

**El estudio de las propiedades acústicas de los productos hortofrutícolas ayuda a determinar sus características texturales.**

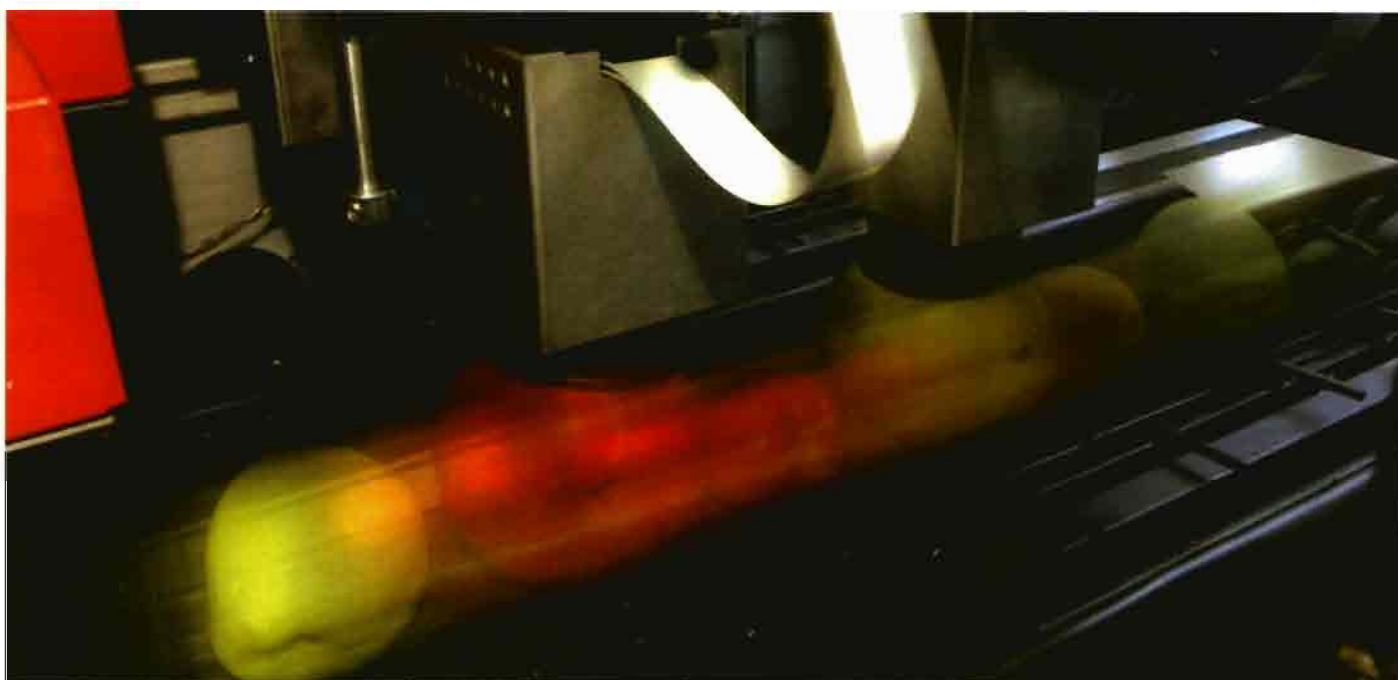
## Propiedades acústicas y calidad interna

BELÉN DIEZMA<sup>1</sup>, MARGARITA RUIZ-ALTISENT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dra. Ingeniera Agrónoma

<sup>2</sup>Catedrática Universidad. Dra. Ingeniera Agrónoma

Laboratorio de Propiedades Físicas. E.T.S.I. Agrónomos. U.P.M.



