

Recibido 22 de octubre de 2015 // Aceptado 14 de diciembre de 2016 // Publicado online 12 de julio de 2017

Método para la determinación de la densidad de una muestra de granos enteros de alubia por procesamiento digital de imágenes

CLEVA, M.S.¹; SAMPALLO, G.M.¹; RODRIGUES DA FONSECA, C.¹; AQUINO, D.C.¹; LISKA, D.O.¹; VENTRE, F.R.¹

RESUMEN

En este trabajo se presenta una metodología alternativa para la determinación de la densidad de una muestra de granos enteros de alubia (*Phaseolus vulgaris* L) basada en procesamiento digital de imágenes, caracterizada por su sencillez y fácil implementación. Requiere de las medidas de la masa y del volumen de la muestra, las que son realizadas con una balanza y con un modelo tridimensional del grano respectivamente. En este modelo tridimensional se asume que el volumen de cada grano es proporcional a su largo y al cuadrado de su ancho. Estos dos últimos valores son determinados a partir del empleo de técnicas de procesamiento digital de imágenes aplicadas a la imagen de muestras de granos enteros obtenidas con un escáner de escritorio. La constante de proporcionalidad se determina experimentalmente por comparación con el volumen de la muestra obtenido posteriormente por el método de desplazamiento de tolueno. Se prepararon diez muestras para determinar y analizar el comportamiento de la constante de proporcionalidad y cinco para validación del modelo propuesto. La densidad obtenida con esta metodología para las muestras de validación se contrastó con la obtenida con el método de desplazamiento de tolueno siendo la diferencia relativa porcentual inferior al 5%.

Palabras clave: Morfología, escáner, volumen de grano, *Phaseolus vulgaris* L.

ABSTRACT

This paper presents a methodology for determining the density of a sample of whole bean grains (*Phaseolus vulgaris* L) based on digital image processing, characterized by its simplicity and easy implementation. It requires measures of the mass and the volume of the sample, which are made with a scale and with a three-dimensional model of the grain respectively. In this three-dimensional model it is assumed that the volume of each grain is proportional to its length and to the square of its width. These two values are determined from the use of techniques of digital image processing applied to the image of whole grain samples obtained with a desktop scanner. The proportionality constant is determined experimentally by comparison with the volume of the sample subsequently obtained by the toluene displacement method. Ten samples to determine and analyze the behavior of the constant of proportionality and five for validation of the proposed model were prepared. The density obtained with this methodology for the validation samples was contrasted with that obtained with the toluene displacement method being the relative percentage difference lower than 5%.

Keywords: morphology, scanner, grain volumen, *Phaseolus vulgaris* L.

¹UTN Facultad Regional Resistencia, French 414, H3500CHJ Resistencia, Chaco, Argentina. Correo electrónico: clevamario@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

La determinación de la densidad de un objeto se puede realizar a partir de su masa y de su volumen. En general, para el caso de granos y 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 o su valor proporcional. En el caso de algunos granos como el arroz, el peso hectolítrico es una buena estimación, tanto de la calidad física del grano como de la calidad molinera (Garnero, 2012). Sin embargo, esta magnitud, también llamada densidad aparente, no es una buena medida de la densidad del grano. Su determinación se realiza con una balanza tipo Schopper, y en la medida de la magnitud se tienen en cuenta los espacios intergranos que afectan a la medida del volumen, dando un valor de densidad menor. La dificultad para la determinación de la densidad de una muestra de granos de manera rutinaria podría deberse a la complejidad para determinar el volumen de una muestra de granos de manera simple y no destructiva.

Por una parte, el método de desplazamiento de tolueno (Mohsenin, 1986) es una de las formas para determinar la densidad en granos y semillas. Este método se basa en el principio de Arquímedes y utiliza un picnómetro con tolueno para las determinaciones de volumen. Se emplea tolueno en lugar de agua porque al tener una tensión superficial 25 veces menor no es absorbido por el grano. Sin embargo, el empleo de tolueno requiere de una configuración adecuada de laboratorio y de técnicas especiales por su alta toxicidad. Asimismo, esta determinación provoca que cada muestra procesada sea destruida, imposibilitando su reutilización con otros fines.

