

Método para la determinación del volumen de una muestra de granos de arroz mediante el procesamiento digital de imágenes

CLEVA, M.S.¹; SAMPALLO, G.M.¹; GONZALEZ THOMAS, A.O.¹; ACOSTA, C.A.¹

RESUMEN

En este trabajo se presenta un método para determinar el volumen de una muestra de granos de arroz basada en el procesamiento digital de imágenes, caracterizada por su sencillez y mínimos requerimientos. El registro de la imagen de la muestra se realiza con un escáner de escritorio. Se propone un modelo en el que cada grano de la muestra se asimila a un elipsoide de ejes principales L (largo), A (ancho) y E (espesor). Los valores L y A se determinan a partir de la elipse que mejor ajusta al área proyectada de cada grano en la imagen. Se asume que el espesor es proporcional al ancho del grano ($E = k.A$). La constante de proporcionalidad k se determina igualando la expresión dada por el modelo para el volumen de una muestra de n granos en función de L, A y k, con su volumen obtenido experimentalmente por el método de desplazamiento de tolueno. Se realizaron determinaciones con muestras de cuatro variedades con distintas composiciones de granos enteros y partidos. Los valores de k obtenidos para las distintas variedades y composiciones fueron muy similares entre sí, con un promedio de 0,63 y desviación estándar de 0,01. Con el valor de k de cada variedad y el promedio de todas las variedades, se determinaron los respectivos volúmenes y se los contrastó con el correspondiente obtenido por el método de desplazamiento de tolueno, donde la diferencia, en general, fue inferior al 3%.

Palabras clave: cereales, morfología, visión por computadora.

ABSTRACT

This paper presents a method to determine the volume of a sample of rice kernels based on digital image processing, characterized by its simplicity and minimum requirements. Image registration of the sample is done with a flatbed scanner. We propose a model in which each kernel of the sample is treated as an ellipsoid with principal axis L (long), A (width) and E (thickness). The values L and A are determined from the ellipse that best fits the projected area of each kernel in the image. It is assumed that the width is proportional to the thickness of the grain ($E = kA$). The proportionality constant k is determined by equating the expression

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia. French 414, H3500CHJ, Resistencia, Chaco.

Recibido el 05 de marzo de 2013// Aceptado el 04 de julio de 2013// Publicado online el 24 de Julio de 2013

CLEVA, M.S.; SAMPALLO, G.M.; GONZALEZ THOMAS, A.O.; ACOSTA, C.A.

of sample volume of n kernels in terms of L , A and k with the actual volume experimentally obtained by the method of displacement of toluene. Determinations were performed on samples of four varieties with different compositions of entire and broken kernels. The k values obtained for the different varieties and compositions were very similar: $0,63 \pm 0,01$. With the value of k for each variety and averaging of all varieties, the volume was determined and are contrasted with that obtained by the method of displacement of toluene, being the difference, in general, less than 3%.

Key words: cereals, morphology, computer vision.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se incrementó la aplicación de las técnicas de procesamiento digital de imágenes (PDI) en diferentes áreas como la medicina (Dhawan y col, 1986), el medioambiente (Mucsi, 2001), la industria (Choi y Kim, 2005) y la seguridad (Valera y Velastin, 2005) entre otras. Su implementación fue favorecida por los avances en el desarrollo de los algoritmos utilizados, como así también por la evolución de los procesadores y de los sistemas de adquisición de imágenes acompañados de una reducción en el costo de los mismos.

En la industria de los alimentos, existe abundante bibliografía relacionada con la aplicación de las técnicas de PDI: Gunasekaran (1996), expusieron cómo está compuesto un sistema de visión por computadora y cuáles son los requisitos para ser usado en el análisis de la calidad de alimentos. Cheng-Jin Du y Da-Wen Sun (2004), presentaron un relevamiento de los aportes del PDI relacionados con la evaluación del color, forma, tamaño y textura, características relacionadas en forma directa con la calidad del producto. Zheng y col (2006), presentaron una revisión de las técnicas disponibles de PDI aplicadas a alimentos y relacionadas con su color, tamaño, forma y textura.

