

TEST MEDIANTE ULTRASONIDOS DEL PROCESO COMPLETO DE DESHIDRATACIÓN DE LA PIEL DE LA NARANJA

PACS 43.35.Cg

Camarena Francisco; Martínez Juan Antonio; Ardid Miguel; Espinosa Víctor; Ramis Jaime; Tugores Jorge;
Escuela Politécnica Superior de Gandia
Ctra. Natzaret-Oliva s/n
46730 Grau de Gandia. Spain
Tlf: 962 849 300
FAX: 962 849 309
E-mail: fracafe@fis.upv.es

ABSTRACT

We show the study of the next magnitudes: oil glands break stress, dehydration and velocity and absorption coefficient of ultrasounds in the orange skin. This work try to find correlations between the measurements related with the ultrasonic propagation, which are easy to implement in the automatic chain, and the measurements usually done in the orange stores in order to obtain information related with its physic conditions for the storage and transport. The experimental setup is described, the measurement procedure and an evolution study of the magnitudes for 85 days using a sample of 200 oranges "Navelinas". The study shows that ultrasonic magnitudes change with the dehydration of the fruit.

RESUMEN

Se presenta el estudio de las magnitudes: tensión de rotura de las glándulas del aceite, deshidratación y velocidad de propagación y coeficiente de absorción de los ultrasonidos en la piel de la naranja. El objetivo del trabajo es encontrar correlaciones entre las medidas relacionadas con técnicas de ultrasonidos, siempre más limpias y fáciles de automatizar, y las magnitudes habitualmente medidas en los almacenes de naranja para obtener información acerca de sus condiciones físicas durante el almacenamiento y transporte. Se describe el dispositivo experimental utilizado, el procedimiento de medida y un estudio evolutivo de las magnitudes a estudio durante 85 días utilizando una muestra de 200 naranjas de la clase *Navelina*. El estudio demuestra que las magnitudes ultrasónicas son sensibles a los cambios producidos por la deshidratación en la fruta.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mercado citrícola se caracteriza porque las muestras vegetales se almacenan durante largos periodos de tiempo en cámaras y posteriormente deben ser transportadas hasta su lugar de venta. Para conocer el estado en que se encuentra la fruta se han utilizado normalmente técnicas destructivas y lentas (fundamentalmente penetrometría) [1]. El objetivo final de nuestro trabajo pretende ver la posibilidad de sustituir estas medidas por otras de naturaleza ultrasónica (no destructivas y de fácil automatización). En esta comunicación, continuación de un trabajo previo [2], profundizamos en el estudio de la

caracterización de las propiedades ultrasónicas de la piel de la naranja y su correlación con las variables que normalmente se utilizan para caracterizar el estado y calidad de las mismas. Este paso es muy importante para el diseño optimizado de un método ultrasónico no destructivo de caracterización de las naranjas.

Para la medida del coeficiente de absorción y de la velocidad de propagación de los ultrasonidos a través de la corteza de la naranja se ha recurrido al método de onda continua [3]. El método consiste en la emisión de una onda harmónica mediante un transductor acoplado a la corteza y la recepción de la onda que ha sido transmitida. La diferencia de amplitudes nos permite obtener el coeficiente de absorción, mientras que el desfase entre las señales y el espesor de la corteza nos facilitan el valor de la velocidad de propagación.

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Para la realización de la experiencia se dispuso de los siguientes instrumentos:

1. Generador de funciones Sony AFG320.
2. Amplificador de potencia ENI 240L.
3. Dos transductores con resonancia a dos frecuencias: 50 y 200 kHz.
4. Osciloscopio Tektronik TDS 3014.
5. Cables y resistencias
6. Peso, higrómetro, termómetro y pie de rey.
7. Soporte de madera para los transductores y la naranja.

En la figura 1 se muestra el diagrama del dispositivo experimental utilizado y en la figura 2 se puede observar el aspecto final del montaje.

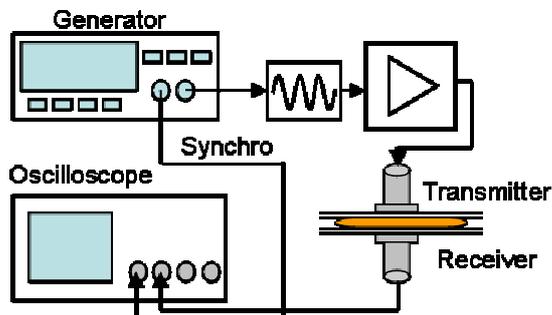


Figura 1: Conexión entre los equipos



Figura 2: Imagen del montaje experimental.

