



## CARACTERIZACIÓN MEDIANTE ULTRASONIDOS DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PIEL DE NARANJA

PACS: 43.35.Cg

Camarena, Francisco; Martínez, Juan Antonio; Molins, Vicente; Ibiza, Salvador; Picó, Rubén  
Escuela Politécnica Superior de Gandia  
Ctra. Nazaret-Oliva s/n  
46730 Grau de Gandia. Valencia. España  
Tel: 962 849 300. Fax: 962 849 309  
E-mail: fracafe@fis.upv.es  
Productos Citrosol S. A.  
Partida Alameda, Parcela C  
46721 Potries. Valencia. España  
Tel: 962 800 475. Fax: 962 800 821  
E-mail: citrosol@combios.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, that are easy to do automatic, and the measurements usually done in the orange stores in order to obtain information related with the its physic conditions for the storage in refrigerator chambers. The experimental display is described, the measurement procedure and an evolution study of the four magnitudes using a sample of 130 oranges "Salustianas" conserved in two different environments (normal temperature and humidity and inside a fridge), showing that the 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 para el correcto almacenamiento en cámaras de refrigeración. Se describe el dispositivo experimental utilizado, el procedimiento de medida y un estudio evolutivo de las cuatro magnitudes a estudio utilizando una muestra de 130 naranjas de la clase *Salustianas* mantenidas en dos ambientes diferentes (temperatura y humedad ambiente y en el interior de una cámara frigorífica), demostrándose que las magnitudes ultrasónicas son sensibles a los cambios producidos por la deshidratación en la fruta.

### INTRODUCCIÓN TEÓRICA

La naranja es una fruta que pertenece a la familia de los cítricos conocida científicamente con el nombre de *Citrus Aurantium*. Posee una complicada estructura, como puede observarse en la figura 1 donde se detallan sus partes, que pueden localizarse en tres zonas básicas: Flavedo, Albedo y Endocarpo (ver figura 2).

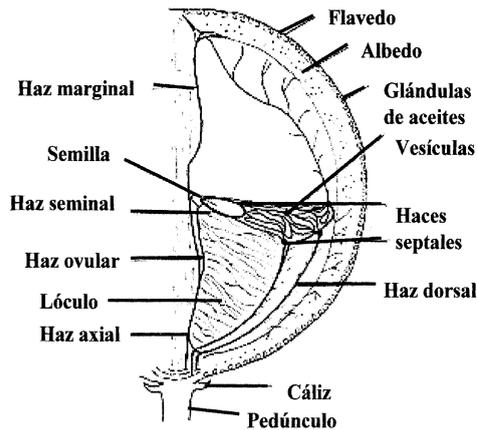


Figura 1: Partes de la naranja

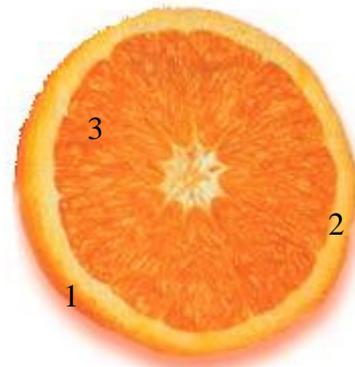


Figura2: Zona básicas de la naranja (1-Flavedo; 2-Albedo; 3-Endocarpo)

Dadas las características del mercado actual, donde la mayor parte de la cosecha debe almacenarse durante bastante tiempo en cámaras frigoríficas, así como tratarse con ceras y otros productos químicos, para posteriormente ser distribuida a puntos de venta en diferentes países, con el consiguiente periodo de transporte que esto supone, se hace necesario disponer de la mayor información posible sobre el estado de la fruta, en particular de su piel, ya que ésta permite predecir su evolución y las condiciones en las que se encontrará alcanzado su destino.

Los antecedentes sobre la determinación de las condiciones en que se encuentra la fruta vienen vinculados a medidas mecánicas y destructivas, la mayor parte de las veces, implicando un elevado consumo de tiempo por parte del operador. Algunas de estas pruebas son:

- Estudio del punto de rotura de la glándula del aceite mediante un penetrómetro.
- Estudio de la rotura total de la piel.
- Estudio de la deshidratación mediante la medida evolutiva del peso de la naranja a lo largo del tiempo.

El objetivo de estas medidas es determinar el grado de turgencia en que se encuentra la fruta, propiedad que está íntimamente relacionada con la humedad que presenta la piel. La diferencia de humedad entre el interior de la naranja y la humedad exterior del ambiente, así como la diferencia de temperaturas, implica un déficit de presión de vapor que es responsable de la pérdida de agua en la fruta, acelerando, junto con los procesos químicos que aparecen, su envejecimiento.

