

ENTREVISTA

ROGER FENWICK
QUÍMICO DE PROFESIÓN

AGROCSIC

ENDOLISINAS FÁGICAS:
¿NUEVOS BIOCONSERVANTES
PARA ALIMENTOS?

AGROCSIC

ANÁLISIS DE MASAS ALIMENTARIAS
MEDIANTE SENSORES ELECTRÓNICOS
DE ULTRASONIDO: APLICACIÓN AL
ESTUDIO DE MASAS DE CEREALES

ANÁLISIS DE MASAS ALIMENTICIAS MEDIANTE SENSORES ELECTRÓNICOS DE ULTRASONIDO: APLICACIÓN AL ESTUDIO DE MASAS DE CEREALES.

AUTORES: J. GARCÍA-ÁLVAREZ¹, M. GÓMEZ², C.M. ROSELL³, A. TURÓ¹, J.A. CHÁVEZ¹, M.J. GARCÍA-HERNÁNDEZ¹, J. SALAZAR¹

¹GRUP SISTEMES SENSORS, DEPARTAMENT D'ENGINYERIA ELECTRÒNICA, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, C/ JORDI GIRONA 1-3, MÒDUL C-4 CAMPUS NORD, 08034, BARCELONA. ²ÀREA DE TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS, E.T.S. INGENIERÍAS AGRARIAS, UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, 34004, PALENCIA. ³CEREAL GROUP, FOOD SCIENCE DEPARTMENT, INSTITUTE OF AGROCHEMISTRY AND FOOD TECHNOLOGY (IATA-CSIC), PO Box 73, BURJASOT-46100, VALENCIA. CORREO ELECTRÓNICO DE CONTACTO: JAVIER.GARCIA-ALVAREZ@UPC.EDU

LOS SISTEMAS DE ULTRASONIDO PRESENTAN UN GRAN POTENCIAL COMO TÉCNICA DE INSPECCIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ALIMENTOS. ÉSTOS SISTEMAS, BASADOS EN DISPOSITIVOS BÁSICAMENTE ELECTRÓNICOS, SON GENERALMENTE APTOS PARA LA REALIZACIÓN DE ANÁLISIS NO DESTRUCTIVOS. ASIMISMO, PUEDEN OFRECER INFORMACIÓN DE INTERÉS SOBRE LA MUESTRA BAJO ESTUDIO EN PRÁCTICAMENTE TIEMPO REAL, CON EQUIPOS DE RELATIVAMENTE BAJO COSTE Y SUSCEPTIBLES DE SER INCORPORADOS EN UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN LÍNEA. EN ESTE TRABAJO, EN PRIMER LUGAR, SE REALIZARÁ UNA BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS Y/O MÉTODOS DE MEDIDA CON ULTRASONIDOS MÁS COMÚNMENTE EMPLEADOS EN EL ANÁLISIS DE ALIMENTOS Y, POR EXTENSIÓN, EN LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN GENERAL. EN SEGUNDO LUGAR, SE PRESENTAN ALGUNOS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS AL APLICAR DICHAS TÉCNICAS AL ESTUDIO DE DIVERSAS MASAS DERIVADAS DE LOS CEREALES, COMO LAS MASAS DE PAN DE HARINA DE TRIGO Y DE HARINA DE ARROZ Y LAS MASAS BATIDAS.

Actualmente, existen diversas alternativas para el control de calidad de los alimentos. En algunas industrias alimentarias, el control de calidad se basa principalmente en la inspección sensorial por parte de un operario experto [1]. En otras, el control recae en métodos con mayor base científica como los basados fundamentalmente en experimentos físico/químicos, los cuales usualmente emplean equipos de alto coste que requieren el manejo e interpre-

tación de los resultados por parte de un técnico altamente cualificado. En ocasiones, estos métodos son difíciles de incorporar a una línea de producción (son *at-line* u *off-line*) por ser relativamente lentos, y en muchos casos la muestra bajo estudio puede no ser apta para su procesado posterior, por lo que se podrían considerar métodos destructivos.

Por ello, en la industria alimentaria existe un interés creciente por los métodos de análisis no destructivos [2, 3]. Estos métodos,



frente a los convencionales, presentan la ventaja de ser generalmente no invasivos, usualmente rápidos y susceptibles de ser integrados en un sistema automatizado. Por ello, son especialmente valorados en el control de la calidad de alimentos, ya sea durante su fase de procesado y/o su fase de inspección final.

De entre los alimentos susceptibles de ser estudiados mediante estas técnicas se pueden destacar, por su importancia, las masas derivadas de los cereales. Las masas panarias y las batidas, fases previas al pan y a los productos de bollería respectivamente, son ejemplos de derivados del trigo procesados a escala industrial. Además de las masas derivadas del trigo, existen otras masas alimenticias producidas a partir de harina de otros cereales, como el arroz o el maíz, cuya presencia y consumo es notablemente menor. Sin embargo, los productos obtenidos a partir de estas harinas son de gran importancia para un colectivo importante de la población (celíacos) que es intolerante al gluten. En el control de calidad de las masas de cereales, los sistemas de medida de ultrasonidos suponen un sistema de control alternativo. Los sistemas de medida de ultrasonidos son básicamente electrónicos y muy rápidos, por lo que son susceptibles de ser incluidos en sistemas en línea (*on-line*) de control de ca-

lidad del proceso y/o del producto. Además, el paso del ultrasonido de baja intensidad no daña ni modifica las propiedades de la muestra, lo que permite realizar análisis no destructivos. Los sistemas de ultrasonido acostumbran a estar adaptados para una aplicación concreta, por lo que se suelen obtener equipos de una relativa sencillez de manejo. De esta forma, operarios con escasa preparación pueden ayudarse de equipos de ultrasonido para el control de determinadas propiedades de una masa alimenticia.

El Grupo Sistemas Sensores del Departamento de Ingeniería Electrónica de la UPC ha participado y participa en diversos proyectos de ámbito estatal y europeo en el desarrollo de nuevos sensores y equipos de medida basados en tecnologías no destructivas, como son los ultrasonidos, los infrarrojos y la inductancia magnética. En particular, en el análisis de masas de harina de cereales por ultrasonidos, el grupo cuenta con casi una década de experiencia. Como logros de esta investigación destacan el registro de una patente que protege el diseño de unos transductores para la evaluación de propiedades reológicas en masa de pan, el desarrollo de diversos sistemas electrónicos de medida para masa de pan y ma-

EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA EXISTE UN INTERÉS CRECIENTE POR LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS NO DESTRUCTIVOS



sa batida y la publicación de varios artículos en revistas científicas internacionales [4-8].

