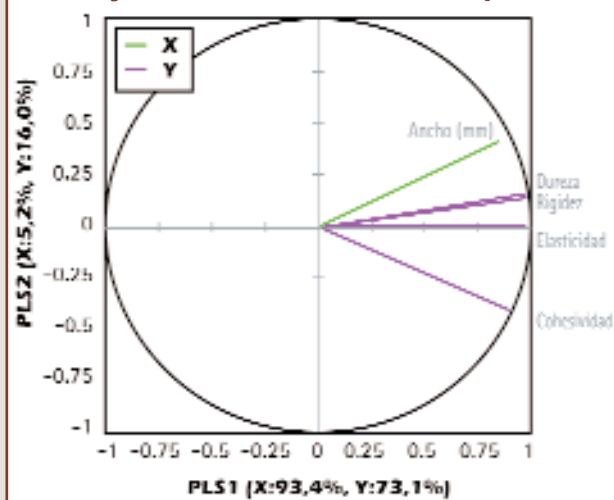
**SERVICIOS AMBIENTALES BUENOS AIRES SRL**

**FUMIGADORA SABA S.R.L.**

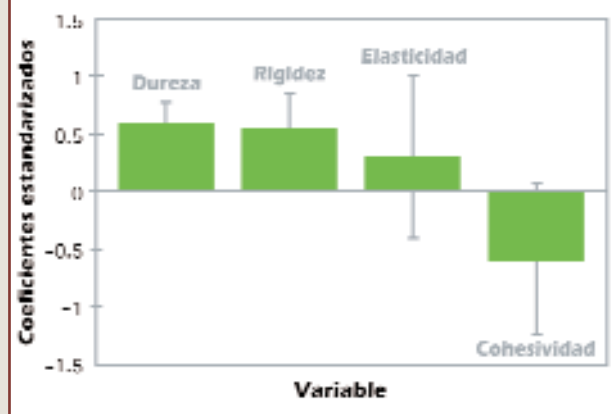
(011) 4627 1313

[www.fumigacionesaba.com.ar](http://www.fumigacionesaba.com.ar)

**Figura 2 - Coeficientes de correlación de los componentes del PLS de los datos de textura instrumental y acústicos de las muestras de queso**



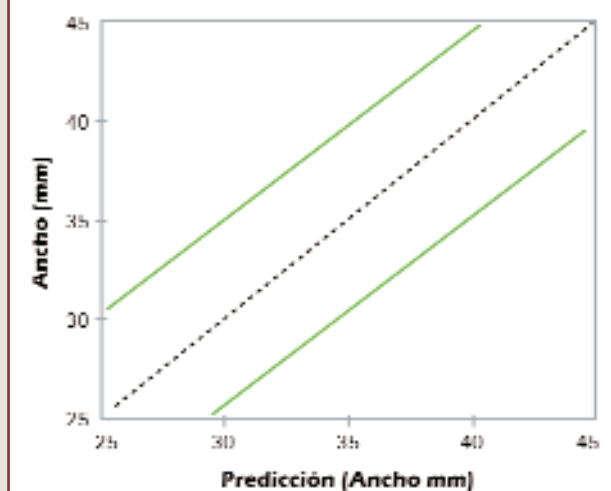
**Figura 3 - Coeficientes estandarizados en la regresión PLS de ancho de focalización en función de los valores de textura instrumental**



**Conclusiones**

El método TRE permitió detectar diferencias en la textura de los quesos, reflejando principalmente sus características de dureza y rigidez. Estos resultados indican que dicho método resultaría adecuado para evaluar, de forma no destructiva, cambios en la textura de los quesos a lo largo de su maduración.

**Figura 4 - Valores de ancho de focalización de las ocho muestras de queso evaluados en función de los valores predichos a partir de la regresión PLS de los valores de textura instrumental**



**Agradecimientos**

La realización de estos ensayos fue posible gracias al apoyo del Ministerio de Educación y Cultura, a través del proyecto del Programa de Desarrollo Tecnológico PDT 34/09.

