

**La Imagen de Resonancia Magnética (RM) es una técnica idónea para la evaluación de calidad interna en fruta. Pero su aplicación en línea todavía está en incipiente desarrollo.**

## Corrección de desfases en imágenes de Resonancia Magnética

NATALIA HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ<sup>1</sup>, PILAR BARREIRO<sup>1</sup>, JESÚS RUIZ-CABELLO<sup>2</sup>, M<sup>a</sup> ENCARNACIÓN FERNÁNDEZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Propiedades Físicas, E.T.S.I.A., UPM, n.hernandez@upm.es;

<sup>2</sup>Instituto de Estudios Biofuncionales, Universidad Complutense de Madrid;

<sup>3</sup>Centro de Asistencia a la Investigación de Resonancia Magnética Nuclear, Universidad Complutense de Madrid.

La imagen de Resonancia Magnética (IRM) se ha estudiado para su aplicación en línea. Se han adquirido dos tipos de imágenes FLASH coronales (tiempo de adquisición 279 ms para limones y 703 para naranjas) de muestras estáticas y conducidas a 54 mm/s a través de un espectrómetro de 4.7 Teslas. Los algoritmos desarrollados para la corrección automática del movimiento han mostrado una mejora notoria en la calidad de las imágenes dinámicas. Las imágenes estáticas y dinámicas corregidas fueron comparadas mediante sus histogramas acumulados los cuales mostraron altos coeficientes de determinación ( $R^2 = 0.96$  para limones y  $0.98$  para naranjas). Un análisis de varianza de los parámetros extraídos de las imágenes estáticas y dinámicas corregidas mostró diferencias no significativas.

### Introducción

La Imagen de Resonancia Magnética (RM) es una técnica idónea para la evaluación de calidad interna en fruta [1]. Su aplicación en línea todavía está en incipiente desarrollo ya que los artefactos de movimiento degradan fuertemente la calidad de las imágenes al generar desfases en el espacio-k. Cuando el movimiento es periódico esos desfases dan lugar a copias (*ghosting*) en la imagen, mientras que el movimiento no



**El procedimiento puede emplearse para aplicaciones en línea como la detección de semilla en cítricos que precisa una alta calidad de imagen.**

periódico es responsable de la pérdida de resolución al localizarse espacialmente la señal de forma errónea y generar emborronamiento (*blurring*) [2-3].

Al emplear MRI para clasificación en línea el movimiento es principalmente de traslación y no periódico por lo que es de esperar emborronamiento de las imágenes.

Emborronamiento producido en cualquier dirección y proporcional al desplazamiento de la muestra [4]. Este estudio se centra en el desarrollo de un procedimiento matemático que corrija los desfases generados en el espacio-k debido al movimiento de fruta durante la adquisición de la imagen.

**Materiales y Métodos**

**Adquisición de imágenes de Resonancia Magnética.** El trabajo experimental se llevó a cabo con 8 limones y 19 naranjas. Se utilizó una secuencia *fast low angle shot* (FLASH) para obtener imágenes coronales en condiciones estáticas (imágenes de referencia) y a una velocidad de avance de 54 mm/s a través de un espectrómetro Bruker Biospec 47/40 (Ettlingen, Germany) de 4.7 Teslas. Para mover la fruta en el interior del imán se utilizó un prototipo de cinta transportadora [5].

Los parámetros de adquisición tanto para las imágenes estáticas como las dinámicas fueron: tiempo de relajación (TR) 5.8 ms para limones y 11 ms para naranjas, tiempo de eco (TE) 3.22 ms para limones y 3.7 ms para naranjas, ángulo de excitación (*flip angle*) 10 grados, campo de visión (*field of view*, FOV) 12 cm y anchura del corte 10 mm. El tamaño de la matriz de adquisición fue de 64x128 datos, i.e. 64 pasos de fase y 128 puntos complejos, siendo el tiempo total de adquisición 279 ms para limones y 703 ms para naranjas. La codificación de fase se realizó a lo largo de la dirección *x* mientras que la codificación de frecuencia en la dirección *z*, es decir, coincidente con el movimiento de la fruta.