Por otra parte, en el caso de las semillas, se plantearon modelos morfológicos que permiten calcular su volumen a partir de una serie de medidas evitando la inmersión en líquido de las muestras. La determinación del volumen en estos casos depende de un modelo geométrico que emplea las medidas efectuadas con un calibre (o pie de rey). 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. Con el mismo instrumento, Olajide e Igbeka (2003) midieron el ancho, largo y espesor de granos de maní y con estos valores calcularon el volumen y lo compararon con el obtenido por el método de Arquímedes. Del mismo modo, Varnamkhasti *et al.* (2007) midieron 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. 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.

El empleo del calibre para la determinación de las dimensiones puede ser un proceso complicado y tedioso, sobre todo si los granos son pequeños o difíciles de manipular. Para reducir los errores asociados a este tipo de proceso se requiere de una metodología más sencilla para la de-

terminación de las medidas necesarias para el cálculo del volumen que permitirá conocer junto con la masa, el valor de la densidad.

Los algoritmos de procesamiento digital de imagen (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 solo en la determinación de la calidad, sino también para el diseño de equipamiento para procesamiento, transporte, ordenamiento, separación y almacenamiento.

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 estos. 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. Dell 'Aquila (2004) propone una visión general de la integración experimental entre la prueba de germinación estándar y un sistema de análisis de imagen asistido por computadora para semillas de brócoli, rábano, lentejas, lechuga y zanahoria. Sandeep *et al.* (2013) revisan conceptos básicos en el análisis de imágenes asistido por computadora, orientado a la morfología de semillas en términos de calidad y germinación y diversos aspectos de análisis de imágenes de semillas como la adquisición de imágenes y reconocimiento de patrones. Clevea *et al.* (2013) presentan un método para la determinación del volumen en granos de arroz por PDI.

Se presenta en este trabajo una metodología para la determinación de la densidad de una muestra de granos de alubia caracterizada por su sencillez y fácil implementación. Su uso requiere de una balanza digital, un escáner de escritorio con adaptador de transparencias y técnicas de PDI que son aplicadas a la imagen digital de la muestra. La metodología emplea un modelo geométrico del grano de alubia que permite determinar su volumen de manera proporcional al producto del cuadrado del ancho por el largo del grano. La constante de proporcionalidad es obtenida experimentalmente y los valores del ancho y el largo por algoritmos de PDI. El volumen así obtenido de la muestra y su respectiva masa permiten calcular la densidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del modelo para la determinación del volumen

Se puede considerar al volumen del grano de alubia como una fracción del volumen de un paralelepípedo cuyo espesor (E_i), ancho (A_i) y largo (L_i) coinciden con las mismas magnitudes definidas para el grano (figura 1).

Así el volumen del grano V_i se puede expresar como:

$$V_i = k_1 \cdot E_i \cdot A_i \cdot L_i \quad (1)$$

Donde k_1 es menor que la unidad por ser el volumen V_i del grano menor que el volumen del paralelepípedo. La ob-

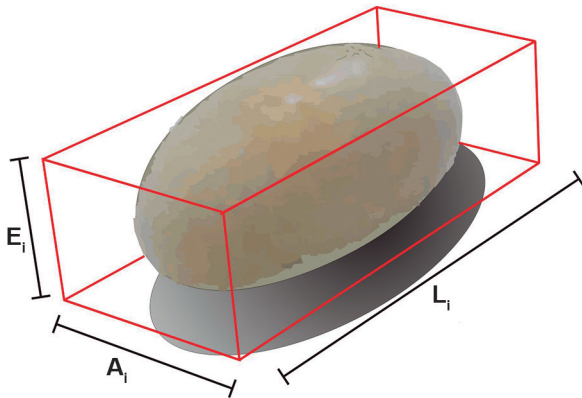


Figura 1. Modelo de grano de alubia y el paralelepípedo que lo contiene. L_i (longitud), E_i (espesor) y A_i (ancho).

servación de un grano de alubia permite ver que L_i es la mayor. Le sigue en dimensión el ancho A_i y por último el espesor E_i .

$$E_i < A_i < L_i \quad (2)$$

Cuando el grano está apoyado sobre una superficie plana, lo hace de modo que el plano formado por las longitudes A_i y L_i quedan paralelos al plano de apoyo lo que valida la suposición de que A_i es mayor que E_i . De este modo, cuando se emplea un escáner y se colocan los granos sobre la bandeja de esta, el escáner registra una imagen para cada grano donde siempre están visibles A_i y L_i .

