

Medida del espesor de la cáscara de cítricos con procesamiento digital de imágenes

Sampallo, Guillermo; González Thomas, Arturo; Cleva, Mario
Facultad Regional Resistencia, UTN
Resistencia (Chaco), Argentina

Resumen

Se presenta una técnica de procesamiento de imágenes para determinar el espesor de la cáscara de cítricos. La misma utiliza la imagen de una mitad de la fruta cortada en su sección media ecuatorial. La imagen se procesa empleando diferentes algoritmos hasta obtener las coordenadas polares de los contornos interior y exterior de la cáscara, referidos al baricentro de la misma. Se obtiene un muestreo con separación angular equidistante de 2° y, por diferencia de radios exterior e interior se determina el espesor. Promediando los 180 valores obtenidos, se calcula el espesor medio. Comparado con el método estándar que toma cuatro espesores con calibre y promedia, el valor obtenido por el método propuesto es claramente más representativo del espesor de la cáscara. Este método presenta la ventaja de ser objetivo, pues no depende del operador, ni de eventuales compresiones de la cáscara al tomar la medida, que resultan en una subestimación. Como resultado adicional, se obtiene el número de gajos del cítrico y un descriptor que da cuenta de la relación entre el radio medio en la sección ecuatorial y el espesor promedio.

Palabras claves:

Visión por computadora, Morfología, Cítricos, Albedo.

1.- Introducción

Durante los últimos 20 años en diversas áreas de la industria y la medicina se ha incrementado el interés por la aplicación de técnicas de procesamiento digital de imágenes (PDI) que permiten determinar con mayor sensibilidad y resolución diferencias sutiles en tamaño y forma de objetos de interés en una imagen digital. La implementación de estas técnicas ha sido posible gracias a los avances en el desarrollo de los algoritmos utilizados como así también a una mayor velocidad de cálculo dada por la evolución de los procesadores empleados y de los sistemas de adquisición de imágenes. Brosnan, T., & Sun, D. W. [1] hacen un relevamiento de las técnicas de PDI aplicada al análisis y control de calidad de alimentos.

Existen algoritmos estandarizados de procesamiento digital de imágenes que permiten obtener información del tamaño y forma de un objeto a partir de su imagen. Es posible determinar datos como área, perímetro, alto, ancho, factores de forma, momentos, descriptores de Fourier, firma, etc. En la bibliografía especializada González Rafael C y Woods E. Richard [2], [3], Duda R. O. and Hart P. E. [4] y Castleman Kenneth R [5] se establecen las definiciones y procedimientos de cálculo de los descriptores mencionados.

Esta técnica ha sido aplicada en la determinación de parámetros morfológicos en diferentes objetos y en particular en frutas, por ejemplo Fernandez, L., Castellero, C., & Aguilera, J. M. estudiaron el efecto del secado en el cambio de forma y de la textura en discos de manzana [6], Kırıncı, Kılıç, İsmail Hakkı Boyacı, Hamit Koksels e İsmail Kusmenoglu desarrollaron un sistema de visión por computadora y redes neuronales artificiales para la inspección de calidad de granos, en función del tamaño y el color [7], Sampallo, G y Gonzalez Thomas, A emplean la firma como parte del reconocimiento del contorno de hojas y objetos [8], [9], Ta Yuan Wang, Sing Kiong Nguang diseñaron un sistema de bajo costo para calcular el volumen y la superficie de productos agrícolas con un eje de simetría, como huevos, limones, limas y tamarillos [10], M. Omid, M.

Khojastehnazhand, A. Tabatabaeefar presentan una técnica para evaluar el volumen y la masa de citrus empleando PDI [11].

El espesor de la cáscara (albedo) de un cítrico es empleado junto con otros parámetros, como indicador en ensayos de fertilización.

Actualmente la técnica más empleada para medir espesores de cáscaras de cítricos es cortarlos por su sección media ecuatorial y determinar el espesor de la cáscara midiendo con un calibre en lugares representativos y promediar. Este método tiene la desventaja de que se emplean pocas mediciones, que la elección de los lugares de medida depende del operador y que es afectado por la flexibilidad de la cáscara, lo que da un valor poco representativo. El empleo de calibres de buena precisión no disminuye la incerteza del método.