### Introducción

La acústica puede definirse como la generación, transmisión y recepción de energía en la forma de ondas vibracionales de la materia. A medida que los átomos o moléculas de un fluido o un sólido se desplazan de sus configuraciones normales, surge una fuerza elástica restauradora. Esta fuerza elástica restauradora es la que permite que la materia participe en vibraciones oscilatorias, y como consecuencia, genere y transmita ondas acústicas. La acústica abarca una gran gama de disciplinas científicas y de la ingeniería (Recuero López 2000). El fenómeno acústico más conocido es el que se desarrolla con la sensación del sonido. Para las personas jóvenes y sanas, una perturbación

**Sensor acústico de firmeza (AFS), de Aweta®, permite conocer la madurez y otros parámetros de calidad mediante la vibración resonante atenuada.**

vibracional se interpreta como un sonido si su frecuencia está en el intervalo de 20 a 20.000 Hz.

En el estudio de materiales (metales, cerámicas, aleaciones...) se han desarrollado métodos basados en las características vibratorias para la determinación de las propiedades elásticas de muestras homogéneamente constituidas como alternativa a los métodos estáticos de compresión o similares.

La energía que es aplicada a la estructura es amplificada a unas determinadas frecuencias, son las frecuencias resonantes; el valor de cada frecuencia resonante es dependiente de la geometría, la densidad y las propiedades elásticas de la muestra. Así, para objetos homogéneos y con geo-

metrías simples (cilindros, discos, esferas, anillos...), es posible establecer expresiones que relacionan las frecuencias resonantes con las propiedades del material (módulo de elasticidad, densidad...) y las propiedades geométricas (dimensiones y forma).

La traslación de las posibilidades de estas técnicas a los productos hortofrutícolas ha de sortear algunas dificultades inherentes a los productos, como son las heterogeneidades en sus estructuras y formas irregulares y variables. A pesar de ello, numerosas investigaciones han considerado la posibilidad de emplear las propiedades acústicas de los productos hortofrutícolas como indicadores de sus características texturales.

### Aplicaciones en el rango de frecuencias audible para la determinación de características texturales

La textura es un parámetro cualitativo complejo y variable de gran importancia en la valoración de las frutas y hortalizas de consumo en fresco. Diferentes factores, como el estado del agua, las propiedades físicas de las paredes de las células y la estructura de los tejidos, actúan conjuntamente para determinar la resistencia, firmeza y elasticidad, características que, junto con otras, conforman la textura.

La importancia de este atributo ha conducido a numerosos grupos de investigadores a desarrollar métodos destructivos y no destructivos para determinar objetivamente parámetros de caracterización de la textura. En este marco, el desarrollo de técnicas y dispositivos que analizan la respuesta vibratoria de los productos hortofrutícolas se ha dedicado en gran medida al estudio de la textura.

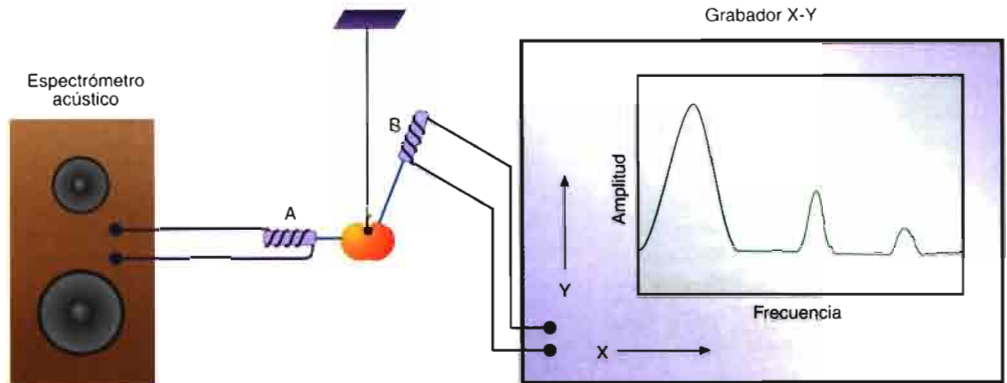
Tradicionalmente se ha empleado la práctica de golpear algunas frutas y hortalizas y atender al sonido que se produce para tener una idea de su estado de madurez. Tratando de emular esta práctica algunos autores han desarrollado dispositivos basados en la llamada técnica de "impulso acústico" o "respuesta acústica al impacto", en los que la excitación de la muestra se produce cuando ésta es golpeada de forma controlada por un cuerpo impactante. Otros autores excitan la muestra someténdola a vibraciones de frecuencias determinadas, son las técnicas de "vibración forzada".