Sustituir estas medidas destructivas por medidas de propiedades ultrasónicas no destructivas supondría un gran avance a la hora de realizar estudios rápidos del estado de la fruta, tanto tras su recolección como en el momento de llegada a los puntos de distribución [1]. Como medidas alternativas se proponen la medida del coeficiente de absorción y la velocidad de propagación de los ultrasonidos en la piel de la naranja. La posible relación existente entre estas magnitudes y el grado de deshidratación y turgencia, determinadas mediante el uso de un penetrómetro y de la medida de la pérdida de peso de la fruta a lo largo del tiempo, está justificada por el hecho de que éstas dependen fuertemente de la proporción de agua existente en la piel.

Por otra parte, y como sucede en la mayoría de los tejidos vegetales, los ultrasonidos se ven fuertemente atenuados debido a los mecanismos propios de absorción de energía de los líquidos y sólidos, y fundamentalmente debido a que la compleja estructura de la piel produce una elevada dispersión de la onda. Las diferentes células que componen su estructura, junto con la existencia de zonas con aire en el albedo, producen cambios microscópicos en la impedancia acústica que desvían los rayos que componen nuestro haz de ultrasonidos. Por esta razón se planteó un dispositivo de emisión recepción (en este tipo de medidas las ondas sólo recorren el camino acústico una vez, en contraposición con una posible aplicación del método de eco impulso) utilizando transductores de baja frecuencia (200 kHz) y con bastante potencia.

La medida del coeficiente de absorción ( $a$ ) se realizó dividiendo la señal obtenida en el receptor cuando la onda atravesaba la piel de la naranja entre el valor que obteníamos cuando no estaba presente la piel, según puede observarse en la expresión 1.

$$a(\text{dB/m}) = -\frac{1}{d} \cdot 20 \log\left(\frac{V}{V_0}\right) \quad (1)$$

Donde  $d$  es el espesor de la piel y  $a$  el coeficiente de absorción en decibelios/metro.

Para la medida de la velocidad de propagación 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 2:

$$c = \frac{d}{\Delta t} \quad (2)$$

Siendo  $c$  la velocidad de propagación de los ultrasonidos en la piel de la naranja y  $\Delta t$  el intervalo temporal entre la onda incidente y recibida.

## DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

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

1. Generador de funciones Sony AFG320.
2. Amplificador de potencia Metric 240L.
3. Dos transductores de 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 3 se muestra el diagrama del dispositivo experimental utilizado y en la figura 4 se puede observar el aspecto final del montaje.

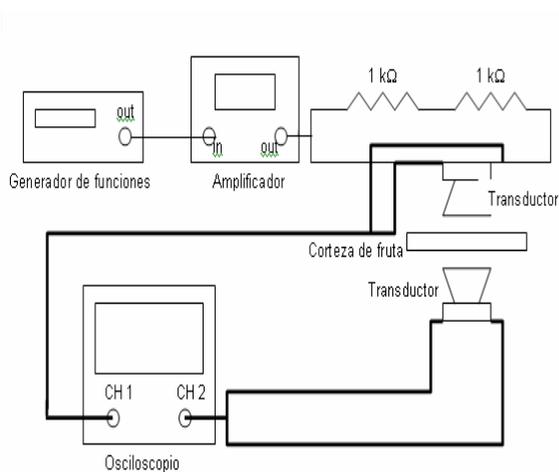


Figura 3: Conexión entre los equipos



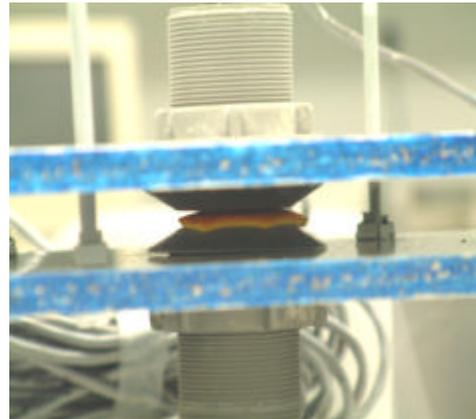
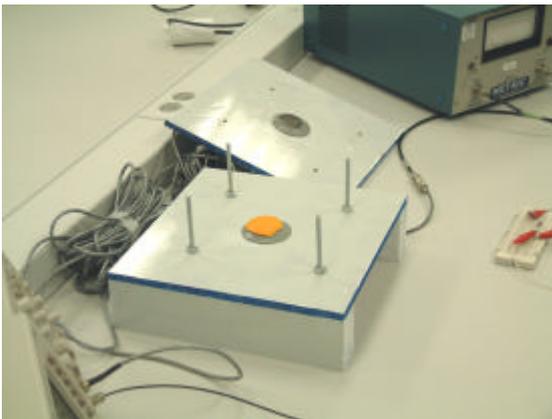
Figura 4: Imagen del montaje experimental

La figura 5 muestra el aspecto de los transductores de 200 kHz utilizados.