Los algoritmos de PDI aplicados al estudio de semillas y granos, permiten obtener información del tamaño y parámetros de forma a partir de su imagen. Las determinaciones de estos valores son importantes no sólo en la determinación de la calidad, sino también para el diseño de equipamiento para procesamiento, transporte, ordenamiento, separación y almacenamiento.

Para el arroz, Sakai *et al.* (1996), analizaron a través de PDI, los efectos del proceso de pulido en la forma y tamaño de diferentes variedades de arroz. Lloyd *et al.* (2001), compararon la determinación del porcentaje de granos de arroz enteros para dos variedades mediante dos equipos comerciales de PDI e introdujeron el concepto de "peso por píxel" a fin de determinar la fracción en peso de granos partidos o enteros. El peso por píxel se calculó como el cociente entre el peso de la muestra y el número total de píxeles de las áreas proyectadas de todos los granos presentes en la muestra. Luego, el peso (y su posterior fracción en peso) de los granos enteros o partidos se determinó al multiplicar los píxeles de la suma de las áreas proyectadas de los granos partidos o enteros por el peso por píxel.

Van Dalen (2004), determinó la distribución de las longitudes de los granos de arroz de una muestra a partir de la aplicación de algoritmos de PDI a la imagen digital de los mismos. Sansomboonsuk y Afzulpurkar (2006), propusieron un algoritmo para evaluar imágenes de granos de arroz que están en contacto entre sí para obtener información relacionada con la morfología del grano. Estos autores emplean los datos obtenidos para clasificar los granos usando lógica difusa y los resultados se compararon con la clasificación hecha visualmente por peritos en granos llegando a un 90% de coincidencia. Razavi *et al.* (2008), obtuvieron los valores de longitud, ancho, área proyectada y descriptores de forma, a partir de la imagen digital de un conjunto de semillas de pistacho.

La determinación del volumen de una muestra de cereales se puede realizar indirectamente empleando modelos geométricos cuyo resultado depende de las medidas efectuadas con un calibre. Jain y Bal (1997), midieron con un calibre las longitudes de los ejes de semillas de mijo y con un modelo geométrico de la semilla determinaron su volumen. Olajide e Igbeka (2003), midieron el ancho, largo y espesor de granos de maní con un calibre y con estos valores calcularon el volumen y lo compararon con el obtenido por el método de Arquímedes.

Varnamkhasti *et al.* (2007), emplearon un calibre para medir las dimensiones del grano de arroz y presentaron un modelo para la determinación del volumen, que es validado por comparación con el método de desplazamiento de tolueno (Mohsenin, 1986). El método de desplazamiento de tolueno se basa en el principio de Arquímedes y utiliza un picnómetro con tolueno para las determinaciones de volumen. Se emplea tolueno en vez de agua por tener una tensión superficial que impide ser absorbido por el grano de arroz.

Firatligil-Durmus *et al.* (2010), propusieron una serie de modelos geométricos para calcular el volumen de diferentes semillas y los compararon con el obtenido por desplazamiento de tolueno.

La determinación del volumen junto con la masa de la muestra también permitiría conocer su densidad real. En general para el caso de semillas, se emplea una magnitud conocida como peso hectolítrico que se define como el peso en kilogramos de un recipiente lleno de granos con un volumen de 100 litros. El peso hectolítrico es una bue-

na estimación, tanto de la calidad física del grano como de la calidad molinera (Garnero, 2012). Para el caso del arroz, su valor se encuentra alrededor de 600 kg/m³ (Ospina Machado, 2002). Sin embargo, esta magnitud, también llamada densidad aparente, no es una buena medida de la densidad del grano de arroz, ya que de acuerdo a este valor el grano debería flotar en el agua y no lo hace. Eso prueba que su densidad es mayor a la del agua (Ospina Machado, 2002). La dificultad para el cálculo de la densidad real de una muestra podría ser debido a la dificultad para determinar el volumen de una muestra de granos de manera no destructiva y sobre un gran número de granos.