El trabajo que se presenta a continuación es fruto de la colaboración del Grupo Sistemas Sensores con otros grupos de investigación del ámbito de la tecnología de los alimentos, como el Grupo de Tecnología de la Industria Alimentaria de la Universidad de Valladolid (UVA) y el Grupo de Cereales del Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (CSIC).

Conceptos básicos sobre ultrasonidos.

Descripción de la onda de ultrasonido. El ultrasonido es una onda acústica de frecuencia superior al límite perceptible por el oído humano, situado entre 16 y 20 kHz, que tiene la misma naturaleza que el sonido. Las ondas de ultrasonido se caracterizan por parámetros como la frecuencia o número de repeticiones de la onda por segundo (f), la amplitud o intensidad (A), y la longitud de onda (λ), que aparecen en la fig. 1. También son parámetros de interés la velocidad (v) y la atenuación (α) de la onda cuando se propaga por un determinado medio, ya que son características acústicas propias de cada material relacionadas con propiedades físicas fundamentales como la densidad o el módulo de elasticidad [9]. Asimismo, existen otros parámetros acústicos de utilidad en la caracterización de materiales como la impedancia acústica (Z), ya que este parámetro está relacionado con la composición y microestructura del material [10].

Las ondas de ultrasonido tienen distintos modos de propagación caracterizados por la dirección del desplazamiento de la onda y la dirección del movimiento de las partículas, siendo los más empleados en el análisis de alimentos los modos longitudinal y transversal, representados en la fig. 2. No obstante, en algunas aplicaciones puede ser de utilidad emplear ondas de ultrasonido que se propaguen de otro modo, como las ondas superficiales [9]. En el modo longitudinal, el desplazamiento de partículas se produce en la misma dirección que la propa-

gación de la onda, mientras que en el modo transversal el desplazamiento de partículas es perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

Aplicaciones de los ultrasonidos. Ultrasonidos aplicados al análisis de alimentos.

Las aplicaciones de los ultrasonidos se pueden dividir en dos grupos principales: las que emplean ultrasonidos de alta intensidad y las que utilizan ondas de ultrasonido de baja intensidad. En las aplicaciones de ultrasonidos de alta intensidad se utilizan niveles de energía generalmente altos, usualmente entre 10 W/cm² y 1000 W/cm², de forma que afecta a las propiedades del material. Como ejemplos de este tipo de aplicaciones cabe citar la limpieza, mecanizado o soldadura de materiales, la aceleración de reacciones químicas o el estímulo de procesos de emulsificación y de cavitación

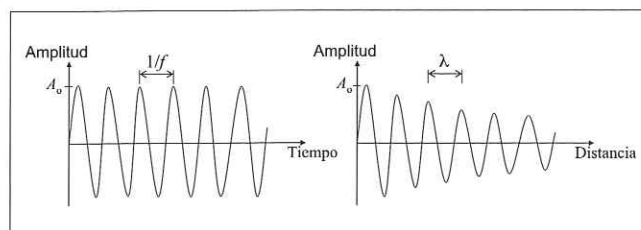


Figura 1. Onda de ultrasonido en el tiempo (izquierda) y en el espacio (derecha).

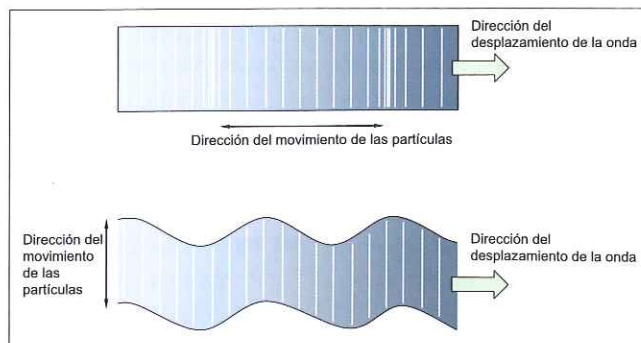


Figura 2. Modos de propagación de las ondas de ultrasonido. Longitudinal (arriba) y transversal (abajo).



[11]. En cambio, en las aplicaciones de ultrasonidos de baja intensidad se emplean niveles de energía relativamente bajos, usualmente inferiores a 1 W/cm^2 , con lo que no afecta de forma significativa las propiedades del material bajo análisis. Algunos ejemplos de estas aplicaciones son las imágenes de ultrasonido para prácticas médicas (ecografías e imágenes acústicas de órganos en general para diagnóstico), los métodos de control de calidad de materiales en entornos industriales (ensayos no destructivos en materiales o END) y los instrumentos de análisis en el ámbito científico (microscopía acústica). Algunas de estas aplicaciones aparecen en la fig. 3, según su intervalo típico de frecuencia de trabajo.

Asimismo, las aplicaciones de las técnicas de ultrasonido en el ámbito de la tecnología alimentaria también se pueden dividir en dos grupos principales según se empleen ultrasonidos de alta o

baja intensidad. Existen aplicaciones en las que se pretende modificar las propiedades de los alimentos bajo estudio mediante el uso de ultrasonidos de alta intensidad, provocando o favoreciendo procesos como la desgasificación de líquidos, descontaminación bacteriana o deshidratación del alimento [12]. En otras aplicaciones se pretende analizar el alimento sin modificar sus características empleando ultrasonidos de baja intensidad. Para realizar este análisis se estudian la velocidad y la atenuación como principales parámetros de un haz de ultrasonido, al atravesar el alimento a analizar. Los análisis de masas de cereales tratados en este trabajo pertenecen al grupo de las aplicaciones de ultrasonido de baja intensidad.

En la literatura científica se pueden encontrar diversos trabajos que tratan sobre el análisis de alimentos mediante técnicas de ultrasonido. En [9] se realiza una revisión de las técnicas de

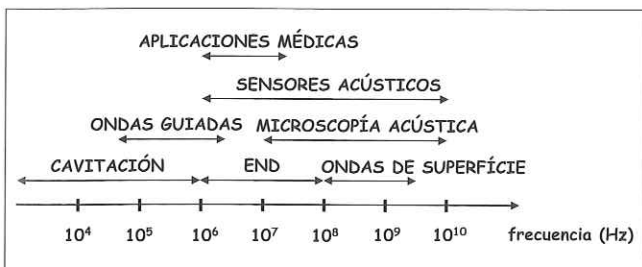


Figura 3. Aplicaciones de los ultrasonidos en función de su frecuencia.