Los transductores han sido acoplados a unas tablas de madera para conseguir que el acoplamiento con la muestra sea más sólido y fiable, tal como se muestra en la figura 2. Los transductores utilizan como material activo el titanato de bario y presentan dos frecuencias de resonancia porque vibran de dos formas distintas: radialmente y longitudinalmente.

3. MEDIDAS Y RESULTADOS

Las medidas se han realizado sobre 200 naranjas de la variedad Navelina con un estado de madurez y un calibre similares, que no fueran defectuosas o tuvieran desperfectos, y que además hubieran sufrido las mismas inclemencias climatológicas. Las naranjas no fueron tratadas con ningún tipo de ceras y fueron conservadas en el mismo laboratorio durante los 85 días que duró el estudio. La temperatura ambiente siempre estuvo comprendida entre 20° C y 23° C, y la humedad relativa entre el 48% y el 52%. Todas las naranjas fueron numeradas, pesadas y calibradas, tomando un valor de masa y tres valores del diámetro en cada una de ellas. La figura 5 muestra los histogramas de la distribución de la masa y del diámetro medio de las naranjas que fueron empleadas en el estudio de deshidratación:

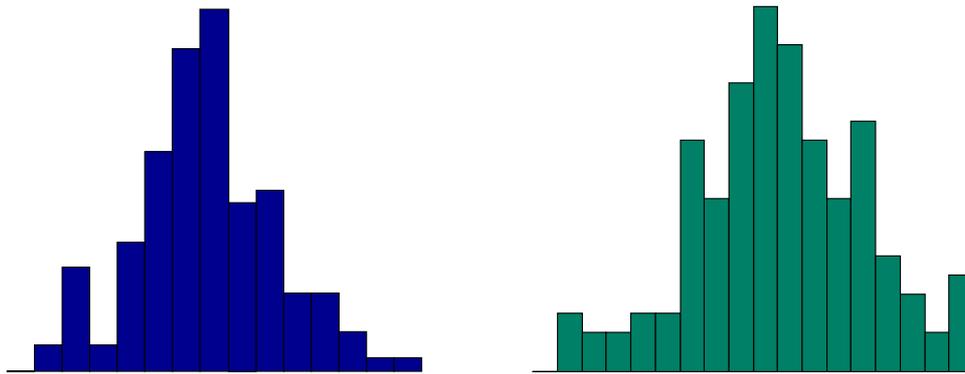


Figura 5: Distribución de las naranjas empleadas en función de su masa (g) y del calibre (cm).

El valor promedio de la masa de las 136 naranjas empleadas en el proyecto es de 187 ± 25 g, mientras que el del calibre es de $7,3 \pm 0,4$ centímetros.

Las magnitudes medidas en el estudio fueron:

1. peso de la naranja
2. penetrometría
3. espesor de la muestra de piel
4. tensión en bornes del receptor
5. desfase temporal

Las medidas de amplitud y desfase de la onda se realizaron cortando un trozo de la piel de la naranja. Para cada naranja se cortaron dos piezas circulares de piel de unos 2.5 cm de diámetro. Se realizaron tres medidas con el flavedo hacia arriba, rotando la pieza 180° cada vez. A continuación se repitieron las tres medidas con el flavedo hacia abajo y se promediaron los valores obtenidos. Las medidas diarias se realizaron sobre muestras de 10 naranjas en las mismas condiciones de evolución, asignando los errores a la desviación típica de los resultados.

Tanto la medida de la presión de rotura de la glándula del aceite como las medidas de magnitudes ultrasónicas implican que el método propuesto sea destructivo, es decir que las naranjas, una vez medidas, no pueden volver a ser utilizadas. El siguiente objetivo del estudio consistirá en el diseño de un procedimiento no destructivo.