Como el espesor E_i nunca está visible en la imagen, supondremos que este es proporcional a A_i (figura 2).

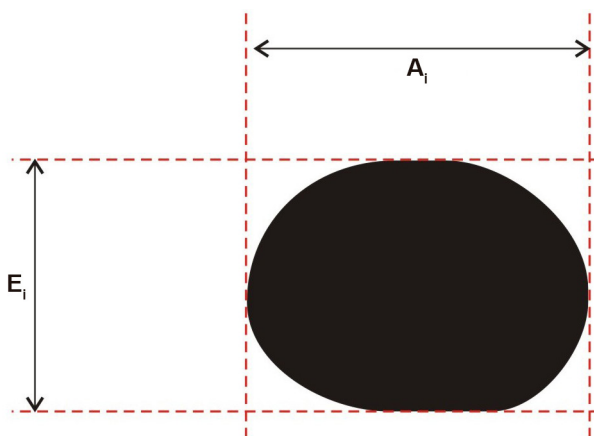


Figura 2. Sección del grano de alubia de ancho A_i y espesor E_i .

$$E_i = k_2 \cdot A_i \quad (3)$$

Reemplazando (3) en (1)

$$V_i = k_1 \cdot E_i \cdot A_i \cdot L_i = k_1 \cdot k_2 \cdot A_i \cdot A_i \cdot L_i = k \cdot A_i^2 \cdot L_i \quad (4)$$

donde

$$k = k_1 \cdot k_2 \quad (5)$$

Por lo tanto, para una muestra de n granos, el volumen total de la muestra obtenido por procesamiento digital de imágenes, V_{PDI} , se puede escribir como:

$$V_{PDI} = k \cdot \sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot L_i \quad (6)$$

En este modelo se asume que esta constante es invariante para diferentes dimensiones de granos mientras estos sean enteros.

Determinación de la constante k del modelo

Para una muestra de n granos se determina el volumen experimental V_{Exp} empleando el método desplazamiento de tolueno. De la igualación entre el volumen experimental V_{Exp} y el volumen de la muestra V_{PDI} se puede determinar la constante k .

$$k = \frac{V_{Exp}}{\sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot L_i} \quad (7)$$

La longitud L_i para cada grano se obtiene como la máxima longitud de lo que se denomina el diámetro de Feret y que se define como la distancia entre dos líneas paralelas tangentes (figura 3) en lados opuestos del contorno del grano (Merkus, 2009). Como ancho A_i se toma la máxima distancia perpendicular a la anterior entre puntos opuestos del contorno.

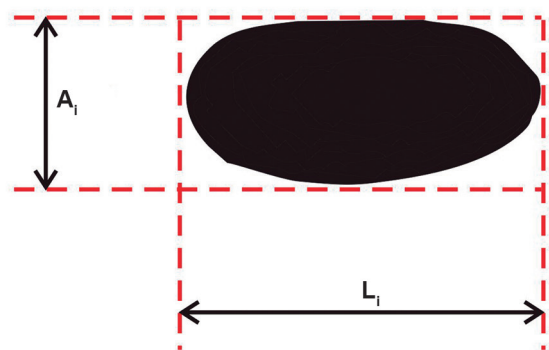


Figura 3. Sección del grano y diámetro mayor y menor de Feret L_i y A_i respectivamente.

La determinación de estas distancias se realiza con una de las funciones predefinidas del programa ImageJ®. Con el valor de la constante k determinada se usa la expresión (6) para calcular el volumen de la muestra. Al ser el volumen del grano menor que el del paralelepípedo que lo contiene, el valor de la constante k debe ser inferior a la unidad.

