

DETECCIÓN DEL AHUECADO INTERNO EN SANDÍA SIN SEMILLAS USANDO MÉTODOS ACÚSTICOS

Diezma Iglesias, B.; Ruiz-Altisent, M.; Orihuel Iranzo, B*.

Laboratorio de Propiedades Físicas. Dpto. Ingeniería Rural. E.T.S.I.Agrónomos. U.P.M.
Avda. Complutense s/n. 28040 Madrid. * Anecoop S. Coop. Monforte 1, Entlo. 46010
Valencia

e-mail: bdiezma@iru.etsia.upm.es

Sonic techniques for detecting hollow heart in seedless watermelon

Hollow heart is a problem quite specific to seedless watermelon, affecting to all varieties. Percentage of fruits affected range from nil to up to more than 50% of the fruits. The acoustic impulse response of 158 watermelons was measured using a prepolarized free-field microphone. After carrying out a fast Fourier transformation on the time signal of the generated sound several acoustic parameters were evaluated. Values of spectral density were significantly different between 'good watermelons' and 'hollow heart watermelons'.

Palabras clave: acoustic, nondestructive methods, internal disorder/ sonido, métodos no destructivos, desórdenes internos

1. Introducción

En las variedades de sandías sin semillas aparece agravado un problema que tiene poca incidencia en la sandía tradicional: el ahuecado y/o agrietado interno. La pulpa de la sandía ahuecada no tiene la frescura y calidad organoléptica de la sandía buena sin ahuecamientos. En la actualidad el único método del que se dispone para la detección de la sandía ahuecada es la inspección realizada por los expertos, quienes manifiestan que la forma más eficaz para la identificación de sandías con problemas de calidad interna es golpear el fruto y atender al sonido que se produce. Pero el procedimiento está sometido a la subjetividad del técnico, quien en algunas partidas necesita un pequeño adiestramiento previo para la identificación del problema del ahuecado/agrietado. Además, resulta inviable golpear manualmente todas las unidades que pasan por una línea de confección y envasado, por lo que al final del proceso el porcentaje de sandía hueca en destino es incontrolable y preocupante, puesto que puede exceder las normas de calidad del producto.

Las propiedades acústicas de algunos productos agrícolas han sido estudiadas con el objeto de relacionarlas con la firmeza y/o el estado de calidad interna de los mismos. Para producir la excitación vibratoria del producto frecuentemente se ha utilizado un impacto mecánico controlado (Armstrong, Stone, and Bruswitz 1997),(Farabee and Stone 1991). Los elementos sensores que recogen la vibración difieren de unos trabajos a otros, estando constituidos por instrumentos piezoeléctricos (Stone M.L. et al. 1996), o por micrófonos de diferentes características según las aplicaciones (De Belie et al. 2000).

En este artículo se exponen los trabajos realizados hasta el momento y encaminados al diseño y desarrollo de un dispositivo no destructivo basado en las características de transmisión de sonido, que permita la identificación de sandías con ahuecado y/o agrietado interno.

2. Materiales y métodos

El elemento fundamental del dispositivo de adquisición de la señal acústica es un micrófono prepolarizado ½" de campo libre (Brüel and Kjaer, modelo Falcon) con un rango de frecuencias de 6.3 Hz a 20 kHz y una sensibilidad de 50 mV/Pa. Un preamplificador para la adaptación de impedancias une el micrófono con el acondicionador de señal. El acondicionador microfónico NEXUS (B&K) permite la comunicación entre el transductor y la tarjeta de adquisición de datos y proporciona gran versatilidad en el tratamiento de la señal. Las amplias posibilidades que brinda este acondicionador de señal han permitido realizar ensayos con diferentes filtros (filtros paso banda) y ganancias.