El método propuesto, se basa en obtener información de una imagen digital de la sección ecuatorial de un cítrico, permite ponderar el espesor en toda la cáscara aumentando significativamente el número de mediciones, es independiente del operador y del hecho de que la cáscara sea flexible. Los valores obtenidos del espesor son más representativos del espesor de la cáscara que los obtenidos por el método tradicional. Además permite evaluar la relación entre el espesor y el radio exterior de la fruta y el número de gajos (carpelos).

2.- Metodología

Seccionado el cítrico por la sección ecuatorial, se registra una imagen digital color de una mitad, con una resolución de 3600 píxeles por 3200 píxeles, empleando una cámara digital de 10 Mp, con el montaje que se muestra la Figura 1.

Se incluye en la escena una regla graduada, con el fin de establecer el factor escala K (mm/píxel). La figura 2a muestra la sección ecuatorial de una naranja y la regla, se observa también la diferencia entre la cáscara, la pulpa y los diferentes gajos.

Empleado rutinas de procesamiento de imágenes como segmentación por bandas color, pseudocoloreado, binarización y detección de bordes, se obtienen las imágenes mostradas en las figuras 2b, 2c y 2d. La figura 2b muestra la cáscara pseudocoloreada y restos en el interior, la figura 2c presenta la imagen binaria y la 2d muestra los contornos de la cáscara de la sección ecuatorial. Claramente se observa que la traza del contorno interior presenta “picos” hacia el interior que se corresponden con la unión entre gajos.

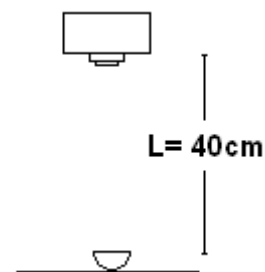


Figura 1: montaje para registrar las imágenes

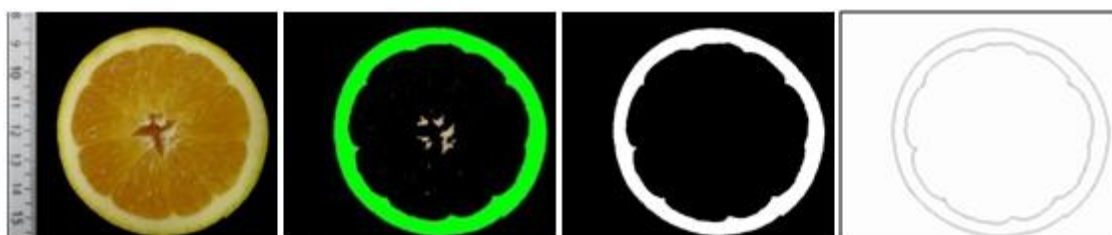


Figura 2: a) Imagen color de una naranja cortada en su sección ecuatorial. b) Imagen segmentada por banda color y pseudocoloreada. c) Imagen binaria de la cáscara (albedo). d) Contornos

Con la imagen binaria de la cáscara, se calcula como propone Merian J.[12] el baricentro referido al sistema con origen en O mostrado en la figura 3 empleando

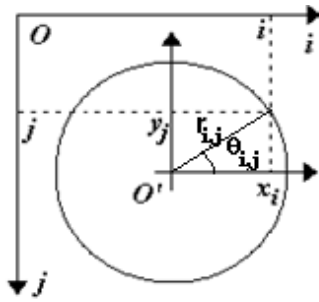


Figura 3: Referencia respecto del baricentro

$$x_c = \left[\frac{\sum_{i,j} i \cdot \text{Im}_{i,j}}{\sum_{i,j} \text{Im}_{i,j}} \right] \quad (1) \quad y_c = \left[\frac{\sum_{i,j} j \cdot \text{Im}_{i,j}}{\sum_{i,j} \text{Im}_{i,j}} \right] \quad (2)$$