Con la masa m de cada muestra y su volumen dado en la expresión (6) como suma de los volúmenes de los granos que la forman se puede obtener la densidad por procesamiento digital de imágenes δ_{PDI} como:

$$\delta_{PDI} = \frac{m}{k \cdot \sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot L_i} \quad (8)$$

Adquisición de las imágenes

Para la adquisición de las imágenes de los granos de alubia se trabajó con un escáner Hewlett Packard G3110. Este modelo de escáner cuenta con un adaptador de transparencias. El adaptador de transparencias ilumina el grano de atrás lo que permite la obtención de las imágenes del área proyectada de los granos en lugar del área expuesta que se obtiene de escanear con el grano de frente. El uso del adaptador de transparencias tiene la ventaja de poder obtener directamente las imágenes de las secciones de los granos sin requerir de complicados algoritmos de binarización y de configuración de escena. Como desventaja el adaptador de transparencias de este modelo de escáner presenta una región pequeña para la ubicación de los granos, pero suficiente para las determinaciones experimentales requeridas.

Las imágenes de la muestra fueron escaneadas con una resolución de 200 pixeles por pulgada y fueron procesadas con el programa gratuito ImageJ®. Con este software se realizó la binarización requerida para aplicar algoritmos que permiten, para cada grano, determinar el largo y el ancho (con las funciones predefinidas denominadas distancias de Feret máxima y mínima). Los granos se distribuyeron sobre la región del escáner destinada a la adquisición de transparencias previendo que los granos no estén en contacto entre sí como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Configuración de equipamiento requerido: escáner y computadora.

Preparación de las muestras

Las muestras de granos de alubias fueron extraídas de un paquete comercial. Se prepararon un total de 15 mues-

tras de granos enteros, sin manchas y sin rajaduras en la superficie (figura 5). La selección de dichos granos se realizó al azar para todos los casos y fueron extraídas de un único paquete. Fueron seleccionados por inspección visual con ayuda de una lupa y las cantidades de cada muestra se relacionan con la cantidad de granos que pueden ubicarse en una región de la bandeja del escáner destinada al uso del adaptador de transparencias.



Figura 5. Granos usados (a) y descartados (b) para la experiencia.

Cada muestra analizada tenía una cantidad de entre 20 y 28 granos. Se determinaron sus masas con una balanza digital marca Denver Instrument modelo MXX 612 con una precisión de 0,01 gramos. De este total de 15 muestras, 10 de ellas se usaron para determinar la constante k de proporcionalidad y las 5 restantes para validar el modelo propuesto.

RESULTADOS

La tabla 1 presenta, para cada muestra, el total de granos que la conforman, su volumen determinado experimentalmente V_{Exp} , la sumatoria del cuadrado del ancho A_i por la longitud L_i y la constante k correspondiente. Se calcula finalmente el valor de la constante k y su desviación estándar.

Como puede observarse, el valor de la constante k tiene una desviación estándar del orden del 2% del valor promedio. En todos los casos el valor de la constante k resultó menor que la unidad como se había mencionado previamente.

Con la constante k calculada, se determinó para cada una de las muestras de control su masa, el total de granos, los volúmenes V_{Exp} y V_{PDI} y la densidad experimental δ_{Exp} como la obtenida por procesamiento de imágenes δ_{PDI} (tabla 2). Adicionalmente en la última columna y tomando como referencia el valor de la densidad obtenida experimentalmente, se calcula la desviación relativa porcentual DRP mediante la expresión:

$$DRP = \frac{\delta_{Exp} - \delta_{PDI}}{\delta_{Exp}} \cdot 100 \quad (9)$$

Muestra	Granos	V_{Exp} (cm ³)	$\sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot L_i$ (cm ³)	k
1	24	8,11	18,88	0,43
2	26	7,90	18,75	0,42
3	26	9,08	20,66	0,44
4	24	9,04	20,92	0,43
5	27	9,40	22,27	0,42
6	25	8,42	19,43	0,43
7	23	8,53	19,63	0,43
8	27	8,46	20,67	0,41
9	27	8,27	18,62	0,44
10	27	8,86	20,49	0,43
Media				0,43
Desviación				0,01

Tabla 1. Parámetros medidos y calculados para las muestras analizadas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se desarrolló un método para la determinación de la densidad de una muestra de granos de alubia que emplea una balanza, un escáner de escritorio (con adaptador de transparencias) conectado a una computadora y mínimos requerimientos computacionales.