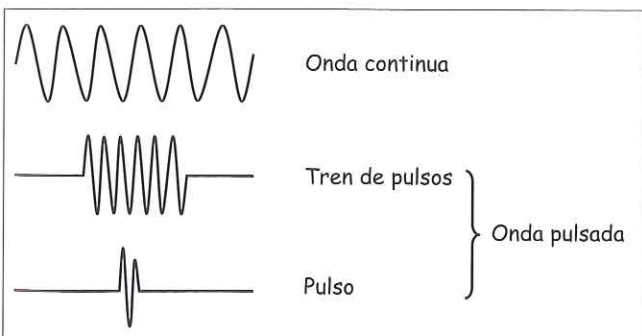


Figura 4. Ondas de ultrasonido. Onda continua (arriba) y onda pulsada (abajo).

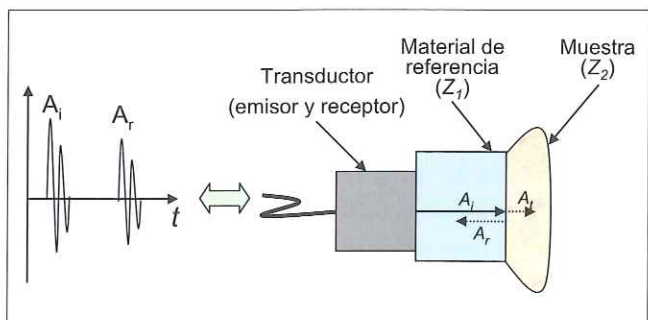


Figura 5. Técnica de reflexión.

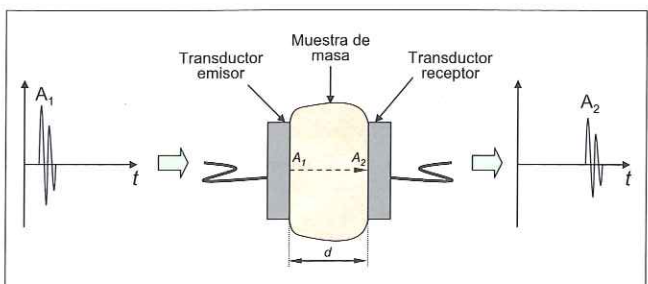


Figura 6. Técnica de transmisión.

DE ENTRE LOS ALIMENTOS ESTUDIADOS MEDIANTE ESTAS TÉCNICAS, DESTACA LOS CEREALES

ultrasonido aplicadas al estudio de alimentos, describiendo las técnicas y métodos de ultrasonido más empleados y las propiedades de los alimentos en las que el ultrasonido ha demostrado su utilidad como herramienta de análisis. Con posterioridad a este trabajo, otros autores exploraron las posibilidades de aplicación de las técnicas de ultrasonido de baja intensidad en el estudio de diversos procesos y productos alimenticios. Por ejemplo, en [13] se relaciona los cambios en la velocidad del ultrasonido con el grado de maduración del queso, en [14] se aplican los ultrasonidos en la determinación del diámetro medio de las gotas en un alimento emulsionado y en [15] se monitorizan los cambios producidos durante el curso de la fermentación alcohólica mediante la medida de la velocidad del ultrasonido. Más recientemente, en [16], se estudia el proceso de deshidratación de la cáscara de la naranja mediante medidas de atenuación y de velocidad del ultrasonido, y en [17] se abre un nuevo campo de investigación en el análisis de alimentos mediante ultrasonidos con el uso de transductores acoplados en aire.

Medición de parámetros de ultrasonido en alimentos.

Para medir las propiedades acústicas de los alimentos se pueden emplear diversos métodos de medida, usando diferentes tipos de señales y configuraciones.

Atendiendo al tipo de señal utilizada, éstas pueden ser pulsadas o continuas, como se muestra en la fig. 4. La aplicación de ondas pulsadas facilita la separación en el tiempo de las ondas de ultrasonido que intervienen en la medida, lo que permite el cálculo de parámetros de ultrasonido de una forma simple, rápida y fácilmente automatizable. Por todo ello, estas señales son ampliamente utilizadas en el análisis de alimentos en general [9]. Con la aplicación de ondas de ultrasonido de forma continua se consigue que el promedio de energía acústica de la señal en el tiempo de análisis sea mayor que el obtenido con una señal pulsada de igual frecuencia y amplitud (esta última no ofrece energía acústica en los intervalos temporales entre pulsos o trenes de pulsos) de for-

ma que se puede obtener señales de ultrasonido con suficiente energía como para conseguir su propagación en materiales altamente atenuantes. De esta forma, se puede llegar a realizar análisis precisos en materiales muy opacos a los ultrasonidos.

Asimismo, se pueden emplear diversas técnicas de medida de ultrasonido para el análisis de alimentos como la técnica de reflexión, la de transmisión y la de pulso-eco representadas en las figuras 5, 6 y 7 respectivamente. En la técnica de reflexión se puede emplear un único transductor, que actúa como emisor y receptor de las ondas de ultrasonido. Los transductores de ultrasonido son elementos basados generalmente en cristales piezoeléctricos que convierten la energía eléctrica aplicada en energía acústica y viceversa, o lo que es lo mismo, generan una onda de ultrasonido al recibir una señal eléctrica o generan una señal eléctrica al incidir en ellos una onda de ultrasonido. Por el contrario, en la técnica de transmisión se requiere un transductor generador de la onda de ultrasonido y uno receptor. En la de pulso eco, además de un transductor emisor-receptor en contacto con una cara de la muestra, se requiere un elemento reflector de las ondas de ultrasonido en el otro extremo de la muestra.

En la técnica de reflexión, representada en la fig. 5, se aplica una señal eléctrica al transductor de ultrasonido. El transductor convierte la señal eléctrica en una onda acústica de ultrasonido que se propaga por un material llamado de referencia, de características acústicas conocidas, que presenta una de sus caras

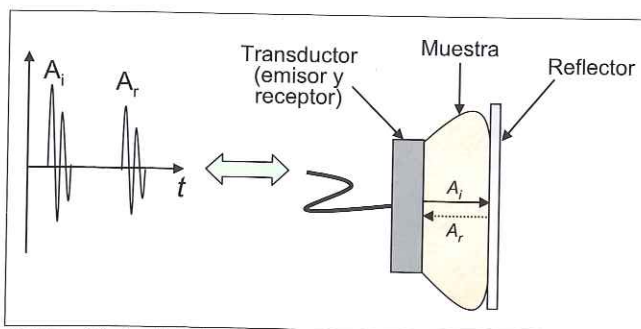


Figura 7. Técnica de pulso-eco.

