

Medida no destructiva de la firmeza en melocotón para laboratorios de calidad

Se han evaluado dos nuevos dispositivos de fabricación nacional para su futuro desarrollo comercial

Constantino Valero Ubierna¹, Belén Diezma Iglesias¹,
Fco. Javier García-Ramos², Margarita Ruiz-Altisent¹

¹ LPF-TAG. Universidad Politécnica de Madrid. constantino.valero@upm.es

² Escuela Politécnica Superior de Huesca.

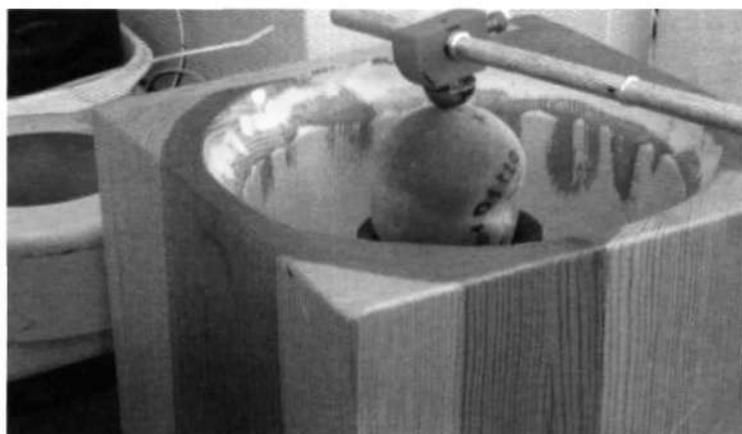
La medida de firmeza en fruta fresca es un parámetro de calidad clave tanto para el consumidor como para las empresas comercializadoras. Al primero, la estimación de firmeza le orienta sobre la madurez del producto. A la segunda, el conocimiento de la firmeza de los frutos le permite estimar su vida en estantería y, por lo tanto, una adecuada planificación de su comercialización (tiempos de transporte y almacenamiento). El objetivo del trabajo es comparar la posibilidad de aplicar de dos sensores (uno acústico y otro de impacto) para la estimación de firmeza en melocotón, considerando diferentes periodos de almacenamiento del producto.

En la actualidad existen equipos comerciales capaces de medir la firmeza de la fruta de forma no destructiva y en línea, basados en diferentes técnicas: sensores ópticos, acústicos y de impacto. La introducción de estas tecnologías en las centrales hortofrutícolas está siendo lenta puesto que, en muchos casos, los equipos son caros, necesitan calibraciones específicas y existe una cierta incertidumbre sobre su operatividad real. Sin embargo, estos equipos irán ganando terreno poco a poco, a medida que las grandes plataformas comerciales exijan a los productores la cuantificación de la calidad de la fruta mediante parámetros específicos, adicionales a los ya exigidos de peso y diámetro.

Desde hace varios años se han desarrollado equipos basados en la técnica de impacto y en la técnica acústica para la medida de firmeza en fruta. En este artículo se han analizado estas dos tecnologías mediante la utilización de dos prototipos desarrollados en el Laboratorio de Propiedades Físicas y Técnicas Avanzadas en Agroalimentación de la Universidad Politécnica de Madrid, uno basado en impacto de baja energía, LPF-Lateral Impact Sensor 2.0, y otro basado en propiedades acústicas, LPF-Acoustic Device.



Equipo de medida de firmeza mediante impacto.



Equipo de medidas de firmeza mediante propiedades acústicas.

► Nuevos equipos de medida de la calidad interna

El sensor de impacto lateral (LPF-Lateral Impact Sensor 2.0) consiste en un brazo giratorio equipado con una cabeza semiesférica rígida de material

plástico de 10 g de masa. Un sistema muelle-electroimán dispara el brazo posibilitando el impacto entre la cabeza semiesférica y el fruto. En la parte posterior de la cabeza impactante se aloja un pequeño acelerómetro que registra la aceleración del brazo en cada impacto. Cuando la masa impactante entra en contacto con

la muestra, la señal del acelerómetro es enviada al ordenador y se extrae el índice de firmeza, basado en la aceleración máxima y el tiempo de impacto (duración del impacto).

El elemento principal del sistema de ensayos acústico (LPF-Acoustic Device) es un micrófono. Un programa específico muestra en tiempo real en el ordenador la curva intensidad-tiempo correspondiente a cada sonido y permite su grabación. A partir del espectro se definen diversos parámetros que tratan de relacionarse con la firmeza, resultando un índice final de firmeza.