Se obtuvieron 3 repeticiones por fruta para estudiar la consistencia de los parámetros extraídos de las imágenes mediante análisis automatizado. El error de repetibilidad se calculó como la desviación típica (STD) de las 3 repeticiones; y el coeficiente de variación como la STD dividida por la media correspondiente.

**Cálculo del desplazamiento en el espacio-k.** De acuerdo con el Teorema del desplazamiento de Fourier, si una función *f(x)* tiene una transformada de Fourier *F(s)*, cuando *f(x)* es desplazada  $\Delta x$  la transformada de Fourier resultante, *F'(s)*, es  $e^{-i2\pi\Delta x s} F(s)$  [6]. Esto quiere decir que la señal de un objeto en movimiento equivale a la del objeto estático, *F(s)*, multiplicada por un factor de fase,  $e^{-i2\pi\Delta x s}$ ,

el cuál depende del desplazamiento del objeto [4]. Tanto *F(s)* como *F'(s)* son números complejos y para obtener la primera se debe multiplicar la segunda por la inversa del factor de fase,  $e^{i2\pi\Delta x s}$ .

Para corregir el desfase ( $\Delta\Phi$ ) en el espacio-k debido al movimiento de la fruta se calculó el desplazamiento entre pasos de fase. Para ello se empleó una secuencia de 64 ecos sin codificación de fase, ecos navegados (NAV), obtenidos para un cubo lleno de agua conducido a la misma velocidad que la fruta. A cada eco NAV se le aplicó una transformada de Fourier obteniendo 64 perfiles desplazados a lo largo de la dirección de lectura. El desplazamiento entre perfiles ( $\Delta x$ ) corresponde al moviendo de la muestra entre pasos de fase (Figura 1). Este procedimiento es únicamente necesario a título de verificación inicial de la velocidad de la línea siendo innecesario en caso de ser ésta homogénea y conocida.

El desplazamiento se calculó a partir de la distancia (*d*) de cada perfil normalizado e interpolado (que permitía aumentar la resolución de la distancia) al perfil intermedio (número 32) seleccionado arbitrariamente como referencia. Se han empleado dos métodos para el cálculo de *d*: correlación de perfiles (1) y mínimos cuadrados (2) [7].

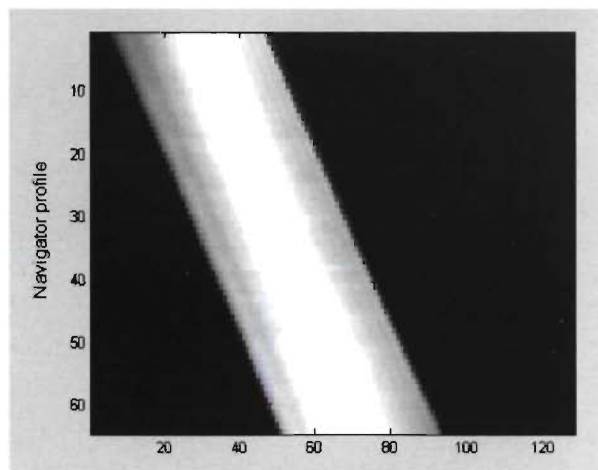
$$d_c = -2 \cdot \sum_{s=w/2}^{w/2-1} [s_d(x) - s_r(x)] \cdot s_r(x) \quad (1)$$

$$d_{mc} = \sum_{s=w/2}^{w/2-1} |s_d(x) - s_r(x)|^2 \quad (2)$$

Donde  $s_d(x)$  es el perfil desplazado un número de píxeles *d*,

**Figura 1:**

**Perfiles obtenidos de la transformación de ecos navegados (NAV) de un cubo con agua adquiridos mientras se desplazaba a 54 mm/s.**



$s_r(x)$  es el perfil de referencia y *w* es el número de punto dentro del perfil. El valor que minimiza las funciones distancia ( $d_c$  o  $d_{mc}$ ) se obtiene para el conjunto de perfiles analizados. Con estos valores se calcula el desplazamiento medio entre perfiles consecutivos ( $\Delta x$ ).