#### Vibración forzada

Los primeros trabajos se centraron en el estudio de manzanas (Abbott et al. 1968). En ellos, la muestra era suspendida de un hilo y una varilla metálica en contacto con la superficie de la fruta, que era excitada a determinadas frecuencias (de 50 a 2.200 Hz) y transmitía esa excitación a la manzana (ver Figura 1).

La vibración era recogida con otra varilla muy ligera, uno

**Figura 1:** Esquema del dispositivo de vibración forzada desarrollado por Abbott en 1968.



de cuyos extremos descansaba sobre la región superior de la fruta y en el lado opuesto a la excitación, y el otro contactaba con un material piezoeléctrico que transducía la señal mecánica a señal eléctrica, la cual era representada como una amplitud, se obtenía así una representación de la frecuencia frente a la amplitud.

En el espectro de la manzana se observó una frecuencia resonante, concretamente el segundo pico de amplitud del espectro, relacionado con la firmeza de la fruta, aunque se vio que también estaba relacionado con la masa, de modo que se definió el llamado "coeficiente de rigidez" o "coeficiente de firmeza", en el que además de la frecuencia resonante se introduce la masa de la fruta para corregir su efecto sobre la señal vibratoria.

En sucesivas investigaciones se avanzó tanto en la implementación de los dispositivos como en la aplicación a otros productos. Así, se utilizaron vibra-



dores electromagnéticos para producir la excitación en las muestras, y acelerómetros miniatura para adquirir las correspondientes respuestas. Se mantuvo básicamente el estudio de las frecuencias resonantes como indicadores de las características de firmeza de los productos, y el correspondiente coeficiente de rigidez.

En trabajos posteriores se estudió la extensión del coeficiente de rigidez a especies con mayores heterogeneidades estructurales como los tomates, obteniendo buenos resultados. Asimismo, se han descrito modelos de la evolución de la firmeza en diferentes variedades de manzanas a lo largo de largos períodos de almacenamiento en función del coeficiente de rigidez.

A pesar de las posibilidades ampliamente demostradas, que ofrece la utilización del coeficiente de rigidez para evaluar las características texturales su implementación práctica hay que realizarla para cada aplicación atendiendo a una serie de factores que afectan críticamente al éxito del dispositivo, por ejemplo, la elección de los soportes en los que se colocan las muestras, y la selección de las localizaciones de la excitación y la recogida de la respuesta en dichas muestras.

Las últimas tendencias apuntan a sustituir los acelerómetros, que precisan estar en contacto directo con la muestra, por vibró-

■ **En objetos homogéneos y con geometrías simples, es posible establecer expresiones que relacionan las frecuencias resonantes con las propiedades del material y sus propiedades geométricas**



metros láser por efecto Doppler (LDV, ver Figura 2), que son instrumentos ópticos que permiten realizar las medidas de las vibraciones sin necesidad de establecer contacto con la muestra. Se obtuvieron resultados esperanzadores al tratar de relacionar las medidas del dispositivo con las medidas destructivas de firmeza en kivis, peras y melocotones. Como desventaja de la técnica para su aplicación a la determinación de calidad en frutas, ha de señalarse el tiempo de duración de la medida, que para hacer un barrido de 5 a 2.000 Hz lleva varios minutos. Pero si se reduce el número de frecuencias del barrido a aquéllas que previamente se mostraran de interés, se disminuiría también el tiempo de adquisición de la medida.

### Respuesta acústica al impacto

En la historia de la implementación de esta técnica se ha

El vibrómetro láser de efecto Doppler portátil, modelo 8329 VH300+, cabe perfectamente en el maletero del coche, y es perfecto para hacer mediciones fuera del laboratorio.



ido avanzando en diferentes aspectos básicos de la misma: por un lado en el modo de generación del impacto, y por otro lado en los elementos sensores para la adquisición de la excitación y en el tratamiento de la señal.