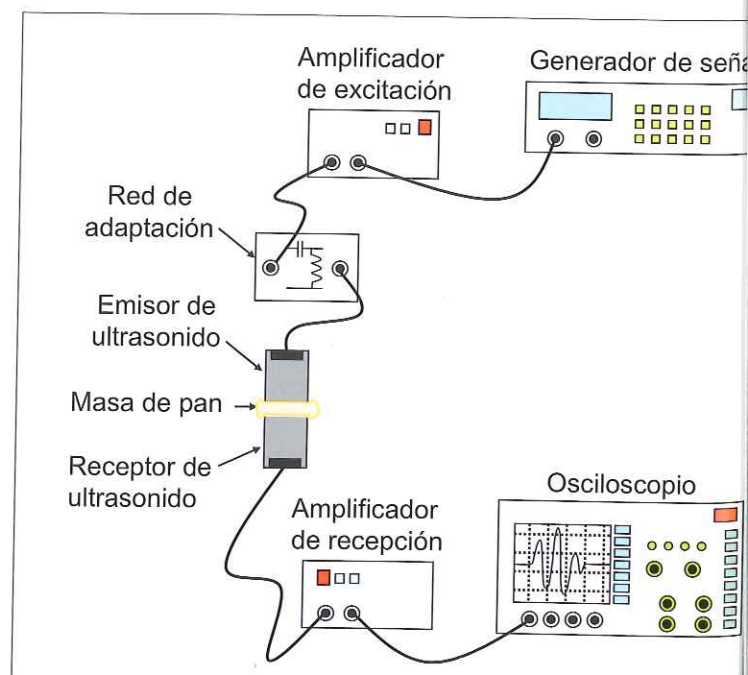


Figura 8. Sistema de medida de transmisión (izquierda) para el análisis de masas de pan, y sistema de reflexión (derecha).

EL GRUPO SISTEMAS SENSORES DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE LA UPC PARTICIPA EN DIVERSOS PROYECTOS ESTATALES Y EUROPEOS

en contacto con la muestra a analizar. Una parte de la onda de ultrasonido que incide en la interfase entre el material de referencia y la muestra se propaga por esta última y la parte restante se refleja en la interfase entre ambos materiales y retorna al transductor, donde se convierte en señal eléctrica. Midiendo la amplitud de la señal incidente A_i y la de la señal reflejada A_r , y empleando la ecuación $R = \frac{A_r}{A_i}$ se calcula el llamado coeficiente de reflexión R . Si se conoce la impedancia acústica del material de referencia (Z_1) y se calcula el coeficiente de reflexión R , mediante la ecuación $Z_2 = Z_1 \left(\frac{1+R}{1-R} \right)$ se obtiene la impedancia acústica de la muestra bajo estudio (Z_2), parámetro éste propio de cada material y de utilidad práctica para su caracterización. Como principal ventaja de esta técnica se podría destacar el no requerir el paso de la señal de ultrasonido a través de la muestra, lo cual es muy ventajoso en el análisis de alimentos muy atenuantes. Por contra, el cálculo de la atenuación y de la velocidad del ultrasonido en la muestra empleando esta técnica suele resultar más complicado [18].

En cambio, mediante la técnica de transmisión, representada en la fig. 6, se puede calcular de forma muy directa tanto la atenuación que sufre la señal de ultrasonido como su velocidad de propagación en la muestra bajo estudio. En esta técnica se aplica una señal eléctrica al transductor emisor, en contacto con la muestra, que convierte la señal eléctrica en una onda de ultrasonido. La onda de ultrasonido se propaga por la muestra y es finalmente recibida por un transductor re-

ceptor, situado en la cara opuesta de la muestra, que convierte la onda acústica en una señal eléctrica de nuevo.

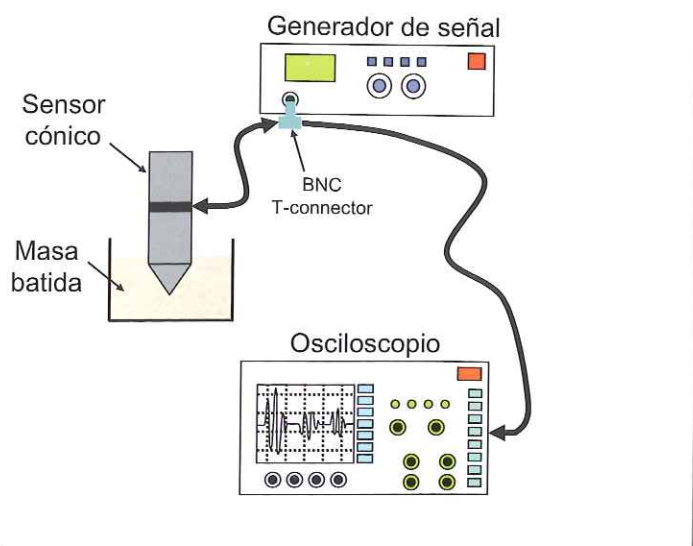
Por medio de la relación entre la amplitud de la señal emitida y la recibida se puede obtener la atenuación sufrida: $A_2 = A_1 e^{-ad}$ siendo A_1 y A_2 la amplitud de la señal emitida y recibida respectivamente, d la distancia entre transductores, igual al grosor de la muestra y la atenuación por unidad de longitud de la muestra. La velocidad del ultrasonido se puede calcular por medio de la medición del tiempo que tarda la señal en propagarse de una cara a otra de la muestra, conocido como tiempo de vuelo o abreviado del inglés *TOF*, y la distancia entre transductores d por: $v = \frac{d}{TOF}$

Frente a la ventaja que representa la sencillez con la que este método permite calcular la atenuación y la velocidad del ultrasonido en la muestra bajo estudio, presenta también la limitación de requerir la propagación de la onda de ultrasonido de una cara a otra de la muestra, lo que puede complicar su implementación en el estudio de alimentos altamente atenuantes.

Por último, en la fig. 7 se muestra un esquema básico de la técnica de pulso-eco, en la que la señal de ultrasonido se propaga a través de la muestra, se refleja en una lámina reflectora y se recibe de vuelta en el mismo transductor. Esta técnica es difícil de aplicar en el estudio de muchos alimentos debido a la relativamente alta atenuación al paso de los ultrasonidos que estos materiales pueden presentar [19], lo que hace que sea muy difícil el paso de la señal a través de la muestra en dos ocasiones, una de ida y otra de vuelta.