**Corrección del desfase.** El desfase producido en cualquier punto del espacio-k para una muestra en movimiento es la suma del desfase entre pasos de codificación de fase ( $\Delta\Phi_x$ ) y el desfase debido al movimiento durante la adquisición del eco ( $\Delta\Phi_e$ ), (Ecuación 3 y Ecuación 4), ambos relacionados con el  $\Delta x$ , obtenido previamente de los NAV mediante el teorema del desplazamiento o bien simplemente conocido.

$$\Delta\Phi_x = 2\pi \cdot \Delta x \cdot \left[ s - \left( \frac{N_x - 1}{2} \right) \right] \cdot \frac{1}{N_x} \quad (3)$$

$$\Delta\Phi_e = \frac{2\pi \cdot \Delta x \cdot DwellTime}{TR \cdot N_x} \quad (4)$$

Donde:  $N_x$  es el número de puntos adquiridos en el eco (128 puntos), *s* es el punto en el eco y *Dwell Time* es el intervalo de muestreo (20  $\mu$ s). Seleccionando el eco intermedio como referencia, en cada paso de fase  $\Delta x$  se

**Este estudio se centra en el desarrollo de un procedimiento matemático que corrija los desfases generados en el espacio-k debido al movimiento de fruta durante la adquisición de la imagen**

multiplica por el índice correspondiente (que varía de -31 a +32). Una vez conocidos los desfases es posible llevar a cabo la corrección de las componentes real ( $R$ ) e imaginaria ( $I$ ) de los puntos complejos de los ecos obtenidos en movimiento [8] mediante las ecuaciones (5) y (6).

$$R_c = R' \cdot \cos(\Delta\Phi) - I' \cdot \sin(\Delta\Phi) \quad (5)$$

$$I_c = R' \cdot \sin(\Delta\Phi) + I' \cdot \cos(\Delta\Phi) \quad (6)$$

Donde:  $R'$  e  $I'$  son los valores originales obtenidos de la muestra en movimiento, reales e imaginarios del espacio-k, y  $R_c$  y  $I_c$  son los corregidos correspondientes. Para más detalles ver [9].

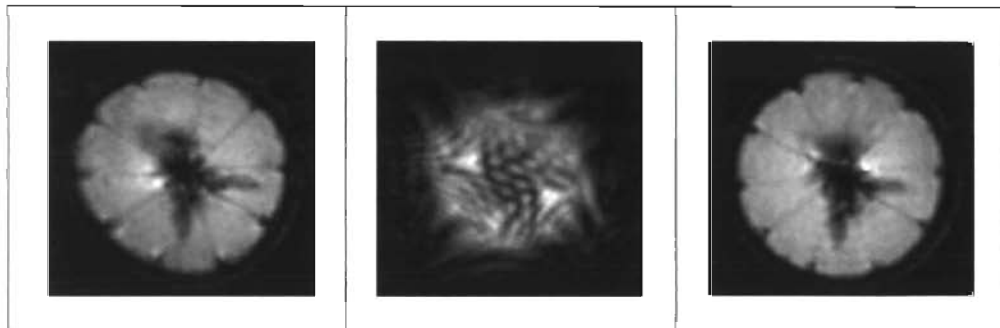
Las imágenes se obtuvieron aplicando dos transformadas de Fourier a la matriz de los datos.

**Evaluación del procedimiento de corrección.** Para evaluar el procedimiento no supervisado de corrección del emborronamiento se obtuvieron los histogramas de intensidad de señal de las imágenes dinámicas corregidas y sus correspondientes estáticas y se calculó grado de correspondencia (coeficiente de determinación) entre histogramas acumulados.