Comparación con medidas tradicionales

Para caracterizar la firmeza de los melocotones, después de medir con ambos equipos no destructivos, se realizó una penetración estándar (ensayo de penetración Magness-Taylor con vástago de 8 mm de diámetro) con un texturómetro Texture Analyser XT2 (Stable Micro Systems). Se registró la fuerza máxima (fuerza M-T, N) y pendiente de la curva fuerza-deformación (pendiente M-T, N/mm).

Además, cada fruta intacta ha sido sometida a un ensayo de "compresión con bola" (CB) que se asemeja a la realizada por los dedos al comprimir un fruto: con una semiesfera se aplica una deformación de 2 mm a una velocidad de 20 mm/min. Los parámetros estudiados de este ensayo son: fuerza máxima (fuerza CB, N), energía absorbida durante el ciclo carga-descarga (energía abs. CB, Nmm), energía devuelta (energía dev. CB, Nmm) e índice de elasticidad (elast. CB, %; proporción de la deformación recuperada en relación a la deformación total).

Material ensayado

Se han analizado un total de 240 melocotones, 120 de la variedad Rich Lady y 120 de la variedad Caterina. Los 120 melocotones de cada variedad se han dividido en dos lotes de 60 frutos. Uno de los lotes se almacenó en cámara frigorífica a 10°C durante

DESDE HACE VARIOS AÑOS SE HAN DESARROLLADO EQUIPOS BASADOS EN LA TÉCNICA DE IMPACTO

y en la técnica acústica para la medida de firmeza en fruta. En este artículo se han analizado estas dos tecnologías mediante la utilización de dos prototipos.

diez días. El otro se almacenó durante el mismo período a 20°C.

A lo largo del tiempo de almacenamiento se realizaron los ensayos no destructivos y destructivos a dos, cuatro, seis, ocho y diez días de iniciada la conservación frigorífica. Cada día se analizaron 10 melocotones. En el momento de la recepción del producto en el laboratorio, día 1, se midieron todos los melocotones de forma no destructiva con el sensor de impacto, para tener una medida inicial común a todas las muestras que permitiera estudiar la evolución de la firmeza. En este primer día también se seleccionaron 10 melocotones, que fueron sometidos al proceso normal de medidas destructivas y no destructivas. En cada melocotón se señalaron dos zonas, la 'cara coloreada' y la 'cara no coloreada', y se hicieron tres repeticiones de cada medida en cada una de las zonas marcadas.

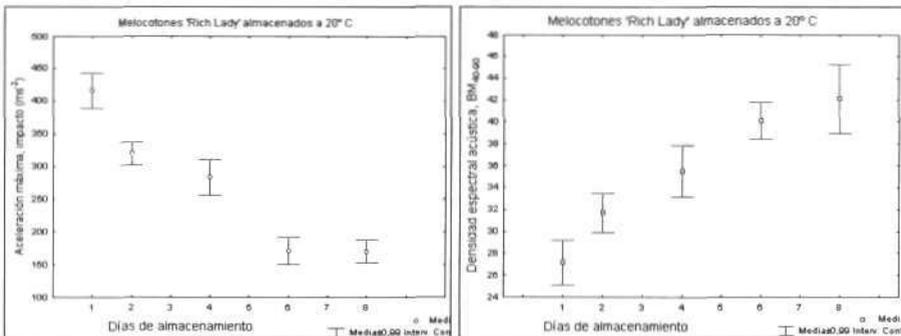
Resultados

Ambos equipos no destructivos son útiles para realizar un seguimiento de la maduración post-cosecha de los melocotones, tal y como se observa en las gráficas de la **figura 1**. Mientras que el valor de la aceleración de impacto va disminuyendo con la firmeza, el parámetro acústico densidad espectral va aumentando.

En cuanto a la relación entre las variables de los ensayos no destructivos y los ensayos de referencia, las mayores correlacio-

Figura 1.

EVOLUCIÓN DE LA MEDIDA DE IMPACTO (A) Y ACÚSTICA A LO LARGO DEL PROCESO DE MADURACIÓN DE LAS MUESTRAS (B).



nes se producen entre la aceleración máxima de impacto, la densidad acústica BM_{40-90} y la fuerza máxima del ensayo de compresión con bola. Atendiendo al extendido ensayo de penetración Magness-Taylor, es la variable fuerza máxima la que mejor correlaciona con las variables no destructivas. En todos los casos, es la aceleración máxima de impacto la variable que muestra las mejores correlaciones con las variables de referencia para medida de la firmeza.

En un intento de mejorar la estimación de la firmeza de modo no destructivo, se generaron modelos matemáticos combinando el ensayo acús-

EL ELEMENTO PRINCIPAL DEL SISTEMA DE ENSAYOS ACÚSTICO ES UN MICRÓFONO.