Figura 5: Transductores de Titanato de Bario de frecuencia de resonancia a 200 KHz

Para el correcto acoplamiento de los transductores a la piel de la naranja, se diseñó un soporte de madera sobre el que descansaban los transductores, de tal forma que el peso de la parte superior (0.77 N) fuese el que realizaba la presión de acoplamiento. Es de suma importancia que la presión que bloquea la piel de la naranja entre los dos transductores sea exactamente la misma en todas las medidas, pues de otra forma podríamos variar el espesor de la piel, afectando a los resultados de absorción y velocidad de propagación. Las siguientes figuras muestran el dispositivo ideado.



Figuras 6 y 7: Soporte y ejemplo de acoplamiento entre los transductores y la piel de la naranja

## MEDIDAS Y RESULTADOS

Las medidas se realizaron en 140 naranjas de clase *salustiana*, de las que la mitad se conservaron en nevera y la otra mitad a temperatura ambiente durante los 15 días que duró el experimento, del 24 de Marzo de 2003 al 9 de abril de 2003. Las 140 naranjas se recolectaron el día 24 de Marzo, con el fin de que todas se encontrasen en las mismas condiciones de maduración y turgencia.

Las naranjas se numeraron desde la 1 hasta la 140. De la 1 a la 70 se dejaron en condiciones ambiente, donde las variaciones de temperatura fueron desde los 15 °C a los 25 °C y la humedad cambió del 33 al 60%, y de la 71 a la 140 se introdujeron en la nevera, a una temperatura de 11 °C y con una humedad del 65% constantes.

El calendario de medidas, realizadas durante los meses de marzo y abril, se muestra en la siguiente tabla.

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
24	25	26	27	28	29	30
	10 Ambiente 10 Nevera	10 Ambiente 10 Nevera	10 Ambiente 10 Nevera	10 Ambiente 10 Nevera		
31	1	2	3	4	5	6
10 Ambiente 10 Nevera		10 Ambiente		10 Ambiente 10 Nevera		
7	8	9				
		10 Nevera				

Tabla 1: Calendario de medidas

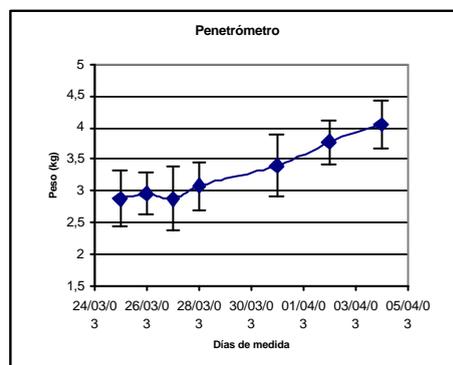
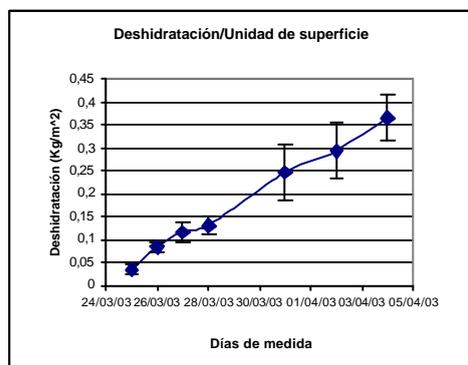
Para el cálculo de la deshidratación se pesaron las naranjas y se midió su calibre el día siguiente a su recolección y posteriormente, pasado el periodo de evolución. Los resultados se presentan como pérdida de peso por unidad de superficie según la expresión:

$$\text{Deshidratación} = \frac{P_{\text{Inicial}} - P_{\text{final}}}{\text{Superficie}} \quad (3)$$

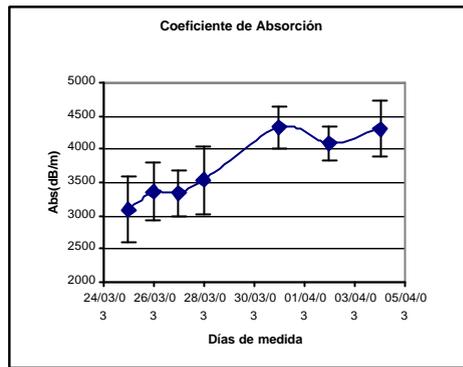
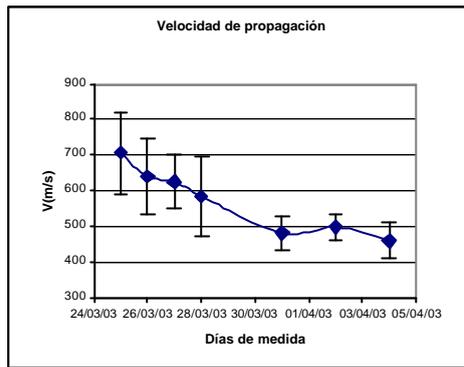
La medida de la presión de rotura de la glándula del aceite se realizó aplicando una presión creciente sobre papel vegetal en contacto con la piel de la naranja mediante un penetrómetro, registrándose el valor de la presión en el momento en que éste comenzaba a humedecerse.