Por otro lado las imágenes, tanto estáticas como dinámicas corregidas, fueron procesadas de forma automática mediante un algoritmo de segmentación [5]. El primer paso consistió en escoger la región del interés, *ROI*, definida como la porción de fruta presente en el corte. Esta región contiene el tejido correspondiente a pulpa (con señal alta de la intensidad) y el que corresponde al eje central y semillas, *HIR*, (con señal baja de la intensidad). Para los limones esta región se estableció

**Figura 2:**

**De izquierda a derecha: Imagen RM estática; imagen RM en dinámico sin corrección; imagen RM en dinámico con corrección.**



como un círculo de radio ajustado individualmente mientras para las naranjas se estableció automáticamente. Con los parámetros extraídos (relación de áreas,  $STR$ ; perímetros,  $P$ ; compacidad,  $C$ ; y máxima distancia del perímetro al centro de gravedad,  $R_{max}$ ) se realizó un análisis de varianza para niveles de significación del 1 y el 5% con el fin de establecer si existían diferencias entre los parámetros obtenidos de imágenes de fruta en estático y los corres-

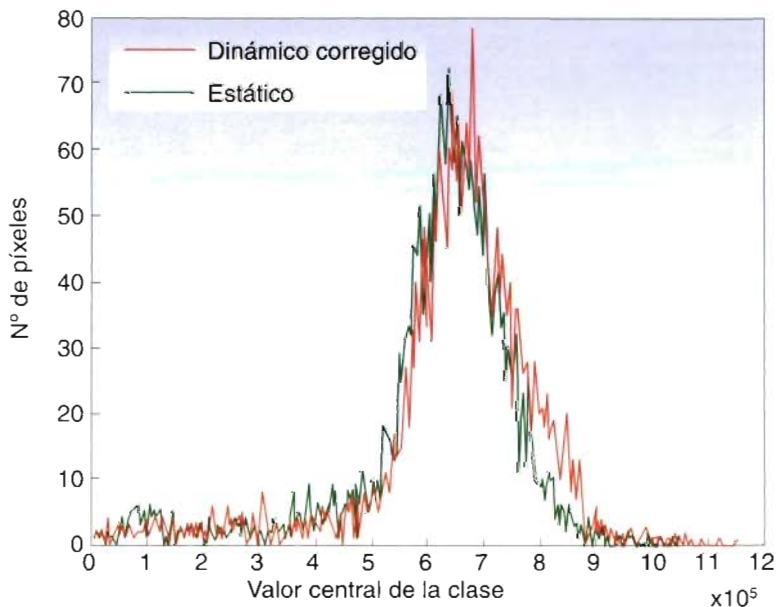
pondientes obtenidos de imágenes de fruta en movimiento (después de la corrección).

### Resultados y Discusión

Los métodos de correlación y de mínimos cuadrados computaron el mismo desplazamiento entre perfiles consecutivos y éste fue utilizado para obtener las imágenes corregidas. La Figura 2 muestra un ejemplo de la corrección aplicada a una naranja con semilla.

**Figura 3:**

**Histogramas de la pulpa de una imagen RM estática y su correspondiente dinámica corregida.**



■ Los métodos de correlación y de mínimos cuadrados computaron el mismo desplazamiento entre perfiles consecutivos y éste fue utilizado para obtener las imágenes corregidas

**Cuadro 1:**

**Resultados del ANOVA para los parámetros extraídos de las imágenes estáticas y las dinámicas corregidas. (\*\*=significación al 1%; n.s.=no diferencias significativas).**

	Limones (N=30)				Naranjas (N=55)			
	Estático Media	Dinámico Media	F	p	Estático Media	Dinámico Media	F	p
ROI <sup>1</sup>	8308	8186	0.15	n.s.	3437	3154	16.63	**
HIR <sup>1</sup>	500	611	1.73	n.s.	274	307	1.05	n.s.
STR (%)	6.0	7.4	1.98	n.s.	8.0	9.8	3.38	n.s.
P <sup>1</sup>	123	167	1.11	n.s.	73	80	1.48	n.s.
C (%)	45	50	0.26	n.s.	63	60	0.58	n.s.
R <sub>max</sub> <sup>1</sup>	-	-	-	-	15	16	0.73	n.s.