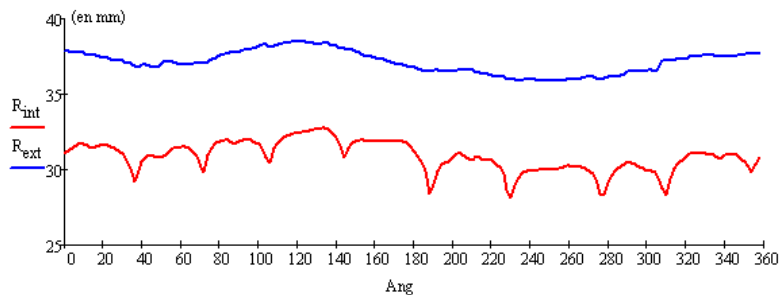
Donde $\text{Im}_{i,j}$ son los valores de niveles de gris del píxel de la imagen en la posición (i,j) . Las coordenadas del contorno con respecto al baricentro O' están dadas por:

$$x_i = i - x_c \quad y_j = y_c - j \quad (3)$$

Una vez definido el nuevo sistema de referencia con origen en O' y las correspondientes coordenadas rectangulares del contorno, es posible obtener su representación polar respecto del baricentro del objeto, empleando la transformación:

$$r_{i,j} = \sqrt{x_i^2 + y_j^2} \quad (4a) \quad \text{y} \quad \theta_{i,j} = \tan^{-1} \left(\frac{y_j}{x_i} \right) \quad (4b)$$

Este razonamiento se extiende para determinar las posiciones de los puntos del contorno interno y externo de la cáscara mostrada en la figura 2d.



En la figura 4 se representa en la abscisa el ángulo respecto de la horizontal $\theta_{i,j}$ y en la ordenada las distancias a los puntos sobre el contorno interno $R_{\text{int}}(\theta_{i,j})$ y externo $R_{\text{ext}}(\theta_{i,j})$ de la cáscara, esta representación se denomina firma del objeto.

2.1-Espesor de la cáscara

Para determinar el espesor de la cáscara se tomó un muestreo de 180 puntos equidistantes en θ sobre los contornos exterior e interior de la cáscara, empleando un sistema de coordenadas polares con origen en el baricentro (Figura 3). Con $\theta_i = i + \Delta\theta$, con $i = 0, 1, \dots, 179$ y $\Delta\theta = 2^\circ$ se determinaron las distancias radiales a los puntos de los contornos interior y exterior de la cáscara, obteniéndose 180 pares de valores (R_{int_i} , R_{ext_i}).

El espesor de la cáscara para cada ángulo particular está dado por la diferencia entre ambos radios, multiplicado por el factor de escala K

$$e_i = K [R_{\text{ext}_i} - R_{\text{int}_i}] \quad (5)$$

El índice i indica la característica discreta de la muestra. El espesor de la cáscara depende del ángulo θ_i .

En la Figura 5 se muestra el espesor en función del ángulo θ_i . Se marcaron las orientaciones donde el espesor es mínimo y máximo.

En la Figura 6 se muestra el histograma del espesor de un ejemplar de naranja.

El espesor promedio para la sección ecuatorial de la fruta y la desviación estándar se calcula con

$$e_m = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} e_i \quad (6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} [e_m - e_i]^2}{N}} \quad (7)$$

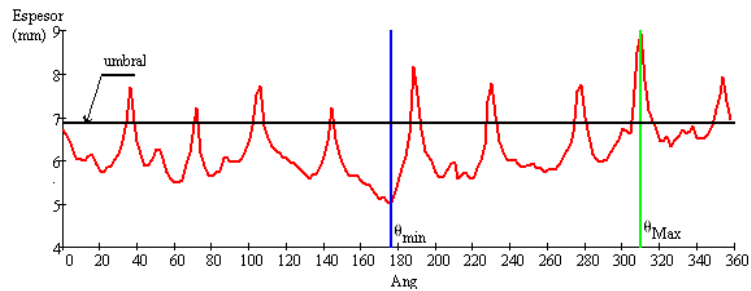


Figura 5 Representación del espesor en función del ángulo. Marcas de las orientaciones donde el espesor es mínimo y máximo