El almacenamiento de datos utiliza una tarjeta de adquisición Computer Boards CIO-DAS08 que reúne las siguientes características: 12 bits de resolución, 40 kHz de frecuencia de muestreo, ± 10 V de rango de tensión, 8 entradas analógicas y 24 conexiones entrada /salida digitales. La interfaz que permite la grabación de los puntos que definen cada impacto es un programa escrito en C++. Este programa de fácil manejo para el usuario, muestra la curva "tiempo vs. intensidad" correspondiente a cada sonido registrado, permite la configuración de algunos parámetros (umbral de sensibilidad, número de puntos a registrar...) y guarda cada señal en un archivo predeterminado de extensión *.ssn*.

Con el fin de obtener una secuencia en el dominio de la frecuencia aplicamos la transformada rápida de Fourier (fft) a la secuencia en el tiempo correspondiente a cada uno de los impactos. La fft efectúa la relación entre N términos de una secuencia en el dominio del tiempo y N términos de otra en el dominio de la frecuencia. Un pequeño macro escrito en Matlab aplica el algoritmo de la fft a cada archivo *.ssn* y extrae una serie de parámetros de la curva "frecuencia vs. intensidad": valor de la máxima intensidad, frecuencia en la que se da la máxima intensidad y diferentes "densidades espectrales".

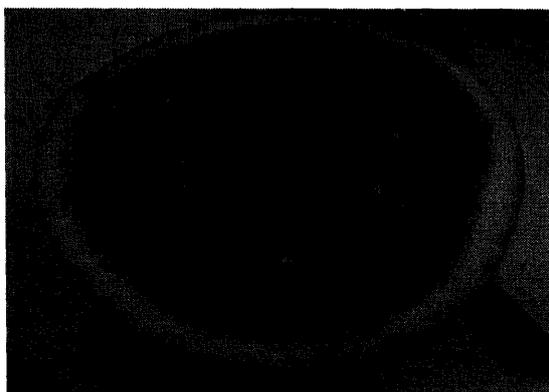
La obtención de la transformada de Fourier normalizada es frecuentemente citada en la literatura; el macro mencionado anteriormente también normaliza el espectro y nos devuelve un espectro cuyos valores de intensidad están comprendidos entre 0 y 1: la frecuencia de máxima intensidad ($f_{m\acute{a}x}$) tiene una intensidad igual a 1 en la curva normalizada, y el resto de las frecuencias (f_i) tienen una intensidad igual al resultado de la expresión " $\text{intensidad } f_{m\acute{a}x} / \text{intensidad } f_i$ ". De la curva normalizada extraemos idénticos parámetros "densidades espectrales," a efectos de nomenclatura añadimos a éstos el sufijo N (normalizados).

A lo largo de los ensayos con material vegetal se han utilizado 2 tipos de soportes para la sujeción de las sandías y otros tantos tipos de alojamientos para el micrófono. Los

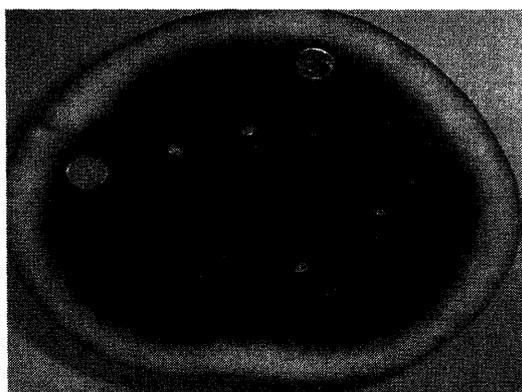
resultados obtenidos con el primero de los soportes (cilindro de material plástico rígido con material de recubrimiento en el borde para no dañar la sandía) no dio ningún resultado satisfactorio, por lo que se optó por un soporte de madera con un orificio encasquillado que permite la guía y sujeción del micrófono y su cable. La solución final incluye el soporte de madera.

El método generador de la excitación acústica consiste en un dispositivo pendular al que pueden acoplarse cabezas semiesféricas de diferentes masas, lo que ha permitido encontrar el impacto que produce una energía adecuada para excitar acústicamente las sandías sin producir saturación de señal en los equipos de adquisición de la misma.