**Referencias**

Benech, N.; Catheline, S.; Brum, J.; Gallot, T.; Negreira, C. 1-D Elasticity assesment in soft solids from shear wave correlation: the time reversal approach. En: IEEE transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2009, (59 11): 2400-2410.  
 Benedito, J.; Cárcel, J.A.; Gonzalez, R.; Mulet, A. Application of low intensity ultrasonics to cheese manufacturing processes. En: Ultrasonics 2002, (40): 19 - 23.  
 Brum, J.; Catheline, S.; Benech, N.; Negreira, C. Shear elasticity estimation from surface wave: the time reversal approach. En: Journal of the Acoustical Society of America, 2008, (124 6): 3377-3380.  
 Catheline, S.; Benech, N.; Brum, J.; Negreira, C. Time Reversal of Elastic Waves in Soft Solids. En: Physical Review Letters, 2008, (100).  
 Tanter, M.; Aubry, J.F.; Gerber, J.; Gerber, J.; Thomas, L.; Fink, M. Optimal focusing by spatio-temporal inverse filter I. Basic principles. En: J. Acoust. Soc. Am. 11 0, 2001, (1): 37

**COMPONENTES - CADENAS PARA CINTAS TRANSPORTADORAS**  
**PARTES DE MAQUINAS - REDUCTORES**

Cadenas de labillas en acero inoxidable y plásticas / Manijas de agarre y ajuste (tipo cruke) / Termitas de ajuste, bielas plásticas / Resortes y soportes para cintas transportadoras

Reductores, motorreductores y variadores de velocidad mecánicos  
 Motores eléctricos trifásicos IP 55 normalizados y especiales

Cajas portarodamientos sanitarias y cadenas plásticas para la ind. lechera

Aprobados por LFDA y USDA

Rodriguez Pena 3946 (calle 22) Villa Lynch - San Martín  
 Tel : (011) 4713-8527 - Fax: (011) 4713-8536  
 loc@ineclic.com.ar - www.loc.online.com.ar

**GAMM** **MOTOMARIO** **SYSTEM CHAINS**

testo

Compromiso con el futuro

**Mediciones confiables**

Instrumentos de medición para  
aplicación de las normas HACCP

**Ingeniería de medición**

Testo para todas  
las aplicaciones relacionadas  
con los alimentos

%TPM pH m/S °F  
%HR aw °C



Para que las mediciones  
y la documentación  
sean siempre efectivas y seguras

Para mayor información visite:  
[www.testo.com.ar/alimentacion](http://www.testo.com.ar/alimentacion)

Directorio 4901 (1440ASB) C.A.B.A. - Tel.: (54 11) 4683-5050 - Fax: (54 11) 4683-2020 - [info@testo.com.ar](mailto:info@testo.com.ar) - [www.testo.com.ar](http://www.testo.com.ar)

**VMC REFRIGERACION S.A.**

**VMC**

**Profesionalismo y Liderazgo**

Más de 200 unidades compresoras Howden  
para Nh3 instaladas en los últimos 4 años.

*55 años de presencia y prestigio  
en sistemas frigoríficos industriales.*



Certificate of authorization

*"The American Society of Mechanical Engineers"*



**Howden**

Representante y montador  
exclusivo para Latinoamérica.

Placa de interconexión de NH3

**ARAX**

**GEA** GEA Eooiflex  
Arax es marca registrada de Eooiflex S.A.

Av. Roque Saenz Peña 729 - S2300JCH - Rafaela - Santa Fe - Argentina Tel.: (54-03492) 432277/432287

Fax: 431951 - e-Mail: [ventas@vmc.com.ar](mailto:ventas@vmc.com.ar)

Web-site: [www.vmc.com.ar](http://www.vmc.com.ar)