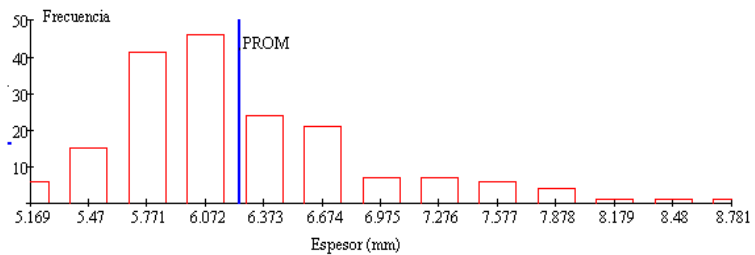


Figura 6 Histograma de los espesores para la sección ecuatorial de la naranja

2.2.- Relación entre el espesor de la cascara y radio de la sección ecuatorial de la fruta

El radio externo medio de la sección ecuatorial y el espesor de la cascara de la fruta son datos que se obtienen como parte del proceso de cálculo. Los valores por separados son de interés pero la relación entre ellos da mejor referencia a las características constitutivas del producto

$$F_i = \frac{e_{m_i}}{R \text{ ext}_{m_i}} \quad (8)$$

2.3.-Número de gajos

En la gráfica de $e(\theta_i)$ de la Figura 5, se observa la presencia de máximos bien definidos, que se corresponden con los límites entre gajos en esa sección de la fruta. Contando el número de máximos se determina el número de gajos que tiene la fruta. Para contar los máximos, se define la función $G(\theta)$ a partir del espesor promedio e_m y un umbral $u = a \cdot e_m$:

$$G(\theta_i) = \begin{cases} a e_m & \text{si } e_i \leq a e_m \\ e_i & \text{si } e_i > a e_m \end{cases} \quad (9)$$

Donde a es un coeficiente cuyo valor está en el intervalo $1 \leq a \leq 1.25$, dependiendo del tipo de cítrico.

En la Figura 5 se muestra de que manera el umbral separa los máximos de interés. En la Figura 7 se representa la función G y su derivada. El número de veces que la derivada de $G(\theta_i)$ cambia de signo da el número de gajos. También del gráfico se obtienen las posiciones angulares de los gajos.

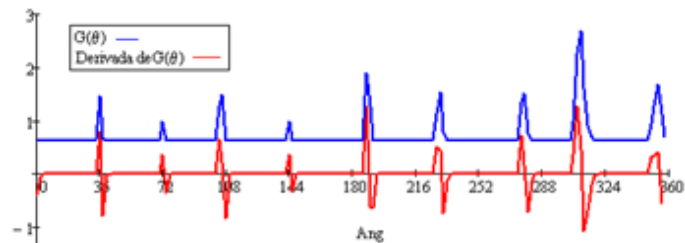


Figura 7: Representación gráfica de la función $G(\theta_i)$ y su derivada

3.-Resultados y discusión

En el trabajo se procesaron 50 ejemplares de naranjas navelinas, 12 de limones y 12 de mandarinas.

Con los ejemplares de naranjas se hizo una comparación de la medida del espesor con el método estándar empleando un calibre y el de procesamiento de imagen.

En cada ejemplar se realizaron cuatro medidas con el calibre, en puntos aproximadamente equidistantes sobre el contorno, como los marcados en la Figura 8 y se promediaron. Estos valores se muestran para el total de ejemplares considerados en el gráfico de la Figura 9. Se obtuvo el valor promedio $e_m = 4,1$ mm y su desviación estándar $DS = 0,6$ mm. En la Figura 10 se muestra lo mismo para el método con PDI, con valores $e_m = 4,3$ mm y $DS = 0,6$ mm. La comparación de los resultados entre los dos métodos se muestra en el gráfico de la Figura 11. Las líneas verticales exhibidas en el gráfico representan la diferencia entre las medidas del espesor de cada ejemplar por ambos métodos. Se observa que los valores medidos por ambos métodos guardan una razonable correspondencia (coeficiente de Pearson = 0.74). En el método tradicional, las medidas de los espesores, en general son inferiores a las obtenidas por el método con PDI. Esto se debe a que las determinaciones por el método tradicional se hacen lejos de los de los límites entre gajos, región donde se incrementa notablemente el espesor y que es tenida en cuenta por el método con PDI.