Vistos los trabajos anteriores donde la muestra analizada se destruye y con el concepto de la densidad aparente que surge del peso hectolítrico, se propone en este trabajo un método para la determinación del volumen de una muestra de granos de arroz de manera no destructiva empleando PDI. El mismo, utiliza un modelo geométrico sencillo del grano que permite calcular su volumen a partir de la determinación del largo y ancho por PDI. De esta manera, se evita la compleja manipulación y la pérdida de tiempo propias del empleo de dispositivos manuales para determinar longitudes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del modelo

La observación de un grano de arroz (figura 1a) permite asimilar su forma de manera aproximada a un elipsoide de

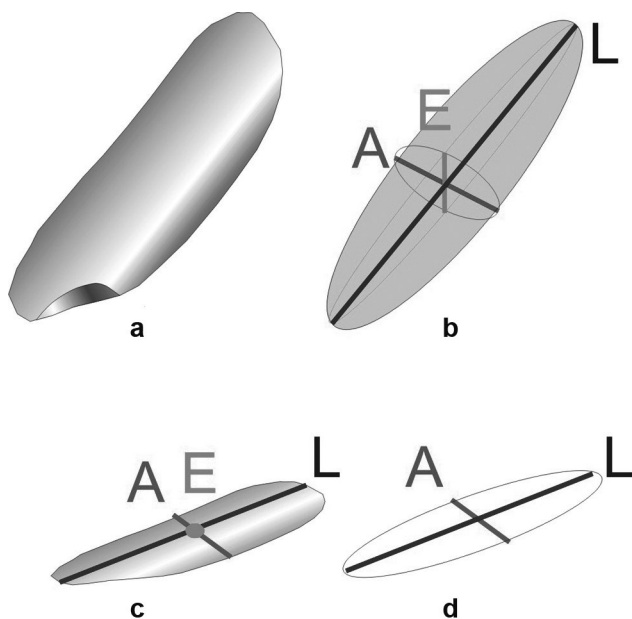


Figura 1. a) Grano de arroz. b) Modelo tridimensional del grano de arroz. c) Área proyectada del grano de arroz sobre una superficie plana. d) Elipse que mejor ajusta al área proyectada.

ejes principales de longitud *L* (largo), *A* (ancho) y *E* (espesor) (figura 1b), cuyo volumen tiene su expresión:

$$V = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{A}{2} \cdot \frac{E}{2} \tag{1}$$

Al ser colocado sobre una superficie plana, el grano de arroz tiende a ubicarse de manera que el plano formado por los ejes que representan la longitud y el ancho (ejes *L* y *A*) queda paralelo a la superficie de apoyo y su espesor (eje *E*) es perpendicular a este plano (figura 1c). Por lo tanto, la imagen de una muestra de granos obtenida por un escáner registra las áreas proyectadas de los granos que permite determinar *A* y *L* de cada uno de ellos, pero no *E*.

Con la imagen de una muestra y su resolución como factor de escala, se obtiene, para cada grano, la elipse que mejor ajusta al área proyectada del mismo, y de esta elipse los valores de *L* y de *A* (figura 1d).

El espesor *E*, no se puede determinar con PDI a partir de la imagen. Sería necesario emplear una imagen adicional en un plano perpendicular al anterior. Para muestras que contienen muchos granos, resulta poco práctico y muy complicado de implementar. Se propone modelar el espesor desconocido del grano *n*ésimo, *E_n*, mediante el empleo:

$$E_n = k \cdot A_n \tag{2}$$

En este caso, *k* es un parámetro de ajuste de la muestra, a determinar. Se elige que el espesor sea proporcional al ancho y no al largo, debido a que las fracturas en los granos partidos afectan mayoritariamente al largo y no al ancho. Si la muestra contiene *N* granos, su volumen *V_{PDI}* obtenido por PDI, que resulta de reemplazar (2) en (1) está dado por:

$$V_{PDI} = \frac{\pi}{6} k \sum_{n=1}^N L_n A_n^2 \tag{3}$$

Para la determinación de la constante *k*, se obtiene experimentalmente el volumen *V_{exp}* de la muestra de granos de arroz por el método de desplazamiento de tolueno. Al hacer *V_{exp}* = *V_{PDI}* y despejar *k* se obtiene:

$$k = \frac{6 \cdot V_{exp}}{\pi \sum_{n=1}^N L_n A_n^2} \tag{4}$$

Determinado el valor de *k* para una variedad, al emplear (4), es posible que a partir de la imagen de una muestra cualquiera de granos de la misma variedad, se determine su volumen.

A fin de validar el modelo propuesto, se requiere analizar la dependencia de la constante *k* en función de la variedad y de la composición de la muestra. El modelo se aplicó, para tal fin, a muestras de granos de arroz extraídas de

paquetes comerciales correspondientes a las variedades Doble Carolina (pulido e integral), Koshiihikari y Fortuna (figura 2). Se prepararon para cada variedad cinco muestras, una de granos enteros, una de granos partidos y tres de mezcla de enteros y partidos. De estas últimas, se reservaron dos muestras de cada variedad para evaluar el método.

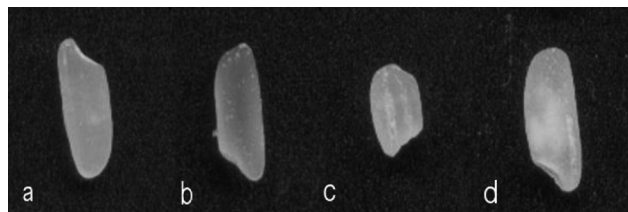


Figura 2. Grano de arroz (a) doble carolina, (b) doble carolina integral (c) koshiihikari (d) fortuna.

Las muestras fueron de aproximadamente 10 g para granos enteros y mezcla de enteros y partidos (alrededor de 400 granos, dependiendo de la variedad) y de aproximadamente 2 g para granos partidos. La masa de las muestras se determinó con una balanza digital Denver Instrument modelo MXX 612 con una precisión de 0.01 g. Las imágenes se obtuvieron con un escáner de mesa Benq modelo Mirascan con una resolución de 300 dpi. Los granos se distribuyeron sobre la bandeja de modo que no estuvieran en contacto entre sí, como señalan Courtois *et al.* (2010) y Yadav y Jindal (2001). El procesamiento de las imágenes para la obtención de los parámetros que emplea el modelo, se realizó con el programa de distribución gratuita ImageJ ® versión 1.47a (figura 3).

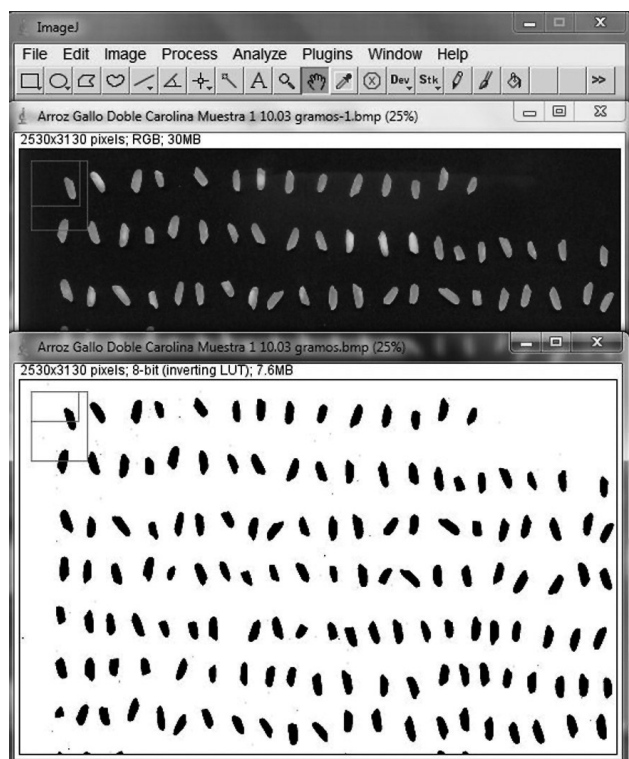


Figura 3. Interface del programa ImageJ ®.