Un programa específico muestra en tiempo real en el ordenador la curva intensidad-tiempo correspondiente a cada sonido y permite su grabación. A partir del espectro se definen diversos parámetros que tratan de relacionarse con la firmeza, resultando un índice final de firmeza.

tico y el ensayo de impacto. Los mejores resultados se obtuvieron con un modelo de regresión polinomial (figura 2), en el que la fuerza máxima del ensayo de compresión con bola es predicha en función de los valores de la aceleración máxima del impacto y la densidad acústica BM_{40-90} . El rango medido de la fuerza máxima en compresión fue de 2 a 26 N. El coeficiente de correlación de la regresión fue de 0,91, el coeficiente de determinación de 0,82 y el error de la estimación de +/- 2,74 N.

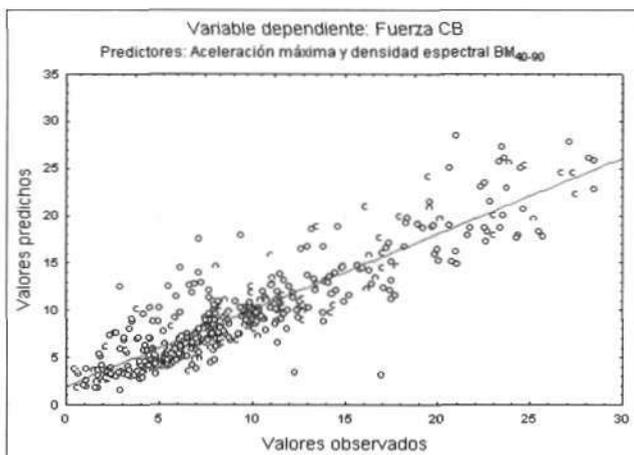
Conclusiones

Tanto el dispositivo de impacto como el dispositivo acústico mostraron por separado buenas posibilidades para la estimación no destructiva de la firmeza en melocotón. Combinando ambos dispositivos mediante modelos matemáticos, se consiguen estimaciones de la firmeza mejores.

El uso de dispositivos de este tipo en centrales de procesamiento de frutos permitiría obtener registros fiables de la firmeza de las partidas, realizar seguimientos de la maduración y reducir los costes e imprecisiones asociados a los métodos de medida destructivos tradicionales.

Figura 2.

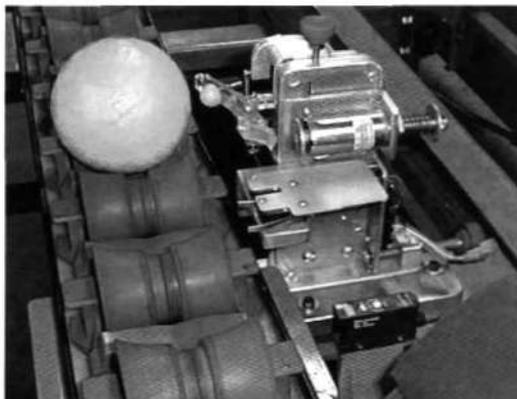
VALORES OBSERVADOS DE FIRMEZA VS. VALORES PREDICHOS DE LA FUERZA MÁXIMA EN EL ENSAYO DE COMPRESIÓN CON ESFERA. MODELO DE REGRESIÓN POLINÓMICA CON LA MÁXIMA ACCELERACIÓN DE IMPACTO Y LA DENSIDAD ESPECTRAL BM_{40-90} COMO VARIABLES PREDICTIVAS.



Cuadro I.

Coefficientes de correlación entre las variables de firmeza destructivas y no destructivas ($p < 0,05$).

	Dens. Ac. BM_{40-90}	Acel. máx. impacto	Fuerza CB	Elast. CB	Área abs. CB	Área dev. CB	Pdte. M-T	Fuerza M-T
Densidad acústica BM_{40-90}	1,00	-0,76	-0,71	-0,17	-0,32	-0,56	-0,44	-0,60
Aceleración máxima de impacto		1,00	0,87	0,40	0,38	0,68	0,58	0,70
Fuerza CB			1,00	0,58	0,57	0,88	0,69	0,82
Elasticidad CB				1,00	0,18	0,47	0,51	0,56
Energía abs. CB					1,00	0,87	0,29	0,35
Energía dev. CB						1,00	0,58	0,67
Pendiente M-T							1,00	0,60
Fuerza M-T								1,00



Izquierda, muestras estudiadas de variedad Rich Lady. Dcha. Impactador montado en línea de calibración.