Aplicación de las técnicas de ultrasonido al estudio de las masas de cereales

Sistemas de medida de ultrasonidos empleado para el estudio de masas de cereales. En la fig. 8 se representan los sistemas de medida de ultrasonido empleados en el estudio de las ma-



de medida de reflexión (derecha) para el estudio de masas batidas.

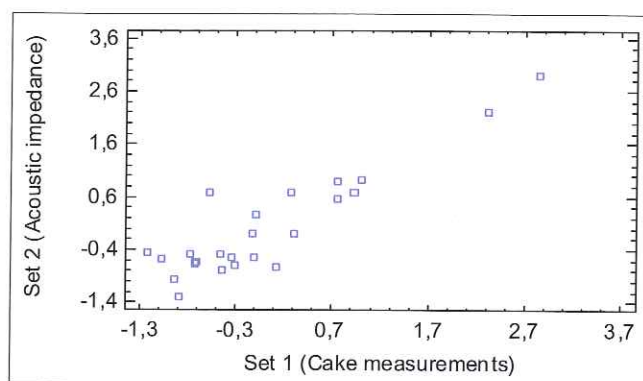


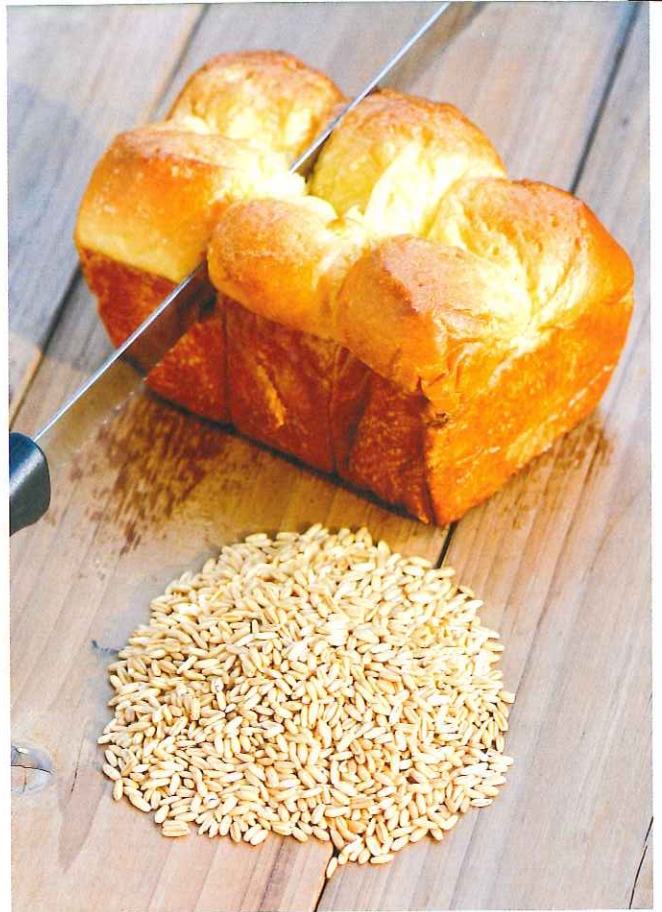
Figura 9. Correlación canónica entre las características físicas del producto final y la impedancia acústica del batido.

sas de cereales. Para la caracterización de masas de pan se ha empleado un sistema basado en la técnica de transmisión, fig. 8 (izquierda), y para el análisis de masas batidas se ha utilizado un sistema de medida que emplea la técnica de reflexión, fig. 8 (derecha).

El sistema de transmisión para el análisis de masas de pan, fig. 8 (izquierda), consta de un generador de señal (HP33120A) que entrega una señal eléctrica pulsada a un amplificador (AG Series, C&T) que a su vez está conectado a una red de adaptación (también diseñada específicamente para este análisis) que se une al transductor emisor de ultrasonido (100 kHz de frecuencia nominal, onda transversal o *shear wave*, Panametrics NDT). La excitación eléctrica es convertida en señal de ultrasonido por el transductor emisor y se propaga a través de la muestra bajo estudio. La señal de ultrasonido en el transductor receptor es convertida en eléctrica y amplificada por un amplificador de 60 dB (Panametrics NDT-OLYMPUS) para ser observada y medida en un osciloscopio digital (LeCroy LT344) conectado a un ordenador (que no aparece en la figura).

El sistema de reflexión para el análisis de masas batidas, fig. 8 (derecha), consta de un prototipo de sensor de impedancia acústica, desarrollado por el Grupo de Sistemas Sensores de la UPC y descrito en [4, 5], en contacto con la muestra bajo estudio, un generador de señal (HP-33120A) y un osciloscopio digital (LeCroy LT344), conectado a un ordenador personal.

Medidas en masas batidas de harina de trigo. Se realizaron medidas de impedancia acústica en 27 muestras diferentes de masa batida, producidas a partir de la variación de las proporciones de ingredientes básicos como la harina, el azúcar, la leche, el huevo, el aceite y la levadura. Los valores de impedancia acústica medidos en las muestras de batido se compararon con diversos parámetros de calidad del producto acabado, como el volumen y la densidad del bizcocho, el índice de volumen, la simetría y la altura central. Detalles sobre la preparación de las muestras, así como un tratamiento más extenso sobre las medidas de parámetros de ultrasonidos en masas batidas se muestran en [8].



En primer lugar, se puede observar la relación entre el valor de impedancia acústica del batido y el conjunto de parámetros de calidad convencionales en bizcochos por medio de la correlación canónica entre ambos, mostrada gráficamente en la fig. 9. El nivel de correlación canónica obtenido, de 0,91, se puede considerar alto, por lo que la impedancia acústica de la masa batida podría considerarse útil como parámetro indicador de la calidad del producto final.

En segundo lugar, se analizaron los niveles de correlación entre la medida de impedancia acústica y cada uno de los parámetros convencionales de calidad en bizcochos. Los resultados se muestran en la Tabla 1. Se observa un nivel de correlación significativo y especialmente alto entre la impedancia acústica y parámetros como el índice volumétrico, la simetría y la altura central, aspectos estos relacionados con la capacidad de expansión y la forma del producto final. Estos resultados indican la posibilidad de que la medida de la impedancia acústica, además de ser sensible al contenido en aire, lo pueda ser a

	Volumen bizcocho	Densidad bizcocho	Índice de volumen	Simetría bizcocho	Altura central
Impedancia acústica (Z_{bat})	-0,45*	0,53**	-0,77***	-0,74***	-0,79***

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Tabla 1. Coeficientes de correlación entre las propiedades del bizcocho y la impedancia acústica del batido.

