

## Tecnología de la poscosecha

Analiza los ahuecados y agrietados del fruto

## Inspección de calidad de sandías: sistema acústico portátil

- Un equipo de la Universidad Politécnica de Madrid diseña un equipo portátil para la detección no destructiva de los problemas de calidad de la pulpa de las sandías sin semillas.

**B. Diezma Iglesias<sup>1</sup>,  
M. Ruiz Altisent<sup>1</sup>, M. Miranda,  
M.A. Muñoz<sup>1</sup>**

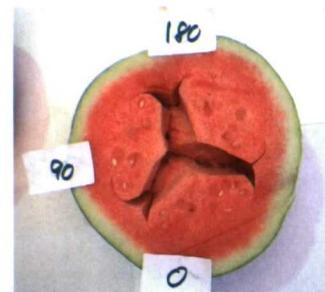
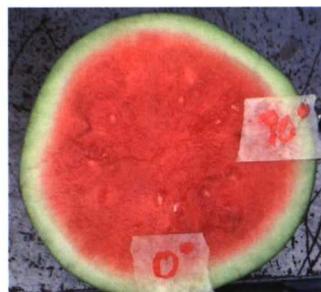
<sup>1</sup>Laboratorio de Propiedades Físicas y Técnicas Avanzadas en Agroalimentación. Dpto. de Ingeniería Rural. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. *belen.diezma@upm.es*

Varios problemas de calidad afectan a la pulpa de las sandías sin semillas, entre ellos, son de especial importancia los ahuecados y agrietados. Se ha diseñado y evaluado un equipo portátil y de bajo coste para la detección no destructiva de esos defectos, cuyo funcionamiento se basa en el análisis de la respuesta acústica de la muestra a impactos mecánicos de baja intensidad. Se ha evaluado la capacidad de segregación de varios parámetros espectrales, comparando los resultados con los obtenidos previamente mediante un equipo de sobremesa basado en la misma técnica acústica. En el espectro de frecuencias del equipo portátil se ha observado una frecuencia resonante anormal a 15 Hz que distorsiona el valor de los parámetros espectrales. La eliminación de esta frecuencia resonante mediante un filtro paso alto ha sido suficiente para obtener niveles similares de bien clasificados con ambos dispositivos.

### Un equipo de laboratorio

La introducción de nuevos productos o variedades de frutas y hortalizas es una constante en los mercados desarrollados. Hace ya unos 10 años Anecoop S. Coop. inició su andadura en la producción y distribución de sandías sin semillas. En la actualidad Anecoop comercializa entre 65 y 70.000 t, siendo uno de los principales exportadores de estas sandías.

El interés de Anecoop por asegurar a los consumidores un producto de altos estándares de calidad, está en la base de la colaboración con el Laboratorio de Propiedades Físicas



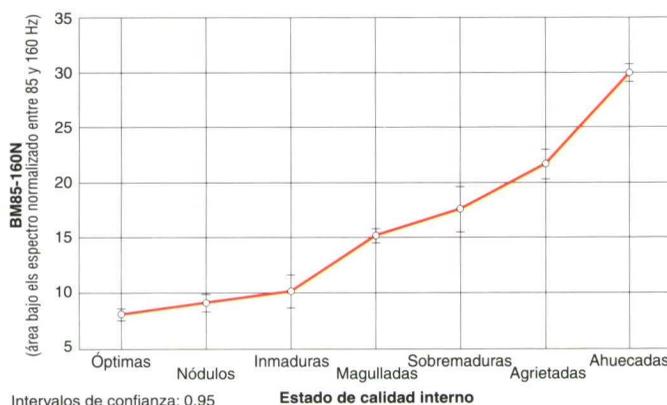
icas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación de la Universidad Politécnica de Madrid (LPF-TAG). Como consecuencia de esta colaboración se ha llevado a cabo una amplia investigación cuyo principal resultado técnico es un prototipo de laboratorio para la detección de problemas de calidad interna en sandías apirenas (Diezma *et al.*, 2004).