Las medidas de amplitud y desfase de la onda se realizaron cortando un trozo de la piel de la naranja y disponiéndola según se muestra en las figuras 6 y 7. 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.

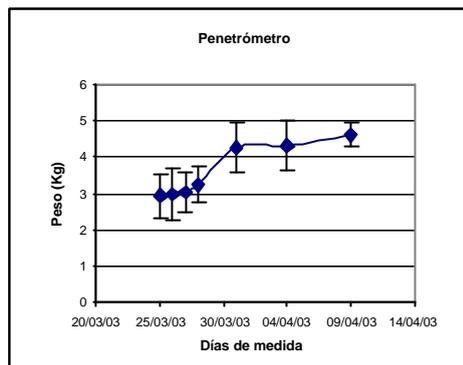
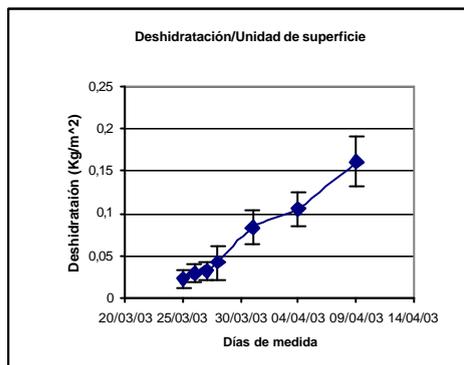
Tanto la medida de la presión de rotura de la glándula del aceite como las medidas de magnitudes ultrasónicas implican que el método propuesto sea destructivo, es decir que las naranjas, una vez medidas, no pueden volver a ser utilizadas. El siguiente objetivo del estudio consistirá en el diseño de un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



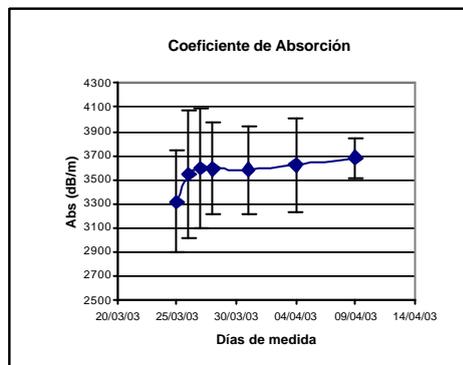
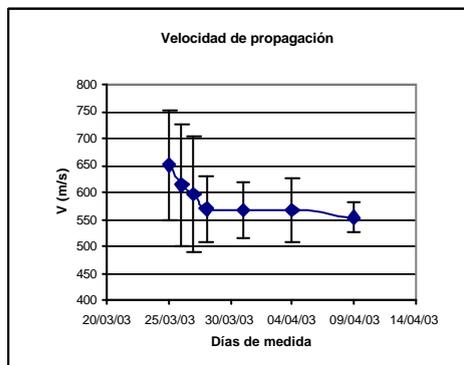
Figuras 8 y 9: Evolución de la deshidratación y de la fuerza necesaria para romper la glándula del aceite. Condiciones ambiente



Figuras 10 y 11: Evolución de la velocidad de propagación y del coeficiente de absorción de los ultrasonidos en la piel de la fruta. Condiciones ambiente



Figuras 12 y 13: Evolución de la deshidratación y de la fuerza necesaria para romper la glándula del aceite. Conservadas en frigorífico



Figuras 14 y 15: Evolución de la velocidad de propagación y del coeficiente de absorción de los ultrasonidos en la piel de la fruta. Conservadas en frigorífico

La conclusión más importante del estudio es que se pone de manifiesto el hecho de que es posible sustituir las medidas de deshidratación y de rotura de la glándula del aceite por las de absorción y propagación de US. La velocidad de propagación disminuye a medida que la fruta se deshidrata como una consecuencia lógica de la pérdida de elasticidad. Por otra parte, a pérdida de homogeneidad de la piel al deshidratarse produce un aumento en el coeficiente de absorción. Se observa a su vez que las medidas realizadas en naranjas almacenadas en frigorífico varían más lentamente, como consecuencia de que la deshidratación de la fruta es más lenta. Las barras de error muestran la dispersión de las medidas realizadas, donde se incluye el efecto de la dispersión del proceso de medida y la dispersión de las diez naranjas utilizadas para cada medida. La dispersión de las medidas es suficientemente pequeña como para concluir que el método es adecuado para la caracterización de la fruta.

## REFERENCIAS

[1] A. Mizrach et. al, J. Agric. Engng Res (1996) **65**, 261-267