Durante la campaña 2000 un total de 158 sandías procedentes de las provincias de Valencia y Almería fueron ensayadas utilizando todos los elementos descritos anteriormente. La elección de muestras en los puntos de recepción de material en cooperativa fue llevada a cabo por técnicos expertos, que trataron de seleccionar la mitad de las unidades con problemas de calidad interna y la otra mitad con calidad óptima para el consumo. Las dificultades de conocer el estado interno de la sandía hace que en ocasiones los envíos estuvieran desequilibrados en uno o en otro sentido y que aparecieran otros problemas de calidad interna como inmadurez, sobremadurez...; se analizaron 105 sandías “buenas” y 53 sandías “huecas”, con un amplio rango de volumen de hueco (5 – 1400 ml de agua)



Sandía de buena calidad interna



Sandía ahuecada

Los ensayos acústicos se llevaron a cabo colocando cada una de las sandías sobre el soporte de madera que brindó puntos de apoyo para la estabilidad de la fruta. Se fijaron dos puntos de impacto en cada sandía a lo largo de la línea ecuatorial separados entre sí un ángulo de 90°; en cada uno de los puntos se realizaron 9 repeticiones (9 impactos) agrupados en 3 colocaciones diferentes.

La clasificación de sandías en dos categorías, “buenas” y “huecas”, se llevó a cabo al cortar las sandías diametralmente y constatar la presencia o no de huecos y/o grietas. Rellenando cada hueco con agua se determinó el volumen de ahuecado de las unidades que presentaban esta disfunción.

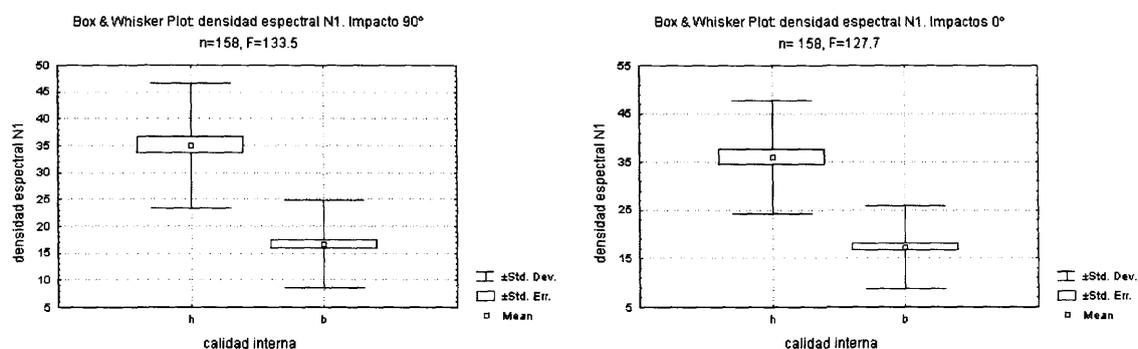
Otras medidas se realizaron para caracterizar cada una de las sandías analizadas: determinación de pesos, diámetros máximo y mínimo y longitud flor-pedúnculo, con estas medidas podemos tener una mínima caracterización de la forma y el volumen;

realización de ensayos en agua, “drop-test”, en los que se caracteriza el movimiento de la sandía en un volumen determinado para obtener parámetros que puedan relacionarse con su densidad (velocidad de ascenso, volumen de agua desplazado...); caracterización de la corteza, para lo cual se realiza un ensayo de compresión con bola en una zona de la corteza próxima al punto donde se dan los impactos en el ensayo acústico, empleando para ello una máquina universal de ensayos (Texture); determinación de los sólidos solubles de la pulpa mediante un refractómetro digital; caracterización del estado de calidad de la pulpa mediante un ensayo de penetración Magness-Taylor con vástago de 8 mm de diámetro.

3. Resultados y discusión

En los ensayos realizados tenemos nueve impactos por sandía y posición (0° ó 90°), para el análisis de datos se calcularon las medias de los parámetros acústicos obtenidos de cada uno de esos nueve impactos, de manera que cada unidad de fruta quedó caracterizada por un conjunto de datos correspondiente a la posición 0° y otro correspondiente a la posición 90° . Los análisis de la población se hicieron tomando separadamente los valores de 0° y los valores de 90° , los resultados son prácticamente idénticos.