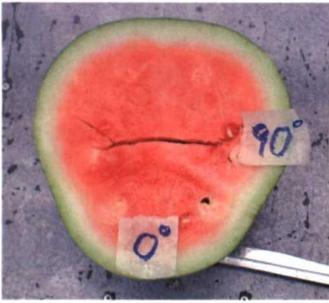
El análisis de la respuesta vibratoria de los productos hortofrutícolas ha sido ampliamente utilizado para la estimación de diferentes parámetros de calidad de los mismos (De Ketelaere *et al.*, 2006). En nuestro estudio, la caracterización del espectro acústico obtenido tras la excitación mecánica de cada fruta ha permitido distinguir las unidades afectadas de ahuecados internos, sobremadurez acusada y magulladuras, con niveles de

acierto superiores al 90% en el problema de ahuecado. Los componentes principales de este equipo de laboratorio son un micrófono prepolarizado de campo libre de sensibilidad constante a partir de 10 Hz, un preamplificador adaptador de impedancias, un acondicionador de señal y una tarjeta de adquisición de datos integrada en un ordenador de sobremesa. Todo lo cual hace del mismo un equipo adaptable a distintas aplicaciones de investigación (ponderaciones sismométricas, utilización de filtros de frecuencia...) pero costoso. El interés empresarial ha conducido la investigación hacia el desarrollo de equipos de menor precio de adquisición y de utilización fuera de los laboratorios de calidad de sus almacenes.

Así, se ha planteado una segunda etapa en la colaboración, cuyo principal objetivo ha sido el desarrollo de un nuevo sistema para la determinación no destructiva de la calidad interna de sandías (basado en los fundamentos del dispositivo de sobremesa previamente desarrollado) minimizando el tiempo de análisis y presentación de resultados hasta conseguir un equipo de funcionamiento en tiempo real (diferencia fundamental con el equipo de mesa inicial) y diseñando un equipo ligero y autónomo (portátil), con el fin de hacerlo más versátil en cuanto a su lugar de utilización y aumentar el número de frutos analizados por unidad de tiempo.

**Figura 1:**  
Medias de la variable acústica discriminante obtenidas con dispositivo portátil para cada categoría de calidad interna





**Detalle de ausencia de defecto de calidad (izquierda), ahuecado (centro) y agrietado (derecha) en la pulpa de sandías apirenas.**

**Desarrollo del dispositivo portátil**

El desarrollo del dispositivo portátil se ha realizado en sucesivas aproximaciones a la solución final, en cada una de ellas se han sustituido algunos

elementos del equipo de laboratorio y se ha comprobado cómo estos cambios afectan a la capacidad de clasificación del sistema.

Fundamentalmente, en la primera aproximación se sustituyó el ordenador de sobremesa por una PDA (*Personal Digital Assistant*), en la que se acopló una tarjeta de adquisición de datos adecuada a la misma. El micrófono prepolarizado, el preamplificador y el acondicionador de señal se mantuvo en esta primera versión del dispositivo portátil, limitando la movilidad del equipo. Para la migración de los programas de adquisición y análisis en tiempo real se utilizó el lenguaje de programación LabVIEW, apropiado para el control de procesos, pero con carencias en su versión para or-

denadores de bolsillo. Con el fin de comprobar el funcionamiento del equipo portátil en un amplio número de frutos y consecuentemente validar o modificar, en su caso, las reglas de segregación de sandías defectuosas generadas con el equipo de sobremesa, se programaron dos experimentos en sendos almacenes de confección de sandía, lo que permitió también comprobar el efecto del ruido ambiental en una planta de clasificación de frutas en la medida acústica.

Se analizaron un total de 643 sandías, que tras ser ensayadas con el dispositivo acústico se abrieron y clasificaron según los criterios de los expertos de calidad de los almacenes en las siguientes categorías: de calidad óptima, viróticas (nódulos en la pulpa), inmaduras, magulladas, sobre-

maduras, agrietadas y ahuecadas.

Los espectros acústicos de este portátil no mostraron diferencias con respecto a los del dispositivo de sobremesa. Al igual que en al dispositivo de sobremesa, el análisis de varianza mostró que la variable acústica más discriminante para la clasificación de las frutas fue la densidad espectral BM85-160N, computada como el área bajo la curva del espectro normalizado entre las frecuencias 85 y 160 Hz, variable sensible al desplazamiento de las frecuencias resonantes en los frutos con problemas de calidad.

Asimismo, los porcentajes de acierto en la detección de sandías ahuecadas (90%), sobremaduras (86%) y magulladas (66%) obtenidos en los ensayos con este portátil re-

# Clima. Controlado.

Consiga una mayor productividad en su invernadero creando las condiciones ideales.



WDP100-AL  
SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA



Sistema completo de distribución de agua que optimiza el funcionamiento del panel evaporativo CELdek®.



EUROEMME®  
VENTILADOR EXTRACTOR EM50N



Gran capacidad de flujo de aire, reducido nivel de ruido y bajo consumo energético.