Figura 8: Lugares donde se midieron espesores con calibre en el ejemplar

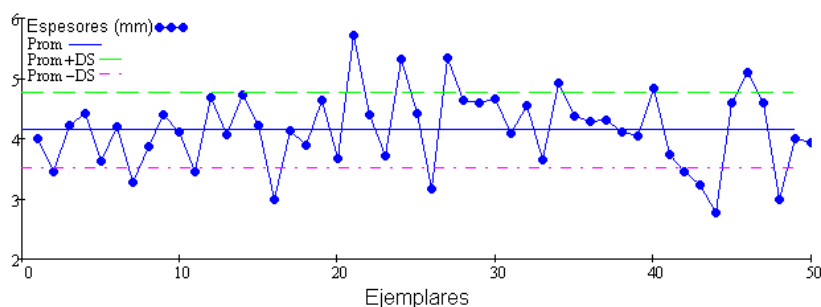


Figura 9: Medida del espesor de la cáscara por el método tradicional

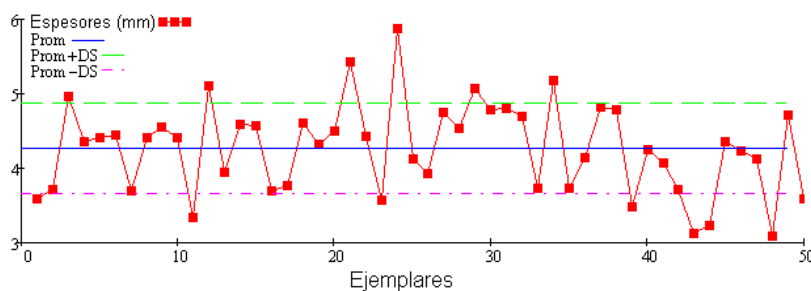


Figura 10: Medida del espesor de la cáscara por el método PDI

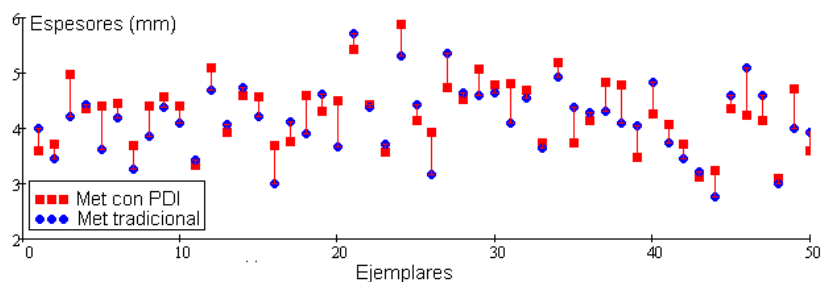


Figura 11: Comparación de la medida del espesor de los dos métodos

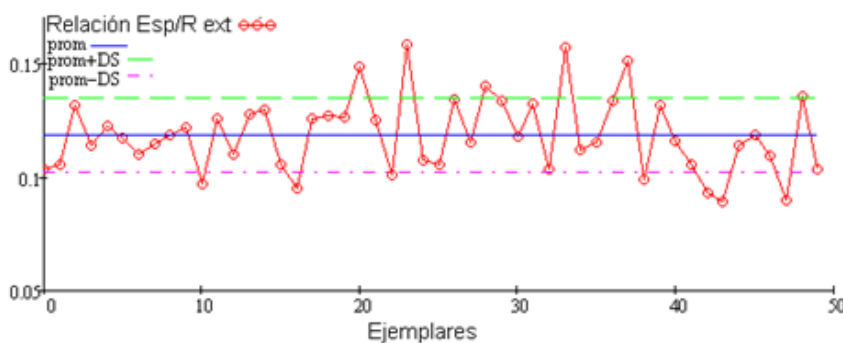



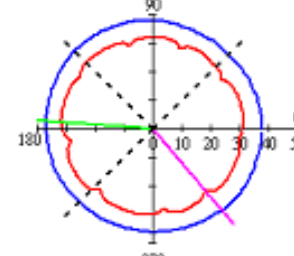
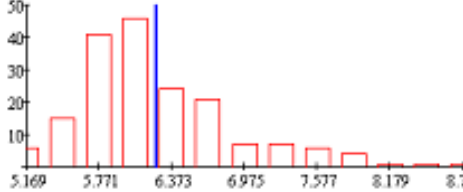
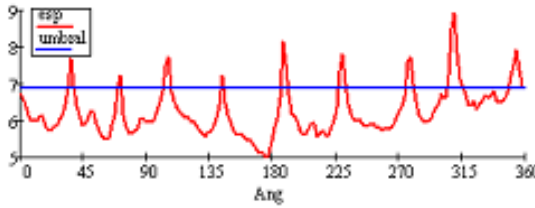


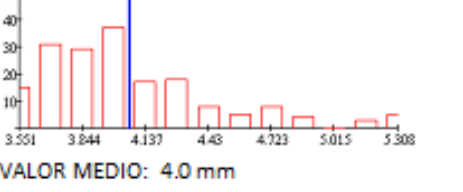
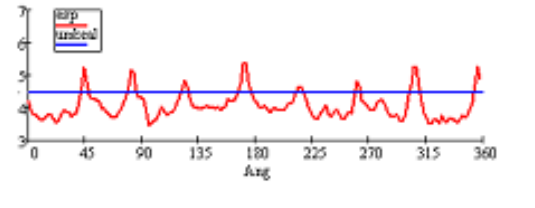

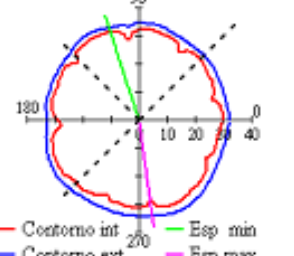
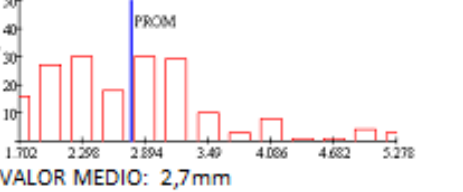
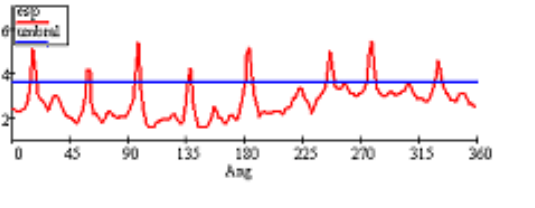
Figura 12: F entre el espesor y el radio exterior para los ejemplares de naranja

En el gráfico de la Figura 12 se representa la relación F entre el espesor y el radio exterior para los ejemplares de naranja. Para este caso, el valor promedio es igual 0.12 con una desviación de 0.02. Esto significa que el espesor de la cáscara en promedio representa el 12% en el diámetro de la naranja, cuando menor sea esta relación, mayor será el volumen de pulpa de la fruta.