En una de las primeras aplicaciones de la respuesta acústica al impacto se intentó relacionar el sonido que produce un tomate al ser golpeado con el dedo índice y el tiempo necesario para que alcance el estado de viraje. Para

**HERCAFILM**  
Especialistas en Plásticos Agrícolas

Para los más exigentes

**PATILITE**

**ONIX PATILUX**

36 meses de garantía

Ctra. de Campohermoso a San Isidro  
Pol. Ind. Santa Olalla - 04110 CAMPOHERMOSO (Almería)  
Tel.: + 34 950 385 654 Fax: + 34 950 386 489  
Móvil 661 327 299

Más información  
968 12 39 00

■ Toda la información de su plantación la podrá obtener con Privassist. Un sistema de terminales móviles conectados a un ordenador central. Rendimiento de operarios, variaciones de producción, enfermedades y plagas, planificación mejorada. **Toda la información y el mejor rendimiento con Privassist.**

**PRIVASSIST**  
La información es crecimiento

**PRIVA**  
Control total

Gestión de riego, Muestreo de agua, Fertilización, Desinfección de aguas, Tecnología de la información, Automatización integrada en la agricultura moderna.

PRIVA NUTRICONTRÓL IBÉRICA •  
Pol. Ind. Cabezo Beaza, C/ Bucarest, 26 • Apdo. 2035, 9 0305 Cartagena (MURCIA-SPAIN)  
Tel. +34 968 123 900 • Fax +34 968 320 062 • E-mail: pñ@nutricontrol@privanutricontrol.com • www.privanutricontrol.com

ello se golpeó las muestras y se grabó el sonido producido. A pesar de que las señales acústicas mostraron ciertas tendencias que permitieron marcar diferencias entre lotes en lo que se refiere al estado de madurez, la dispersión de los datos fue tal que dio lugar a numerosos errores en la clasificación de individuos.

En aplicaciones subsiguientes se ha sistematizado la aplicación del impacto, de modo que se ha tratado de acotar la posible variabilidad debida a la excitación: sistemas pendulares con cabezas impactantes de diferentes materiales y/o pesos, varillas controladas por muelles recuperadores...

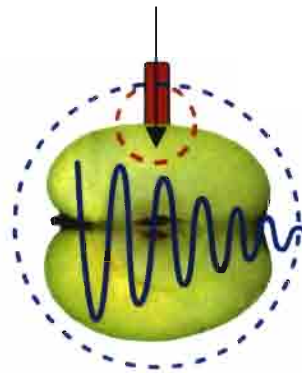
En la mayor parte de estas aplicaciones se ha implementado la adquisición de la señal utilizando un micrófono situado a unos milímetros de la superficie de la muestra a estudiar. La colocación más habitual del micrófono ha sido el punto situado enfrente del



punto de excitación, aunque no han faltado casos en los que la toma del sonido se ha hecho con micrófonos situados a unos pocos centímetros del punto de impacto en la misma cara de la fruta estudiada.

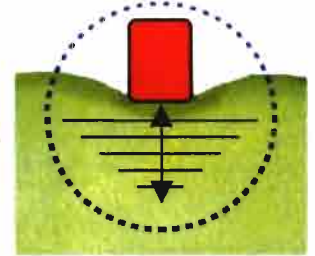
Una ventaja del empleo de micrófonos es el hecho de que no

### Acústico



**A parte del método acústico, otras tecnologías utilizan el método de impacto, que mide la firmeza sólo en el punto de impacto.**

### Impacto



se precisa contacto entre la fruta y el transductor, incluso que se produzca este contacto es un factor de distorsión en la señal. Esto facilitó la adaptación de un dispositivo de respuesta acústica al impacto para su instalación en una línea rotativa ubicada en el interior de una cámara frigorífica de



**un extraordinario terreno de cultivo ?**



almacenamiento, a fin de contar con un sistema automatizado de control de la evolución de la firmeza durante el almacenamiento.

Los acelerómetros, elementos frecuentes en las técnicas de vibración forzada, se han introducido en algunas aplicaciones de la respuesta acústica al impacto cuando el ensayo se ha realizado sobre producto en árbol para medir el estado de firmeza del mismo y así estimar la fecha óptima de recolección.