Para comprobar si existían diferencias significativas entre los valores de los parámetros acústicos de las sandías huecas y de las sandías buenas se utilizó el análisis de varianza (ANOVA, $p < 0.05$). Todas las variables “densidades espectrales N_1 ” mostraron diferencias significativas entre “huecas” y “buenas”, siendo la variable “densidad espectral N_1 ” la que presentó mayor F:



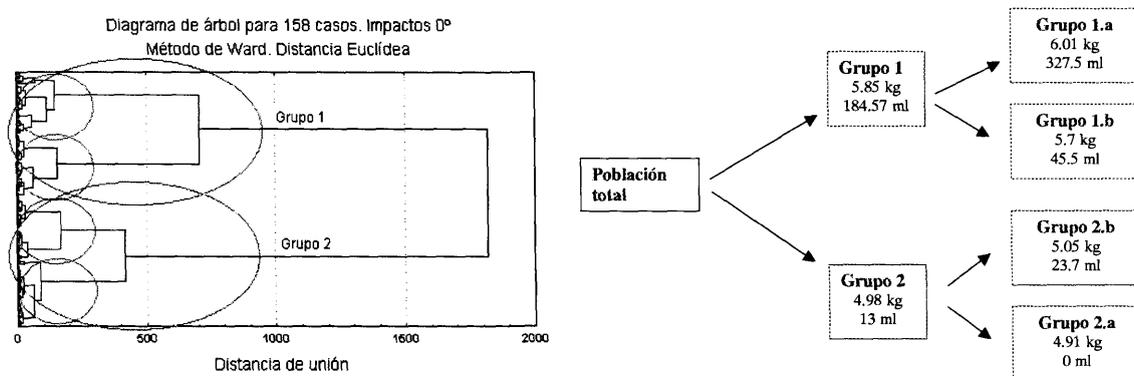
Discriminación entre sandías “h” y “b” según densidad espectral N_1 en puntos de impacto 0° *Discriminación entre sandías “h” y “b” según densidad espectral N_1 en puntos de impacto 90°*

Basándonos en los gráficos anteriores se estableció un criterio simple de separación que únicamente contenía la variable densidad espectral N_1 : se consideró que las sandías con valor de “densidad espectral N_1 ” superior a 25 habían sido clasificadas por el sistema acústico como “huecas”, y las que presentaban densidad espectral N_1 inferior a 25 como “buenas”. Con este criterio se obtuvo un 82% de bien clasificadas, con 12 sandías “huecas” clasificadas como buenas y 16 “buenas” clasificadas como “huecas”. Estudiando las características de las unidades mal clasificadas se vio que algunas de las “buenas” clasificadas como “huecas” presentaban problemas de sobremadurez, lo que podría explicar cierto porcentaje de error, más si tenemos en cuenta que los técnicos de

cooperativa en ocasiones no distinguen las sandías huecas o agrietadas de las sandías sobremaduras.

Se llevaron a cabo varios análisis discriminantes para comprobar qué variables eran seleccionadas en cada caso de entre todas las “densidades espectrales N” y cómo mejoraba el porcentaje de bien clasificadas con cada una de las funciones discriminantes. En todas las funciones discriminantes se incluía en primer término la variable “densidad espectral N_1 ”. La función discriminante obtenida al incluir los datos correspondientes a los impactos 90° del conjunto de los envíos contenía 6 “densidades espectrales N” correspondientes a diferentes zonas de la curva, y resultaba ser la que alcanzaba el mayor porcentaje de unidades bien clasificadas: 86%.

Parece evidente que los casos de sandías “huecas” clasificadas como “buenas” son, generalmente, los casos que presentaron menor volumen de hueco. Para comprobar esta suposición se realizó una clasificación no supervisada (distancia Euclídea, método de Ward), incluyendo en el análisis todas las “densidades espectrales N”. Los resultados se muestran en los dos gráficos siguientes.