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de ejemplares de naranja, limón y mandarina. En la primera columna se exhibe la sección ecuatorial del ejemplar, en la segunda el diagrama polar de la misma donde la traza roja representa el contorno interior y en azul el contorno exterior obtenido uniendo los puntos de los mismos cada dos grados, también están marcados en color, en las orientaciones angulares correspondientes, los espesores máximos y mínimos de las frutas. En la tercera columna se exhibe el histograma de los espesores, valor medio y desviación estándar y el valor de la relación entre espesor medio y radio exterior medio. En la última columna se muestra el perfil del contorno interior, cuyos máximos representan los límites entre los gajos de esa sección que con el cálculo propuesto permite contar los mismos.

4.- Conclusiones

En este trabajo se presentó una técnica de PDI para determinar el espesor de la cáscara de cítricos. Tiene la ventaja de ser objetivo, pues no depende del operador, ni de eventuales deformaciones de la cáscara al tomar la medida. El método es válido para frutas de sección ecuatorial circular o cuasi circular. Se definió un nuevo descriptor que relaciona el espesor medio con el valor medio del radio de la sección ecuatorial, que informa sobre el valor relativo del espesor. Como resultado adicional, se obtuvo el número de gajos del cítrico. El método propuesto posibilita obtener información sobre las dimensiones angulares de los gajos y analizar su uniformidad.