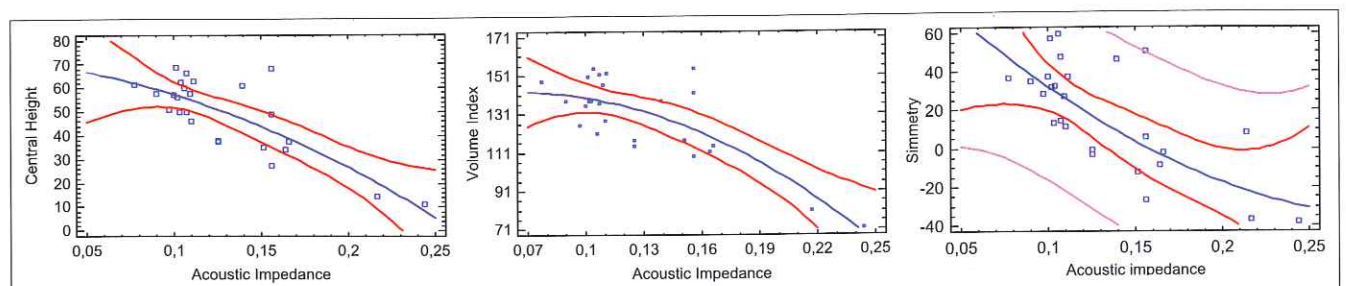


Figura 10. Correlación lineal entre impedancia acústica y altura central (arriba), índice de volumen (centro) y simetría (abajo).



la distribución de éste en el batido, ambos aspectos relacionados con los parámetros de calidad con los que la impedancia acústica muestra una alta correlación.

La correlación lineal entre la impedancia acústica y la altura central, el índice de volumen y la simetría aparece representada gráficamente en la parte superior, central e inferior de la fig. 10 respectivamente. Como se puede observar, los batidos que ofrecen los valores más bajos de impedancia acústica son aquellos que generalmente resultan en bizcochos con mayor índice de volumen, simetría y altura central, sin alteraciones morfométricas o defectos. Por ello, la medida de la impedancia acústica también se podría emplear para la rápida detección de batidos defectuosos que puedan resultar en bizcochos con poco volumen o con hundimientos en su zona central.

Medidas en masas de pan de harina de trigo y de harina de arroz. Se realizaron medidas de la atenuación y de la velocidad del ultra-

sonido en un conjunto de masas de pan (elaboradas con harina de arroz o harina de trigo) de diversa consistencia. Las masas de pan de harina de trigo se prepararon variando el porcentaje de agua añadida. Las masas preparadas con harina de arroz se elaboraron modificando la proporción de la enzima transglutaminasa usada como coadyuvante tecnológico y de la proteína de soja, así como su procesado a dos temperaturas diferentes, 25°C y 60°C. Una descripción más exhaustiva de la preparación de las muestras, así como una exposición más extensa de los distintos experimentos realizados en masas de pan se muestra en [20].

En la fig. 11 se pueden observar los valores promedio de atenuación y velocidad respecto a la variación del contenido en agua del 50% al 65% en masas de pan de harina de trigo, entendiendo estos porcentajes como la cantidad de agua añadida respecto a la cantidad de harina presente en la masa. Se observa un aumento de la atenuación y una disminución de la velocidad en la masa a medida que se incrementa su contenido en agua. A mayor contenido en agua, la masa presenta una menor consistencia y un comportamiento más líquido, lo que provoca que la propagación de las ondas transversales sea más difícil, ya que una de las características de este tipo de ondas de ultrasonido es que difícilmente pueden propagarse en medios líquidos [21]. Esta dificultad de transmisión se traduce generalmente en valores altos de atenuación y bajos de velocidad. Por tanto, los ultrasonidos se muestran sensibles a la consistencia de la masa de pan. Asimismo, es conocido que los ultrasonidos son sensibles a otros parámetros de la masa de pan como el contenido en sal [6], la energía/tiempo de amasado [22] o el tipo de harina [23].

Los valores de atenuación y velocidad registrados en todas las muestras (masas de harina de trigo y de harina de arroz) se ofrecen conjuntamente en la fig. 12. Las masas de harina de arroz estudiadas se pueden dividir en dos grupos principales según su temperatura de procesado, ya que las masas de harina de arroz presentan generalmente una consistencia más alta si las muestras se procesan a 25°C que cuando se tratan a 60°C [24]. Además, es conocido que las masas de harina de trigo ofrecen una consistencia generalmente mayor que las de arroz. Como se puede ob-

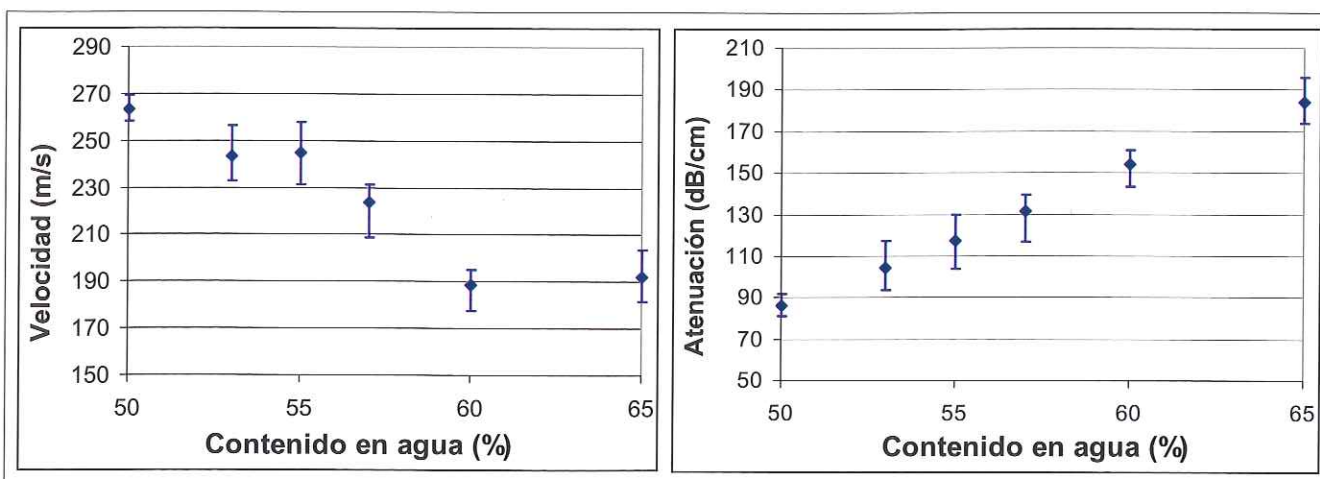


Figura 11. Velocidad (izquierda) y atenuación de del ultrasonido (derecha) frente al contenido en agua de las muestras de masa de pan de harina de trigo.