Estas magnitudes fueron medidas para estudiar los siguientes parámetros:

- a. Deshidratación de la naranja: para su cálculo se pesaron las naranjas y se midió su calibre el día siguiente a su recolección y posteriormente, pasado el periodo de evolución. Los resultados se presentan como pérdida de peso por unidad de superficie según la expresión:

$$(1) \quad \text{Deshidratación} = \frac{P_{\text{Inicial}} - P_{\text{final}}}{\text{Superficie}}$$

- b. Punto de rotura de la glándula de aceite (firmeza): se realizó aplicando una presión creciente sobre papel vegetal en contacto con la piel de la naranja mediante un penetrómetro, registrándose el valor de la presión en el momento en que éste comenzaba a humedecerse.

- c. Coeficiente de absorción: se calculó a partir de la expresión

$$(2) \quad \alpha = \frac{-1}{x} 20 \log_{10} \frac{V}{V_0},$$

donde x es el espesor de la piel y α el coeficiente de absorción en decibelios/metro.

- d. Velocidad de propagación: para ello se utilizó el desfase temporal existente entre la onda incidente y la onda que atravesaba la piel de la naranja. Este desfase era producido por el retardo que sufría la onda al atravesar la piel, de forma que conocido su espesor es inmediato obtener el valor de la velocidad a partir de la expresión 3

$$(3) \quad c = \frac{d}{\Delta t}$$

siendo c la velocidad de propagación de los ultrasonidos en la piel de la naranja y Δt el intervalo temporal entre la onda incidente y recibida.

En el experimento hay 14 días de medida, en cada día de medida se toman 10 naranjas y se miden las magnitudes antes citadas. A continuación se representa la evolución temporal de los diferentes parámetros:

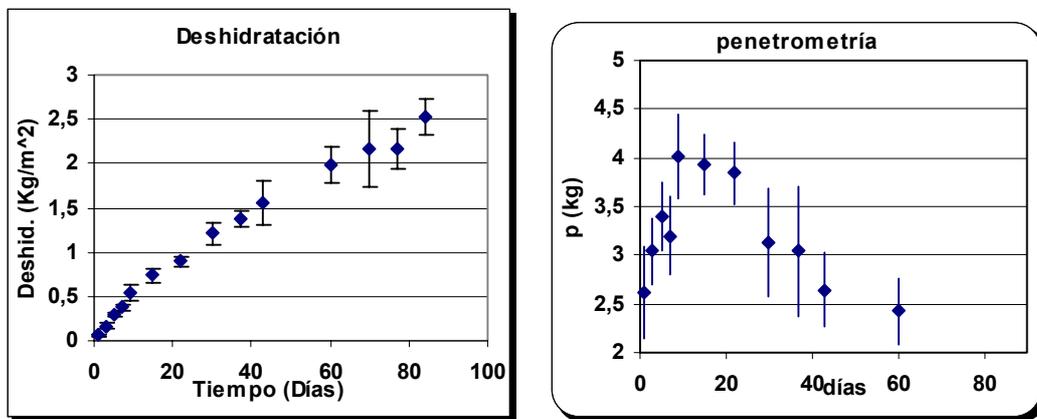


Figura 6: Evolución temporal de la deshidratación y de la rigidez de las naranjas.

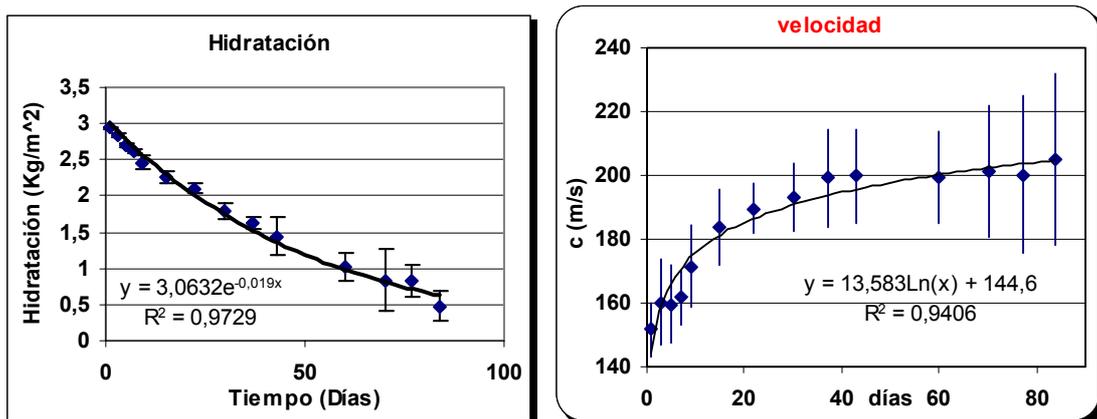


Figura 7: Evolución temporal de la hidratación y de la velocidad de propagación de las naranjas. Se incluye el resultado de los ajustes de los datos a una función exponencial y logarítmica, respectivamente.