TABLA 1: RESULTADOS	DIAGRAMA POLAR DE LA SECCION ECUATORIAL	HISTOGRAMA DE LOS ESPESORES (Abcisa: espesor - Ordenada: frecuencia)	NUMEROS DE GAJOS
<p>NARANJA</p> 	 <p>— Contorno int — Esp min — Contorno ext — Esp max</p>	 <p>VALOR MEDIO: 6.2 mm DESVIACION STANDARD: 0.6 mm ESP MAX: 8.9 mm ESP MINIMO: 5.0 mm RELACION $e_m/Re_{t,m} = 6.2\text{mm}/39.0\text{mm} = 0.158$</p>	<p>NRO DE GAJOS = MAX LOCALES = 9</p> 
<p>LIMON</p> 	 <p>— Contorno int — Esp min — Contorno ext — Esp max</p>	 <p>VALOR MEDIO: 4.0 mm DESVIACION STANDARD: 0.4 mm ESP MAX: 5.3 mm ESP MINIMO: 3.4 mm RELACION $e_m/Re_{t,m} = 4.0\text{mm}/29.2\text{mm} = 0.139$</p>	<p>NRO DE GAJOS = MAX LOCALES = 8</p> 
<p>MANDARINA</p> 	 <p>— Contorno int — Esp min — Contorno ext — Esp max</p>	 <p>VALOR MEDIO: 2,7 mm DESVIACION STANDARD: 0.8 mm ESP MAX: 5.4 mm ESP MIN: 1,5 mm RELACION $e_m/Re_{t,m} = 2.7\text{mm}/33.6\text{mm} = 0.082$</p>	<p>NRO DE GAJOS = MAX LOCALES = 8</p> 

Referencias

- [1] Brosnan, T., & Sun, D. W. (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision. *Journal of Food Engineering*, 61, 3–16.
- [2] González Rafael C y Woods E. Richard *Tratamiento Digital Image Processing* 3rd Ed. (DIP/3e) ISBN number 9780131687288. Publisher: Prentice Hall
- [3] González Rafael C y Woods E. Richard *Digital Image Processing Using MATLAB*, 2nd edition ISBN number 9780982085400. Publisher: Gatesmark Publishing. 2009.
- [4] Duda R. O. and Hart P. E. *Pattern Classification and Scene Analysis*, John Wiley and Sons, 1973.
- [5] Castleman Kenneth R. *Digital image processing*. Ed Prentice Hall (1996).
- [6] Fernandez, L., Castillero, C., & Aguilera, J. M. (2005). An application of image analysis to dehydration of apple discs. *Journal of Food Engineering*, 67, 185–193.
- [7] Kivanc, Kılıc, _Ismail Hakki Boyacı, Hamit Koksel, Ismail Kusmenoglu. (2007). A classification system for beans using computer vision system and artificial neural networks. *Journal of Food Engineering* 78 897–904.
- [8] Sampallo Guillermo. Leaf Type Recognition *Inteligencia Artificial*, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. No.21 (2003),pp. 55-62 ISSN: 1137-3601. AEPIA.
- [9] Sampallo Guillermo, González Thomas Arturo. Restauración de Contornos *Anales de Workshop de Computación Gráfica, Imágenes y Visualización (WCGIV)*. CACIC 2005.
- [10] Ta Yuan Wang, Sing Kiong Nguang. Low cost sensor for volume and surface area computation of axi-symmetric agricultural products. *Journal of Food Engineering* 79 (2007) 870–877
- [11] M. Omid, M. Khojastehnazhand, A. Tabatabaefar. Estimating volume and mass of citrus fruits by image processing technique. *Journal of Food Engineering*. Paper aceptado 13 April 2010.
- [12] Merian J. *Dinámica*. 6° Ed. Madrid. Mac Graw Hill 1998.

Direcciones de contacto:

Sampallo, Guillermo: sampallo@arnet.com.ar

González Thomas, Arturo: gthomas@frre.utn.edu.ar

Cleva, Mario: clevamario@arnet.com.ar