LOS SISTEMAS DE ULTRASONIDO DESCRITOS, SON UNA HERRAMIENTA EN LA INVESTIGACIÓN DE LA MASA DE PAN DE HARINA DE ARROZ Y DE HARINA DE TRIGO

servar, las medidas se pueden agrupar en tres conjuntos claramente diferenciados. Las masas de arroz a 60°C tienden a estar situadas en la esquina superior izquierda, mientras que las masas de trigo tienden a estar situadas en la esquina opuesta. Las masas de arroz a 25°C ocupan una zona intermedia, con una cierta disposición en diagonal con los otros grupos. De acuerdo con esta situación, las masas a 60°C, con gran atenuación y baja velocidad, deben tener menor consistencia que la mayoría de masas a 25°C, mientras que las masas de trigo deben ser las de mayor consistencia, con menor atenuación y mayor velocidad. Estos resultados se corresponden con la ordenación de masas según su consistencia anteriormente comentada. Asimismo, se puede observar la misma tendencia entre las masas más duras y más blandas dentro de un mismo grupo de masas. Las masas de harina de trigo con un menor contenido en agua, que son las más consistentes [7], tienden a situarse en la parte inferior derecha de la gráfica con relativamente altos valores de velocidad y bajos de atenuación. Estos resultados indicarían el potencial del cociente atenuación/velocidad como parámetro de control de la consistencia de las masas de pan, con validez en masas elaboradas a partir de harina de trigo y de arroz.

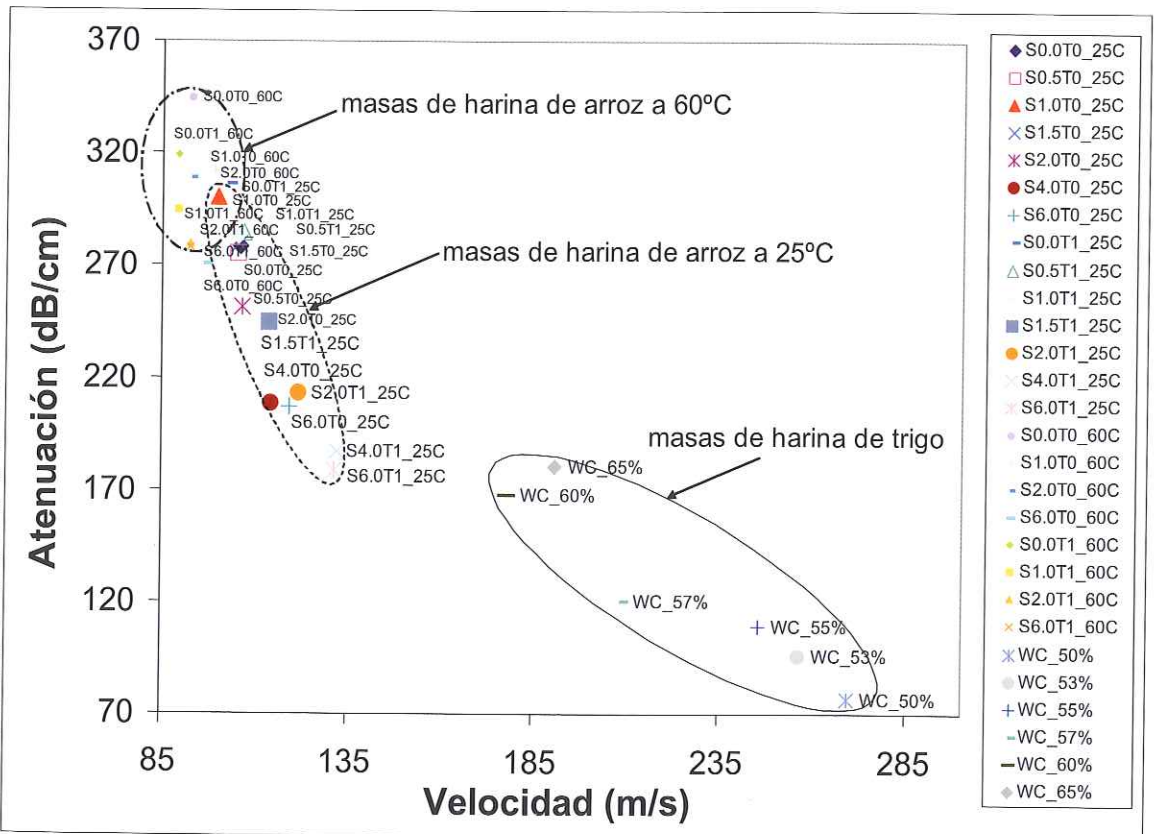
Conclusiones

Los sistemas de ultrasonido descritos en este trabajo se pueden considerar como una herramienta prometedora en la investigación de las propiedades de la masa de pan de harina de arroz y de harina de trigo, como análisis complementario a los métodos de caracterización convencional, así como un instrumento válido para el proceso de inspección de calidad en línea de masas batidas dentro de una producción industrial. El desarrollo de nuevos sensores basados en tecnologías emergentes no destructivas, como las técnicas de ultrasonido, resultan ser muy atractivos a la industria alimentaria pues permiten hacer controles en línea, rigurosos, objetivos, automáticos y extendidos, mejorando a su vez la competitividad de las empresas.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida de la Unión Europea y del Ministerio de Ciencia e Innovación de España a través de los proyectos CRAFT QLK1-CT-2001-70377 y CICYT AGL2005-05192-C04-04, respectivamente, que han permitido realizar este trabajo.

Figura 12. Medidas de ultrasonido en masas de harina de trigo y de harina de arroz. Las masas de harina de trigo con un contenido en agua (WC) del 50% al 65% y las masas de harina de arroz procesadas a 25°C y 60°C, y con distintos porcentajes de proteína de soja (S), y con 0% y 1% de enzima añadida (T).