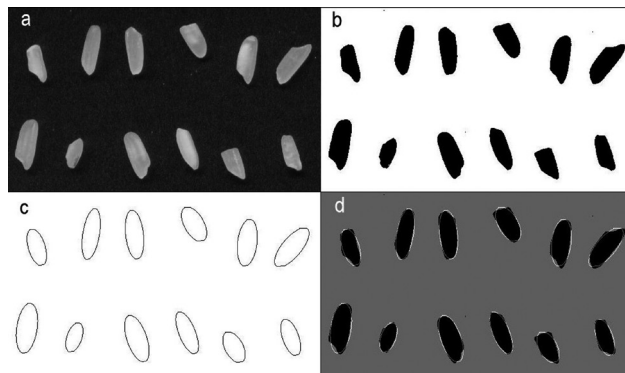


Figura 4. a) Imagen original de una porción de la muestra, b) Imagen binarizada, c) Elipse que mejor ajusta, d) Superposición de las imágenes b) y c).

Las imágenes de la figura 4 son resultados de la aplicación del programa ImageJ ® sobre las muestras analizadas. La figura 4a ilustra una porción de la imagen de una muestra. La imagen se binariza (figura 4b), y se procesa con una de las funciones predefinidas del programa ImageJ que permite obtener para cada grano la elipse que mejor ajusta (figura 4c). Éste consiste en sustituir el área del grano de arroz por una elipse que cumple las mismas propiedades geométricas que la del área del grano. El programa también permite obtener, para cada elipse, las longitudes de sus ejes mayor L y menor A. En la figura 4d se presenta la superposición del área proyectada con la elipse que mejor ajusta, tanto para granos enteros como partidos. Se observa que el eje mayor de la elipse es coincidente con el largo del grano, del mismo modo que el eje menor lo es con el ancho, condición que se cumple tanto para granos enteros como partidos.

Para la determinación de k para cada variedad, se emplean la muestra de granos enteros, la de partidos y una de enteros y partidos. Una vez determinado k para cada variedad, se obtiene a partir de (3) el volumen por PDI para las dos muestras de enteros y partidos de esa variedad reservadas para la evaluación, se contrasta su volumen con el obtenido por el método de desplazamiento de tolueno y se calcula la desviación relativa porcentual (DRP). Al con-

Muestra	Doble Carolina	Doble Carolina Integral	Koshiihikari	Fortuna
Enteros	0,63	0,63	0,63	0,64
Partidos	0,62	0,61	0,62	0,65
Mezcla	0,61	0,62	0,63	0,64
Promedio ± DS	0,62 ± 0,01	0,62 ± 0,01	0,63 ± 0,01	0,64 ± 0,01

Tabla 1. valor de la constante k para las muestras analizadas.

Variedad	Muestra test	V _{exp}	V _{var}	DRP	V _{medio}	DRP
		³ mm	³ mm	%	³ mm	%
Doble Carolina	1	6840	6797	0,6	6907	1,0
	2	6870	6912	0,6	7023	2,2
Doble Carolina Integral	1	6970	6881	1,3	6992	0,3
	2	6860	6899	0,6	7009	2,2
Koshihikari	1	6880	6861	0,3	6861	0,3
	2	6860	6891	0,4	6891	0,4
Fortuna	1	14179	14008	1,2	13789	2,8
	2	14342	14224	0,8	14001	2,4

Tabla 2. Comparación de los volúmenes obtenidos. Los valores sombreados se corresponden con las DRP máximas.

siderar como referencia al valor del volumen obtenido por el método del tolueno, la DRP se calcula con la expresión:

$$DRP = \frac{V_{exp} - V_{var}}{V_{exp}} \cdot 100 \quad (5)$$

Donde V es el volumen V_{var} calculado con el valor k_{var} de la variedad o V_{medio} calculado con el k_{medio}.