La metodología propuesta para la determinación de la densidad de granos de alubia en este trabajo asegura una desviación relativa porcentual promedio del orden del 3%. El método es seguro, rápido, no destructivo, robusto, independiente del operador, de bajo costo y de sencilla implementación. No requiere de configuraciones complejas de hardware ni de procesos de calibración por lo que su implementación no presenta dificultades operativas. El desarrollo de modelos geométricos para la determinación de volumen en granos ya ha sido usado por los autores del presente trabajo. A diferencia de un trabajo previo para granos de arroz, en este solo se trabaja con granos enteros. Sin embargo se estima que la metodología de trabajo es

aplicable a otros tipos de granos y semillas, procedimiento que se está llevando a cabo.

BIBLIOGRAFÍA

- CLEVA, M.S.; SAMPALLO, G.M.; GONZALEZ THOMAS, A. O. ACOSTA, C.A. 2013. Método para la determinación del volumen de una muestra de granos de arroz mediante el procesamiento digital de imágenes. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 39, 2, 185-190.
- DELL'AQUILA, A. 2004. Application of a Computer-Aided Image Analysis System to Evaluate Seed Germination under Different Environmental Conditions. *Ital. J. Agron.*, 8, 1, 51-62.
- 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, pp. 44-45.
- IMAGEJ. Disponible <http://rsbweb.nih.gov/ij/> verificado 22 de octubre de 2015.
- JAIN, R.K.; BAL S. 1997. Properties of Pearl Millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66 (2), 85-91.
- MERKUS, H.G. 2009. Particle Size Measurements: Fundamentals, Practice, Quality. Springer, p. 15.
- MOHSENIN, N.N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. 2.ª edición. Gordon and Breach Science Publishers (Eds), Nueva York, pp. 94-104.
- OLAJIDE, J.O.; IGBEKA, J.C. 2003. Some physical properties of groundnut kernels. *Journal of Food Engineering*, 58(2), 201-204.
- RAZAVI, S.M.; MAZAHERINASAB, M.; NIKFAR, F.; SANAEIFARD H. 2008. Physical Properties and Image Analysis of Wild Pistachio Nut (Raneh). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 3(2), 61-71.
- SANDEEP VARMA, V.; KANAKA DURGA, K.; KESHAVULU, K. 2013. Seed image analysis: its applications in seed science research *International Research Journal of Agricultural Sciences*, 1(2) pp. 30-36.
- 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.
- VARNAMKHAJASTI, M.G.; MOBILI, H.; JAFARI, A.; RAFIEE, S.; SOLTANABADI, M.H.; KHEIRALIPOUR, K. 2007. Some engineering properties of paddy (var. sazandegi). *International Journal of Agriculture and Biology*, 9(5), 763-766.

Muestra de control	Granos	Masa (g)	Volumen experimental (cm ³)	Volumen a partir de la imagen (cm ³)	Densidad experimental (g/cm ³)	Densidad a partir de la imagen (g/cm ³)	Desviación relativa porcentual (%)
1	23	9,93	7,72	7,54	1,29	1,32	2,4
2	23	8,94	7,03	7,15	1,27	1,25	1,6
3	27	10,35	8,15	8,20	1,27	1,26	0,6
4	28	10,44	8,38	8,86	1,25	1,18	5,4
5	29	11,15	8,98	9,13	1,24	1,22	1,6

Tabla 2. Resultados de la densidad obtenidos por procesamiento de imagen y por desplazamiento de tolueno para las cinco muestras de control.