EUROEMME®  
VENTILADOR RECIRCULADOR EDC18



Gran capacidad para estratificar la humedad y el aire estancando. El diseño exclusivo de la hélice es autolimpiante y junto con los rectificadores de flujo de aire, permite conseguir la mayor eficacia.

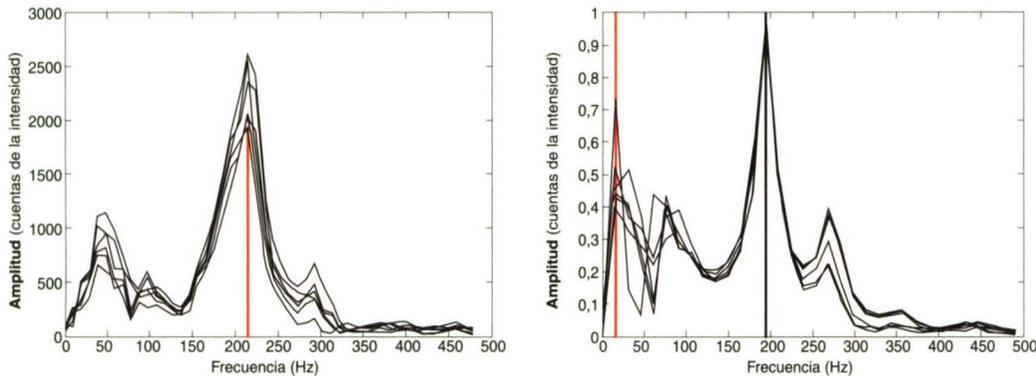
No podemos controlar el clima en el exterior pero controlando el clima en el interior del invernadero podemos crear las condiciones óptimas para el crecimiento.



Munters Spain S.A., Europa Empresarial, Ed. Londres C/ Playa de Liendres no2, 28.290 Las Matas. Madrid  
Tfno: 91 640 09 02, marketing@munters.es  
www.munters.es

**Figura 2:**

Señales espectrales obtenidas con el dispositivo de sobremesa (señal sin normalizar, izquierda) y el segundo dispositivo portátil (derecha), la línea vertical roja marca la frecuencia resonante a 15 Hz achacable a ruido eléctrico



**Dispositivo portátil introducido en cooperativa para 'site acceptance test' (izquierda); detalle de la PDA y señal adquirida en una medida acústica sobre una unidad de buena calidad interna (derecha).**

produjeron los obtenidos con el dispositivo de sobremesa en campañas anteriores. En la figura 1 se muestran los valores medios de la variable acústica mencionada anteriormente para cada uno de los grupos de calidad interna. Los problemas de ahuecado y agrietado se diferencian claramente, mientras que el grupo de sandías afectadas por golpes en la pulpa y sobremadurez presentan una gran variabilidad que puede inducir a la no detección de algunas de las unidades afectadas por estos problemas. No

hay diferencias significativas entre las unidades vegetales afectadas de inmadurez o con nódulos en la pulpa y las unidades de calidad óptima, lo que representa el principal inconveniente en la implementación de este procedimiento para la clasificación de sandías en instalaciones productivas y comerciales.

No se observaron distorsiones en las señales acústicas debidas al ruido existente en las plantas de manipulación de sandías. A pesar de que los resultados obtenidos con este dispositivo son positivos para la industria, el prototipo no es aceptable para el sector dado su elevado precio de adquisición al incorporar un micrófono de altas prestaciones.

Así, en las siguientes fases del trabajo se introdujo un cambio adicional: el micrófono y sus elementos acondicio-

nadores fueron sustituidos por un micrófono sin preamplificador, con alimentación interna y con menor sensibilidad a bajas frecuencias. Se han realizado las adaptaciones de los programas exigidas por esta nueva configuración. Esta segunda versión del dispositivo portátil se ha probado en laboratorio con lotes más reducidos, utilizando simultáneamente el dispositivo de sobremesa para realizar una comparación de los resultados obtenidos por ambos. Tras el análisis de los resultados de este ensayo de laboratorio, el equipo se ha probado en un ensayo en almacén (*site acceptance test*) en 236 unidades. Estos ensayos se han realizado en las condiciones de trabajo habituales en almacén por técnicos de calidad en las cooperativas, comprobando el funcionamiento del dispositivo eva-

luando visualmente la pulpa de las unidades ensayadas.