El modelo propuesto para la determinación del volumen a partir de PDI se compara luego con el presentado por Varnamkhasti *et al.* (2007), en el cual la determinación del volumen de una muestra de n granos se obtiene con la siguiente expresión:

$$V_{Total} = 0,25 \sum_{n=1}^N \left[\left(\frac{\pi}{6} \right) L_n \cdot (A_n + E_n)^2 \right] \quad (6)$$

Donde los valores de L_n, A_n y E_n son obtenidos con el empleo de un calibre y representan el largo, ancho y espesor del grano enésimo.

RESULTADOS

Los valores de la constante k obtenidos para los cuatro tipos analizados, se presentan en la tabla 1.

Se observa que los valores de k son muy similares para las diferentes variedades y constituciones de las muestras, con valor promedio 0,63 y dispersión 0,01. A fin de ponderar la influencia del valor de k en la determinación del volumen empleando PDI, en la tabla 2 se presentan, para las dos muestras de evaluación (test) de cada variedad, los valores del volumen experimental V_{exp} (obtenido por desplazamiento de tolueno); el volumen V_{var} (empleando el valor de k correspondiente a cada variedad [k_{var}] en la ecuación [5]); el valor V_{medio} (obtenido empleando el k promedio [k_{medio}] de las variedades analizadas en la ecuación [5]) y las DRP.

A fin de comparar el modelo con el propuesto por Varnamkhasti *et al.* (2007), reemplazamos el valor de k_{medio} hallado en la expresión (6): si consideramos

$$E_n = k_{medio} A_n = 0,63 A_n \quad (7)$$

Reemplazando (7) en (6) resulta

$$V_{Total} = 0,35 \sum_{n=1}^N L_n \cdot A_n^2 \quad (8)$$

Y reemplazando (7) en (3) resulta

$$V_{PDI} = 0,33 \sum_{n=1}^N L_n A_n^2 \quad (9)$$

Al comparar (8) y (9) observamos que los coeficientes que acompañan a las sumatorias son similares para ambos modelos. El volumen obtenido al emplear (8) es un 6,1% mayor que el obtenido por el modelo propuesto.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se desarrolló un método para la determinación del volumen de una muestra de granos de arroz pulidos que emplea un escáner de escritorio y mínimos requerimientos computacionales.

Para las variedades analizadas, el modelo arroja resultados satisfactorios para muestras de granos enteros, partidos o mezclas de ambos.

El análisis de los resultados presentados en la tabla 2 permiten apreciar que el método propuesto y el modelo empleado son robustos, ya que las DRP en la medida del volumen determinado por PDI comparadas con la determinación por el método de desplazamiento de tolueno, son menores al 1,3% cuando se emplea el k_{var} e inferiores al 2,8% cuando se emplea el k_{medio}.

El resultado obtenido con el método propuesto es consistente con el empleado por Varnamkhasti *et al.* (2007). El método desarrollado permite determinar de manera indirecta, a partir de la imagen, el volumen individual de cada grano en forma automática, rápida y objetiva. Evita las dificultosas y tediosas determinaciones de las dimensiones

morfológicas de los granos en forma individual empleando un calibre, como así también el empleo de sustancias químicas que pueden resultar perjudiciales para la salud (tolueno) y con consiguiente pérdida de la muestra. Estas características permiten procesar de manera segura un mayor número de muestras en menor tiempo sin requerir de una persona experta para realizar las determinaciones. El método empleado no es destructivo y permite llevar un registro en imágenes de las muestras analizadas, las que pueden ser procesadas por diferentes usuarios para validar la información contenida en ellas.

Como aspecto a resolver está la condición de que en la imagen los granos no estén en contacto entre sí. Esta cuestión se encuentra en estudio para resolverla de manera mecánica o a partir de un software.

A fin de generalizar el modelo propuesto en este trabajo se debería extender su aplicación a otras variedades de arroz.