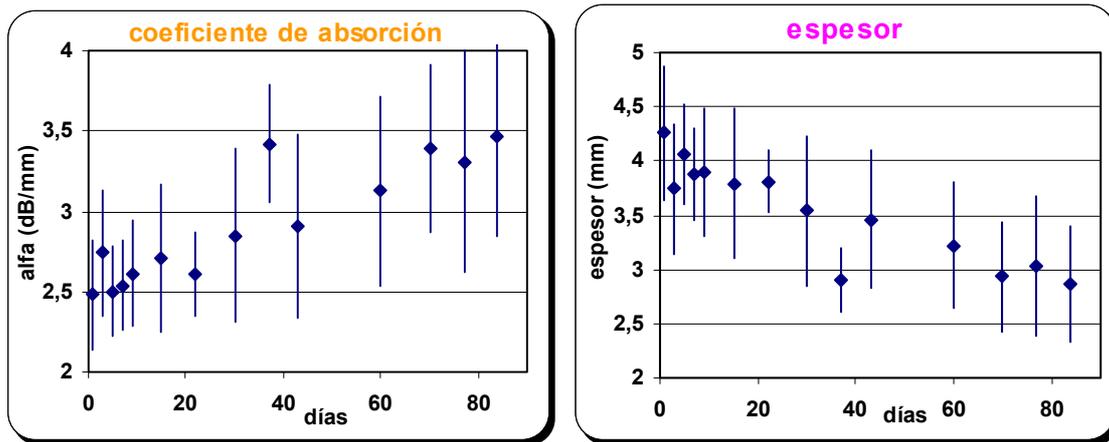


Figura 8: Evolución temporal del coeficiente de absorción y del espesor de la piel de las naranjas.

Respecto a las figuras 6-8 queremos resaltar los siguientes aspectos:

- La hidratación se ha tomado suponiendo un valor de 3 kg/m^2 en el instante inicial y restándole el valor de la deshidratación. Vemos que la evolución temporal de este parámetro se puede explicar bastante bien considerando que decae de forma exponencial.
- En la penetrometría, que nos indica la firmeza de la naranja, se observa dos regiones claramente diferenciadas. La primera durante los primeros quince días, donde la presión ejercida para romper la glándula tiene una clara tendencia creciente y una segunda región en donde se empieza a romper con menor presión debido a que el mecanismo de rotura ha variado considerablemente.
- La velocidad de propagación de la onda ultrasónica tiene un comportamiento bastante claro y se puede describir mediante una función logarítmica con aceptable exactitud.
- Por último, tanto el espesor como el coeficiente de absorción presentan tendencias bastante claras, aunque con unos errores estadísticos muy grandes. Para que el coeficiente de absorción pudiera ser utilizado en la caracterización de la naranja, se tendría que profundizar en la optimización del proceso de medida. Aún así, este resultado parece prometedor de cara al objetivo final de realizar un test no destructivo, ya que en dicho test no se requeriría medir el espesor de la naranja y, por tanto, la incertidumbre asociada a éste no intervendría.

Tras observar que realmente hay una evolución temporal en los diferentes parámetros que pueden caracterizar la calidad de la naranja, vamos a proceder a observar las correlaciones entre los diferentes parámetros, centrándonos principalmente en la correlación entre parámetros acústicos y aquellos no acústicos que se suelen utilizar normalmente. Por su menor error relativo y por la validez de los datos durante todo el rango temporal, nos interesará especialmente la correlación de la deshidratación con la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas.

En la figura 9 se presenta la correlación entre los parámetros deshidratación y velocidad ultrasónica. A partir de dicha gráfica y del ajuste logarítmico presentado podemos concluir que sustituir las medidas de deshidratación por medidas de velocidad de la onda ultrasónica es viable. Además la incertidumbre que presenta este método es suficientemente baja para ver las tendencias temporales de forma clara. Para corroborar estas afirmaciones presentamos en la gráfica 10 la comparación de la deshidratación por medida directa a partir del peso y calibre de las naranjas con la medida que obtendríamos a partir de los valores de la velocidad de los ultrasonidos medidos en la piel de la naranja. A partir de dicha gráfica y del análisis de los datos se puede concluir que los valores no difieren significativamente. Cabe resaltar que las barras de error no se han dibujado en la figura 10 para proporcionar una visión más clara, pero que si se dibujan se observa que las barras de error están entrelazadas para todos los puntos, confirmando que con la precisión actual la correlación es muy grande.