La resolución en frecuencias de los espectros obtenidos con este segundo dispositivo portátil es de 15 Hz, frente a los 9,76 Hz que separan dos puntos consecutivos en los espectros del equipo de sobremesa. Esto es debido a que la respuesta vibratoria que se almacena, y a la que se aplica el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier es de menor duración (1.000 puntos en lugar de lo 3.000 registrados en los dispositivos iniciales). Se trata con ello de disminuir el tiempo de computación del espectro y la cantidad de memoria ocupada en la PDA ya que la rapidez de la ejecución de la rutina de adquisición y análisis de señal se ralentiza en los dispositivos portátiles a medida que aumenta la información almacenada en los mismos. Se comprobó la influencia de la diferencia en resolución de los espectros sobre los valores de los parámetros acústicos.

Además, los espectros obtenidos con este dispositivo portátil en los ensayos en laboratorio presentaron un pico resonante en frecuencias inferiores a 50 Hz, normalmente a 15 Hz achacable a ruido eléctrico (figura 2), que en algunas frutas, es de mayor amplitud que el pico resonante de interés (situado entre 100 y 250 Hz), lo que introduce errores al aplicar el algoritmo de decisión desarrollado para el dispositivo de sobremesa. Se observa también menor definición de los picos, lo que se atribuye a la menor sensibilidad del nuevo micrófono a bajas frecuencias y a la menor resolución del espectro computado.

Se estableció un filtro paso alto en el sistema para evitar las distorsiones que la frecuencia resonante a 15 Hz introducía en el algoritmo de decisión. Tras esta modifica-

**Cuadro 1:**  
**Porcentajes de acierto en la clasificación de sandías según su estado de calidad interno aplicando los parámetros acústicos obtenidos del ensayo con el dispositivo portátil en almacén de confección**

Estado de calidad interna	% de unidades bien clasificadas
Óptima	90
Ahuecadas y agrietadas	93
Magulladas	60
Inmaduras	11
Sobremaduras	sin representación en la muestra

ción el resultado de la detección automática de la frecuencia resonante de interés en ambos equipos es coincidente. No se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los parámetros acústicos extraídos por ambos dispositivos ni en el nivel de aciertos en la clasificación en el lote de 46 san-

días. La repetibilidad del parámetro BM85-160N es de 1,92 unidades para el equipo de sobremesa y 1,89 para el equipo portátil v.2, sin diferencias significativas. Estos resultados fueron considerados por la empresa positivos y el coste de este dispositivo portátil aceptable.

Los ensayos llevados a cabo en cooperativa (site acceptance test) han mostrado los porcentajes de unidades bien clasificados que se recogen en el cuadro 1 (datos elaborados por los técnicos de calidad en cooperativa), poco discrepantes con los obtenidos previamente por los investigadores del grupo en laboratorio o en almacén.

**Conclusiones**

El sensor acústico portátil desarrollado puede aplicarse en cualquier punto del proceso de confección de la sandía para la eliminación de las unidades no aptas para comercialización por un solo operario; se trata de un equipo con un coste de fabricación asequible. El equipo determina en tiempo real el estado de calidad del fruto. Su aplicabilidad

en las condiciones reales de trabajo está siendo probada por técnicos de calidad en las cooperativas potencialmente usuarias de este equipo.

**Bibliografía**

- B. De Ketelaere, M. Scott Howarth, L. Crezee, J. Lammertyn, K. Viaene, I. Bulens, J. De Baerdemaeker, (2006) *Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques. Postharvest Biology and Technology*, Vol. 41(3), 275-284.
- B. Diezma-Iglesias, M. Ruiz-Altisent, P. Barreiro, (2004) *Detection of internal quality in seedless watermelon by acoustic impulse response. Biosystems Engineering*, Vol. 88(2), 221-230

**Para saber más...**

- El artículo completo se encuentra en: [www.horticom.com?69773](http://www.horticom.com?69773)



**Hydro PC,**  
*la excelencia en  
 goteros integrados*

Le presentamos el Hydro PC, gotero de última generación, autocompensante con opción antidrenante y ahora en tubería de 12 mm.

Su tecnología de vanguardia y los exigentes controles de calidad a los que es sometido, hacen de HydroPC el referente mundial en goteros integrados.

BRIGHT IRRIGATION  
**riego inteligente**



Pasaje de Arrahona, 8-10 • 08210 Barberá del Vallés • Barcelona • Spain  
 Tel.: (+34) 937 294 447 • Fax: (+34) 937 292 689  
 Delegaciones: Barcelona, La Mancha, Madrid, Sevilla y Valencia  
[plastroiberica@plastro.com.es](mailto:plastroiberica@plastro.com.es) • [www.plastro.es](http://www.plastro.es)