<sup>1</sup> Datos en número de píxeles.

Tal y como se ha indicado, para evaluar la corrección se obtuvo la correlación entre los histogramas acumulados de la región de interés (pulpa) de imágenes estáticas y sus correspondientes dinámicas. El coeficiente de determinación,  $R^2$ , obtenido (0.96 para limones y 0.98 para naranjas)

■ De los resultados obtenidos se concluye que es posible corregir el efecto del movimiento de las muestras y que el procedimiento es aplicable a cualquier velocidad de la cinta

muestra una alta correspondencia en la distribución de señal entre imágenes estáticas y dinámicas corregidas (Figura 3).

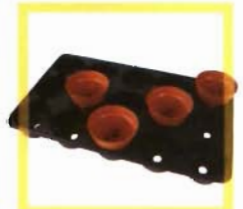
Por otra parte, en general el análisis de varianza mostró que los parámetros extraídos de las imágenes no presentan diferencias significativas (Cuadro 1). Tan solo en el caso de la región de interés en naranjas las diferencias se deben al procedimiento de erosión del algoritmo de segmentación.

En cuanto a la meteorología, las medidas en condiciones estáticas muestran menores coeficientes de variación (Cuadro 2) indicando que el emborronamiento aunque eliminado en las imágenes dinámicas no exime de una ligera pérdida de repetibilidad en los parámetros.

#### Conclusiones

De los resultados obtenidos se concluye que es posible corre-

bandejas termoconfortadas, macetas, containers, macetas termoconfortadas, cerquillos...



C/Disseminats nº2

08929 Teià

tel: 93 460 76 76 Fax: 93 397 12 53

bolsas para flor y planta, cubetas portaflores..

[www.plasticosdngag.com](http://www.plasticosdngag.com)

**Cuadro 2:**

**Coefficientes de variación para los parámetros extraídos de las imágenes obtenidas en condiciones estáticas y dinámicas corregidas.**

	Limones	Naranjas	
	Dinámico	Estático	Dinámico
	CV (%)	CV (%)	CV (%)
<i>ROI</i>	-	0.3	0.8
<i>HIR</i>	7.7	10.6	15.7
<i>STR</i>	7.3	0.1	16.6
<i>P</i>	18.6	6.1	9.5
<i>C</i>	13.9	7.9	13.3
<i>R<sub>max</sub></i>	-	6.4	9.9

gir el efecto del movimiento de las muestras y que el procedimiento es aplicable a cualquier velocidad de la cinta. Los altos coeficientes de determinación entre histogramas acumulados y la ausencia de diferencias significativas entre parámetros extraídos del análisis las imágenes ponen de manifiesto la calidad de la co-

■ Los altos coeficientes de determinación entre histogramas acumulados y la ausencia de diferencias significativas entre parámetros extraídos del análisis de las imágenes ponen de manifiesto la calidad de la corrección

rección. Esto indica que el procedimiento puede emplearse para aplicaciones en línea como la detección de semilla en cítricos que precisa una alta calidad de imagen para la segmentación de regiones.

**Agradecimientos**

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia y Tecnología la financiación del proyecto OPTIFRUT (AGL 2001-3792-C02-01) y a Xavier Gimeno y Sandra Aguilar de DAUMAR S.A. el diseño y la construcción de la cinta transportadora.

**Bibliografía**

■ La Bibliografía completa se encuentra en:  
[www.horticom.com?61350](http://www.horticom.com?61350)



**ALUMINET®**  
PANTALLA TERMO-REFLECTORA

¿En invierno y en verano? ¿Todo en uno? Ahora es posible gracias a **Aluminet®**, las únicas pantallas del mercado que además de garantizar la protección de su cultivo contra las heladas, aumentan su rendimiento en clima cálido.

Con Aluminet®, consiga un óptimo aprovechamiento de su cultivo durante todo el año.

Polysack Europa: [info@polysack-europa.com](mailto:info@polysack-europa.com)

Tel: 93 2282103

Fax: 93 2282104