Las señales recogidas por cualquiera de los dispositivos mencionados son señales en el dominio del tiempo. La mayor parte de las aplicaciones utiliza parámetros acústicos extraídos del espectro en frecuencias. Para la obtención del espectro en frecuencias a partir de la señal en el tiempo se aplica el algoritmo de la transformada rápida de Fourier (FFT), solución computacional que optimiza el tiempo y el modo de cálculo del algoritmo que permite establecer la dualidad entre la señal en el tiempo y la señal en frecuencias.

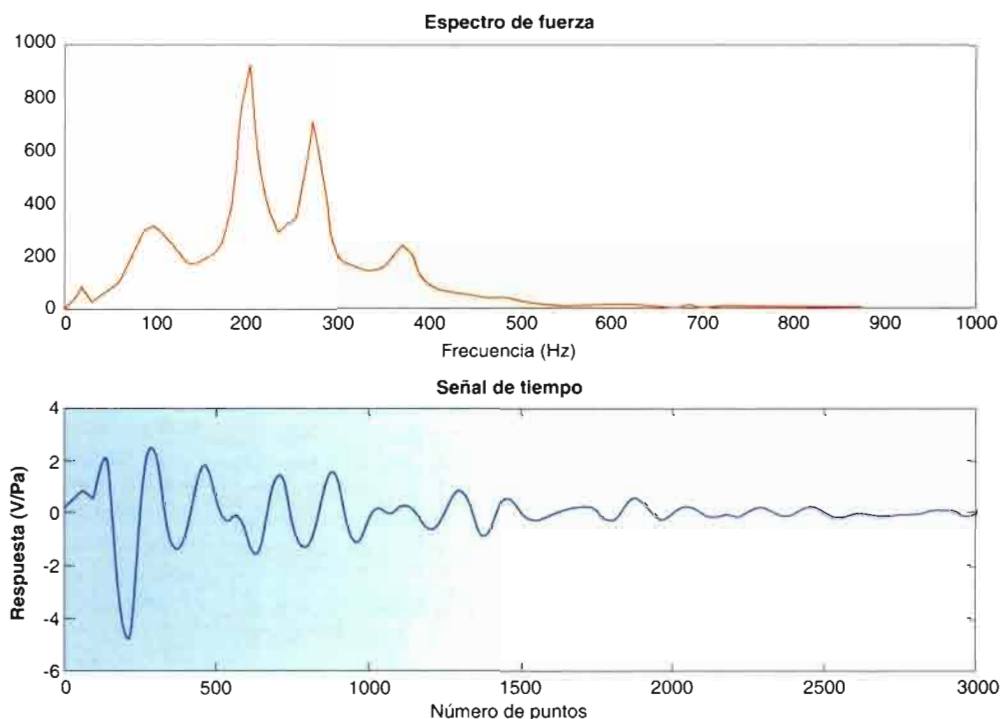
En algunos casos se ha utilizado el ya explicado coeficiente de rigidez; en otros se han definido parámetros alternativos como las magnitudes de banda, que se definen como el sumatorio de las magnitudes del espectro comprendidas entre dos frecuencias determinadas. Intentando soslayar la falta de resolución del espectro que se obtiene de los productos hortofrutícolas, algunas propuestas optan por medir la velocidad de la onda acústica transmitida a través del producto empleando para ello dos micrófonos separados entre sí una distancia conocida.

### Aplicaciones destacables

En definitiva, considerando la base física teórica que relaciona el comportamiento dinámico de un cuerpo que es sometido a un impulso mecánico excitador o a una vibración forzada, con sus características estructurales, se han propuesto diferentes soluciones para establecer las características texturales de numerosos productos hortofrutícolas.