Clasificación no supervisada incluyendo las variables densidades espectrales N

Medias de peso y volumen de hueco para 4 subgrupos de la clasif. no supervisada

Los grupos 2.a y 1.a son los que contienen los casos extremos de la población total, sandías sin hueco y sandías con un gran volumen de hueco respectivamente, y los que están más distanciados en el árbol de clasificación. Los grupos 2.b y 1.b son los que presentan niveles de ahuecado intermedios, siendo los que incluyen las sandías mal clasificadas según el criterio simple del valor umbral de “densidad espectral N_1 ”.

En los análisis expuestos anteriormente se consideró el total de la población (158 sandías). Los mismos análisis se realizaron para cada envío por separado, a pesar del reducido número de frutas que lo componen (de 18 a 10 unidades). De este modo se quería comprobar que pese a la heterogeneidad de las partidas, los parámetros acústicos discriminaban entre “huecas” y “buenas” en cualquiera de los lotes manejados. Sin embargo, aunque en todos los lotes se mantuvieron las tendencias en las medias de los grupos “buenas” y “huecas”, en 3 de ellos el valor umbral de “densidad espectral N_1 ” para la separación de los dos grupos de sandía variaba notablemente. Hasta el momento

no se han encontrado las fuentes causantes de estas fluctuaciones.

4. Conclusiones

La excitación acústica de sandías mediante impacto mecánico controlado puede constituir un método no destructivo útil para la determinación de la calidad interna de esta fruta, especialmente para la detección de ahuecado y/o agrietado en la pulpa. Algunos de los parámetros acústicos “densidad espectral N” son los que mejores perspectivas presentan para la separación de sandías normales y sandías afectadas por problemas internos. En este momento es necesario realizar una validación de los modelos de estimación propuestos con unos ensayos que incluyan al menos 500 sandías.

Los espectros que resultan del tratamiento de la señal en el tiempo mediante la transformada rápida de Fourier contienen información útil en las bajas frecuencias, prácticamente más allá de 500 Hz la señal se hace 0; por ello los elementos de adquisición de la señal acústica han de ser sensibles a bajas frecuencias y tener una respuesta lineal en ellas, lo que nos hace ser exigentes y restringir las posibilidades de utilización de micrófonos y acondicionadores microfónicos con una respuesta limitada en el rango de frecuencias citado. Esto constituye un inconveniente si pensamos en el diseño de un dispositivo portátil, pues los micrófonos y acondicionadores que satisfacen nuestros requerimientos tienen un volumen determinado que podría resultar excesivo en un sistema portátil para trabajo en campo.

Las variaciones en el impacto mecánico generador de la excitación acústica producen diferencias significativas en el parámetro intensidad máxima, mientras que tienen menor influencia en las “densidades espectrales N”, lo que nos brinda una ventaja para el diseño de un dispositivo portátil que requiere de un sistema impactador ligero y de menores requerimientos de control.

5. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Proyecto PETRI 95-0376-OP) y a la Comunidad Autónoma de Madrid (Beca FPI) por la financiación de este proyecto.

6. Referencias bibliográficas

1. Armstrong, P. R., M. L. Stone, and G. H. Bruswitz. 1997. Nondestructive Acoustic and Compression Measurements of Watermelon for Internal Damage Detection. *Sensors for Nondestructive Testing*.
2. De Belie, N., S. Schotte, J. Lammertyn, B. Nicolai, and J. De Baerdemaeker. 2000. Firmness Changes of Pear Fruit before and after Harvest with the Acoustic Impulse Response Technique. *Journal of Agricultural Engineer Research* 77, no. 2: 183-91.
3. Farabee, Mark L., and Marvin L Stone. 1991. Determination of Watermelon Maturity with Sonic Impulse Testing.
4. Stone M.L., Armstrong P.R., Zhang X., Bruswitz G.H., and Chen D.D. 1996. Watermelon Maturity Determination in the Field Using Acoustic Impulse Impedance Techniques. *Transactions of the ASAE* 39(6): 2325-30.