Referencias

- [1] S. V. Ilyukhin, T. A. Haley, and R. K. Singh, "A survey of control system validation practices in the food industry", *Food Control*, vol. 12, pp. 297-304, 2001.
- [2] R. Saggin and J. N. Coupland, "Non-contact ultrasonic measurements in food materials", *Food Research International*, vol. 34, pp. 865-870, 2001.
- [3] H. Cen and Y. He, "Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality", *Trends in Food Science & Technology*, vol. 18, pp. 72-83, 2007.
- [4] J. Salazar, A. Turo, J. A. Chávez, and M. J. García, "Ultrasonic inspection of batters for on-line process monitoring", *Ultrasonics*, vol. 42, pp. 155-159, 2004.
- [5] J. García-Álvarez, Y. Yáñez, J. L. Prego, A. Turo, J. A. Chávez, M. J. García, and J. Salazar, "Noise level analysis in buffer rod geometries for ultrasonic sensors", *Ultrasonics*, vol. 44, pp. e1093-e1100, 2006.
- [6] J. García-Álvarez, J. M. Álava, J. A. Chávez, A. Turo, M. J. García, and J. Salazar, "Ultrasonic characterisation of flour-water systems: A new approach to investigate dough properties", *Ultrasonics*, vol. 44, pp. e1051-e1055, 2006.
- [7] J. M. Álava, S. S. Sahi, J. García-Álvarez, A. Turo, J. A. Chávez, M. J. García, and J. Salazar, "Use of ultrasound for the determination of flour quality", *Ultrasonics*, vol. 46, pp. 270-276, 2007.
- [8] M. Gómez, B. Oliete, J. García-Álvarez, F. Ronda, and J. Salazar, "Characterization of cake batters by ultrasound measurements", *Journal of Food Engineering*, vol. 89, pp. 408-413, 2008.
- [9] D. J. McClements, "Ultrasonic characterization of foods and drinks: principles, methods, and applications", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 37, pp. 1-46, 1997.
- [10] D. J. McClements, "Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing", *Trends in Food Science & Technology*, vol. 6, pp. 293-299, 1995.
- [11] J. A. Gallego-Juárez, G. Rodríguez-Corral, E. Riera-Franco de Sarabia, C. Campos-Pozuelo, F. Vázquez-Martínez, and V. M. Acosta-Aparicio, "A macrosonic system for industrial processing", *Ultrasonics*, vol. 38, pp. 331-336, 2000.
- [12] A. Patist and D. Bates, "Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 9, pp. 147-154, 2008.
- [13] J. Benedito, J. A. Cárcel, N. Sanjuan, and A. Mulet, "Use of ultrasound to assess Cheddar cheese characteristics", *Ultrasonics*, vol. 38, pp. 727-730, 2000.
- [14] J. N. Coupland and D. Julian McClements, "Droplet size determination in food emulsions: comparison of ultrasonic and light scattering methods", *Journal of Food Engineering*, vol. 50, pp. 117-120, 2001.
- [15] P. Resa, L. Elvira, and F. Montero de Espinosa, "Concentration control in alcoholic fermentation processes from ultrasonic velocity measurements", *Food Research International*, vol. 37, p. 587, 2004.
- [16] F. Camarena, J. A. Martínez-Mora, and M. Ardid, "Ultrasonic study of the complete dehydration process of orange peel", *Postharvest Biology and Technology*, vol. 43, pp. 115-120, 2007.
- [17] Prakash Pallav, David Hutchins, and T. Gan, "Air-coupled ultrasonic evaluation of food materials", in *International Congress on Ultrasonics*, Vienna, 2007.
- [18] M. S. Greenwood, J. R. Skorpik, J. A. Bamberger, and R. V. Harris, "On-line ultrasonic density sensor for process control of liquids and slurries", *Ultrasonics*, vol. 37, pp. 159-171, 1999.
- [19] J. N. Coupland, "Low intensity ultrasound", *Food Research International*, vol. 37, pp. 537-543, 2004.
- [20] C. M. Rosell, C. Marco, J. García-Álvarez, and J. Salazar, "Rheological Properties Of Rice-Soybean Protein Composite Flours Assessed By Mixolab® And Ultrasound", *Journal of Food Process Engineering*, vol. In press, 2009.
- [21] D. Cheeke, *Fundamentals and applications of ultrasonic waves*. Boca Raton, Fla. ; London: CRC, 2002.
- [22] J. García-Álvarez, J. M. Rodríguez, Y. Yáñez, A. Turo, J. A. Chávez, M. J. García, and J. Salazar, "Study of the time-dependence of the mechanical properties of doughs for flour strength evaluation", in *Ultrasonics Symposium, 2005 IEEE*, 2005, pp. 1480-1483.
- [23] J. Salazar, J. M. Álava, S. S. Sahi, A. Turo, J. A. Chávez, and M. J. García, "Ultrasound measurements for determining rheological properties of flour-water systems", *Ultrasonics Symposium, 2002. Proceedings. 2002 IEEE*, vol. 1, pp. 877-880 vol.1, 2002.
- [24] C. M. Rosell, C. Marco, I. Pérez-Munuera, A. Puig, J. Salazar, and J. García-Álvarez, "Design and properties of Rice-Soybean protein composite flours", in *13th ICC Cereal and Bread Congress* Madrid, 2008.



Principales líneas de investigación:

Nuestro grupo está implicado desde hace años en proyectos de investigación relacionados con el estudio de mecanismos de biocontrol frente microorganismos patógenos y alterantes que permitan aumentar la vida útil de productos lácteos. Una buena parte del trabajo realizado se ha centrado en la actividad antimicrobiana de bacteriocinas producidas por bacterias lácticas, las cuales pueden ser utilizadas como conservantes de grado alimentario. Disponemos de numerosas cepas productoras de bacteriocinas que hemos aislado de productos lácteos tradicionales asturianos lo que permitiría su utilización tanto para la producción a gran escala como su uso como cultivos protectores en la elaboración de quesos. Finalmente, cabe destacar que hemos aislado e identificado la bacteriocina *Lactococina 972*, cuyo modo de acción es único lo que la convierten en un modelo excepcional para el diseño de nuevos antimicrobianos.

Recientemente, hemos iniciado el estudio de los bacteriófagos y sus endolisinas como agentes de biocontrol, con objeto de explotar su capacidad para inducir la lisis bacteriana frente a microorganismos patógenos y alterantes de alimentos. Como punto de partida hemos seleccionado la especie *Staphylococcus aureus* como modelo de bacteria patógena susceptible de ser inhibida mediante bacteriófagos y endolisinas.