**Figura 2:**

**Señal en el dominio del tiempo (imagen inferior) y su correspondiente señal en el dominio de la frecuencia obtenida al aplicar la FFT (imagen superior).**



Así, se han relacionado algunos parámetros acústicos con la evolución del módulo de elasticidad de manzanas y peras en árbol y en condiciones de almacenamiento. En tomates se han establecido correlaciones entre el coeficiente de firmeza y los resultados de evaluaciones sensoriales de paneles de expertos. Se ha medido la velocidad de transmisión de la onda acústica en melones, manzanas y peras y se ha relacionado con la firmeza de la pulpa. A partir de datos experimentales se ha modelizado el valor del coeficiente de firmeza frente a los días



de almacenamiento de ciruelas, nectarinas, mangos y aguacates. Con un mismo dispositivo se ha caracterizado la firmeza de productos tan dispares como melocotones y sandías. En investigaciones recientes se ha estudiado el efecto del estado del agua en la elasticidad de los tejidos de rábanos analizando para ello el espectro de esta especie.

Analizando los últimos trabajos en esta línea se puede afirmar que en el ámbito de la investigación el coeficiente de rigidez está comenzando a ser una medida de referencia en lugar de un parámetro asociado a un método en estudio, como lo atestigua el hecho de que se ha empleado para aceptar o rechazar hipótesis referidas a otras técnicas o prácticas, por ejemplo, la respuesta acústica al impacto se ha utilizado para evaluar la evolución de la firmeza en almacenamiento de manzanas procedentes de parcelas con sistemas de producción orgánico e integrado respectivamente.

**En el estudio de materiales se han desarrollado métodos basados en características vibratorias para determinar las propiedades elásticas de muestras constituidas homogéneamente como alternativa a los métodos estáticos de compresión**

Además de la determinación de características relacionadas con la textura de frutas y hortalizas, se ha estudiado la viabilidad de estas técnicas para la detección de unidades afectadas de problemas de calidad interna como magulladuras sin síntomas externos evidentes, o fisiopatías como pardeamiento interno en peras o ahuecados en sandías (Diezma, Ruiz-Altisent y Orihuel 2002).

### Transferencia de la técnica al sector

El nivel de desarrollo y transferencia de la técnica al sector hortofrutícola puede analizarse considerando dispositivos para su uso en laboratorios o condiciones similares, dispositivos portátiles para el análisis en campo con producto sobre planta y dispositivos para su implementación en líneas de escandallo o de clasificación y manipulación de frutas.

Aunque como ya se ha mos-



trado, los avances en esta línea de investigación han conducido al desarrollo de dispositivos portátiles y de sistemas para su instalación en líneas de frutas, el estado de los mismos todavía no ha permitido su uso generalizado en ámbitos ajenos a la investigación, y por tanto su transferencia al sector.

Sin embargo en lo que se refiere a dispositivos de sobremesa para su utilización en condiciones similares a las de laboratorio, se comercializan ya algunos sistemas, como el ofrecido por la em-


**Equipo acústico de sobremesa para la determinación de la firmeza en frutas.**

**Comercializado por la empresa holandesa AWETA.**

presa holandesa Aweta. Este equipo comercial se basa en los prototipos desarrollados por el grupo de investigación de la Universidad Católica de Lovaina, y se presenta como equipo de laboratorio optimizado para la determinación de la firmeza de manzanas y tomates, capaz de realizar 20 medidas por minuto.



### Bibliografía

- Abbott, J. A., G. S. Bachman, R. F. Childers, Fitzgerald J.V., and F. J. Matusik. 1968. Sonic techniques for measuring texture of fruits and vegetables. *Food Technology* 22: 635-46.
- Diezma, B., M. Ruiz-Altisent, and B. Orihuel. 2003. Acoustic impulse response for detecting hollow heart in seedless watermelon. *Acta Horticulturae n° 599. Proceeding of the International Conference Postharvest Unlimited*
- Recuero López, M. 2000. Ingeniería acústica. Madrid: Paraninfo.



**es posible.**

VENTANAS
MOTORREDUCTORES
CREMALLERAS
PANTALLAS TÉRMICAS
MALLAS
REFRIGERACIÓN
CALEFACCIÓN
SISTEMAS DE CONTROL



Greenhouses, components. Torre Pacheco, Murcia Spain Teléfono +34 968 58 57 76 Fax +34 968 58 57 70 www.agrocomponentes.es