BIBLIOGRAFÍA

- CHENG-JIN, DU; DA-WEN, SUN. 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), 230-249.
- COURTOIS, F.; FAESSEL, M.; BONAZZI, C. 2010. Assessing breakage and cracks of parboiled rice kernels by image analysis techniques. *Food Control*, 21(4), 567-572.
- CHOI, K.Y.; KIM, S.S. 2005. Morphological analysis and classification of types of surface corrosion damage by digital image processing. *Corrosion Science*, 47 (1), 1-15.
- DHAWAN, A.P.; BUELLONI, G.; GORDON, R. 1986. Enhancement of Mammographic Features by Optimal Adaptive Neighborhood Image Processing. *Medical Imaging, IEEE Transactions on*, 5 (1), 8-15.
- FIRATLIGIL-DURMUŞ, E.; ŠÁRKA, E.; BUBNÍK, Z.; SCHEJBAL, M.; KADLEC, P. 2010. Size properties of legume seeds of different varieties using image analysis. *Journal of Food Engineering*, 99(4), 445-451.
- GARNERO, S. 2012. Calidad intrínseca de los granos en la cosecha. Tesis de Maestría en Tecnología de Alimentos. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. 44-45.
- GUNASEKARAN, S. 1996. Computer vision technology for food quality assurance. *Trends in Food Science & Technology*, 7(8), 245-256.
- JAIN, R.K.; BAL S. 1997. Properties of Pearl Millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66 (2), 85-91
- LLOYD, B.J.; CNOSSEN, A.G.; SIEBENMORGEN, T.J. 2001. Evaluation of two methods for separating head rice from brokens for head rice yield determination. *Applied Engineering in Agriculture*, 17 (5), 643-648.
- MUCSI, L. 2001. Characterisation of oil-industrial contamination using aerial and thermal images - EARSeL Symposium, Drezda in: *A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation*, (ed: Buchroithner). Balkema, Rotterdam pp. 373-377.
- MOHSEENIN, N.N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. 2^{da} edición. Gordon and Breach Science Publishers (Eds), New York.
- OLAJIDE, J.O.; IGBEKA, J.C. 2003. Some physical properties of groundnut kernels. *Journal of Food Engineering*, 58(2), 201-204.
- OSPINA MACHADO, J.E. 2002. *Características Físico Mecánicas y Análisis de Calidad de Granos*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 63-65.
- RAZAVI, S.M.; MAZAHERINASAB, M.; NIKFAR, F.; SANAEI-FARD H. 2008. Physical Properties and Image Analysis of Wild Pistachio Nut (Raneh). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 3(2), 61-71.
- SAKAI, N.; YONEKAWA, S.; MATSUZAKI, A.; MORISHIMA, H. 1996. Two-dimensional image analysis of the shape of rice and its application to separating varieties. *Journal of Food Engineering*, 27(4), 397-407.
- SANSOMBOONSUK, S.; AFZULPURKAR, N. 2006. The Appropriate Algorithms of Image Analysis for Rice Quality Evaluation, The 20th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. 18-20 October, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- VAN DALEN, G. 2004. Determination of the size distribution and percentage of broken kernels of rice using flatbed scanning and image analysis. *Food Research International*, 37(1) 51-58.
- VARNAMKHAISTI, M.G.; MOBILI, H.; JAFARI, A.; RAFIEE, S.; SOLTANABADI, M.H.; KHEIRALIPOUR, K. 2007. Some engineering properties of paddy (var. sazan-degi). *International Journal of Agriculture and Biology*, 9(5), 763-766.
- VALERA, M.; VELASTIN, S.A. 2005. Intelligent distributed surveillance systems: a review. *Vision, Image and Signal Processing, IEE Proceedings*, 152(2), 192-204.
- YADAV, B.K.; JINDAL, V.K. 2001. Monitoring milling quality of rice by image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 33(1) 19-33.
- ZHENG, C.; DA-WEN, SUN; ZHENG, C. 2006. Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection – a review. *Trends in Food Science & Technology*, 17 (12) 642-655.