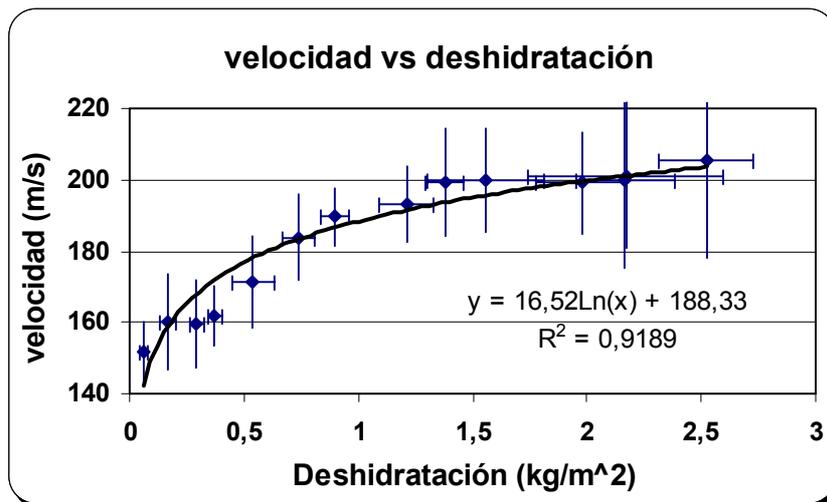


Figura 9: Correlación entre la variable velocidad y deshidratación. En primera aproximación, una función logarítmica nos podría servir para correlar ambos parámetros.

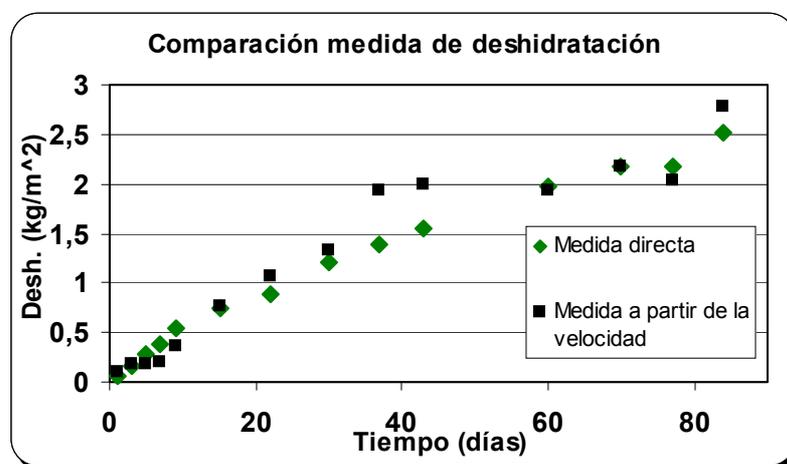


Figura 10: Comparación de la medida directa de deshidratación con la obtenida a partir de la velocidad de las ondas ultrasónicas.

4. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio de las magnitudes ultrasónicas y mecánicas que pueden servir para la caracterización de la calidad de la piel de la naranja. El estudio se ha realizado durante un periodo de 85 días, permitiendo conocer el comportamiento de la hidratación de la fruta en un rango suficientemente amplio como para conocer su grado máximo y mínimo de hidratación. Se ha comprobado la correlación existente entre los dos tipos de magnitudes medidas y la capacidad de las técnicas ultrasónicas para poder sustituir en un dispositivo no destructivo a las técnicas lentas y destructivas habitualmente utilizadas para este fin.

REFERENCIAS

- [1] Barreiro, P. & Ruiz-Altisent, M. (2000). Instrumentación de la calidad en frutas y hortalizas frescas. *Horticultura*, 8(29), 14-20.
- [2] F. Camarena, et al. Caracterización mediante ultrasonidos de la evolución temporal de las propiedades físicas de la piel de naranja. *Revista de Acústica*. Vol:34 N°:1,2. 2004.
- [3] H. Kuttruff. *Ultrasonics, fundamentals and applications*. Elsevier Applied Science (1991).