

Arroz: rendimiento de molienda mediante análisis de imágenes

María Ana Loubes y Marcela Tolaba

Departamento de Industrias - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires.
Buenos Aires, Argentina. mtolaba@di.fcen.uba.ar

Resumen

En la molienda, el grano de arroz se descascara y pule para obtener el arroz blanco o elaborado. Durante este proceso el grano puede quebrarse y esto afecta un importante índice de calidad: el rendimiento en grano entero. Tradicionalmente éste se calcula como el porcentaje en peso de la fracción de granos enteros (no quebrados). Se desarrolló un método de análisis de imágenes que permite evaluar el porcentaje de grano quebrado sobre la base de la cuantificación de las variaciones del área proyectada del grano quebrado respecto del grano entero. Los ensayos se realizaron en un molino arrocero de laboratorio (100 g) cubriendo un rango amplio del porcentaje de grano quebrado (6-100%). Los rendimientos obtenidos mediante imágenes se correlacionaron satisfactoriamente con los del método tradicional, encontrándose correspondencia lineal significativa entre ambos métodos ($r^2=0,998$). En relación al método tradicional, el análisis digital de imágenes presenta algunas ventajas significativas: evita la etapa de separación de granos quebrados y enteros, requiere menor tiempo de proceso y proporciona la distribución de tamaño de los granos en la muestra analizada. Se trata de una alternativa fácil de implementar que redundará en beneficio de la industria arrocera.

Palabras clave: descascarado de arroz, pulido de arroz, rendimiento en grano entero, arroz blanco, área proyectada del grano.

Introducción

El arroz es posiblemente el grano que se cultiva desde hace más tiempo y más extensamente, pues ocupa aproximadamente el 9% de la tierra total cultivable y es el segundo cereal en importancia para la nutrición humana, después del trigo. Actualmente es la base de la alimentación de dos tercios de la población mundial.

La molienda en el arroz difiere completamente de la del trigo. El trigo es molturado para obtener harina, mientras que la molienda del arroz incluye el descascariñado, la eliminación del salvado y finalmente la separación de los granos partidos y dañados (Rosell y Gómez 2006).

El arroz proveniente del campo es el entero, conocido mundialmente como "paddy" o arroz cáscara; contiene cáscara externa fibrosa y no comestible llama-

da cascarilla (glumas y glumillas). Cuando se le quita la cáscara pero se conservan el pericarpio (afrecho) y el germen, es el arroz integral o arroz cargo, de color marrón, que después de pulido se transforma en arroz blanco.

Contrariamente a los otros cereales, el arroz se produce solamente para la alimentación humana y no se utiliza como pienso. Los criterios de calidad más importantes del arroz son: el rendimiento de la molienda, la apariencia del grano crudo, el comportamiento en la cocción y la textura y aroma del grano cocido (Juliano, 1979; León y Carreres, 2002). El rendimiento de la molienda es una medida de la proporción de granos enteros no quebrados y refleja la variedad, las condiciones del cultivo, recolección y manejo posterior. En la apariencia del grano crudo participan la biometría (dimensiones y forma del grano), el color y las características del perlado (zonas opacas del grano, sin cristalinidad). El contenido de amilosa del grano es el componente químico que más influencia tiene sobre la calidad de cocción (Juliano 1979) y su valor es una medida indirecta de la textura, dada su correlación positiva con la consistencia del grano cocido. Además se utiliza para clasificar las variedades de arroz en cinco categorías: céreo o "waxy" (<5%), de baja amilosa (16-20%), contenido intermedio (21-25%), alto (26-30%) y muy alto de amilosa (>30%) (Jayamani y col., 2007). El contenido proteico también ha sido propuesto como parámetro de calidad, pero tiene menor influencia y es mucho más dependiente del ambiente del cultivo que el contenido de amilosa (Gómez, 1979).

Para aumentar el rendimiento industrial, el arroz cáscara se somete a un proceso de parbolizado, que consiste en una hidratación a temperatura superior a la ambiente, seguida de un tratamiento con vapor a presión. Finalmente el arroz parbolizado se seca, descascara y pule para obtener arroz blanco. El parbolizado favorece la migración de nutrientes desde el pericarpio hacia el endosperma enriqueciendo el producto. El rendimiento en grano entero (no quebrado) se incrementa dado que la gelatinización posibilita la recuperación de grano fisurado.

En los últimos años, para determinar algunas propiedades relacionadas con la calidad de los alimentos, se ha pasado de realizar controles visuales y técnicas analíticas a la aplicación de técnicas de visión por computadora. El uso de estas técnicas ha permitido

mejorar significativamente el control de los procesos, principalmente por su rapidez, su inocuidad al interactuar con los alimentos y su bajo costo en comparación con otros métodos.

Los sistemas de visión por computadora utilizan dispositivos para la adquisición de imágenes y programas que permiten el procesamiento de la imagen digitalizada para su mejora, restauración, codificación y segmentación, así como la obtención de datos morfológicos, topológicos, densimétricos y colorimétricos. Se recurre a la técnica de análisis de imágenes cuando se desea obtener datos cuantitativos a partir de informaciones visuales. La calidad de la imagen objeto de estudio es de importancia decisiva para la aplicación de este tipo de análisis y deben estar libres de alteraciones y presentar contrastes nítidos. Existe una gran variedad y cantidad de algoritmos que se aplican, esencialmente en imágenes binarias, aunque existen extensiones de la teoría para aplicarse en imágenes multinivel (Ibarra, 2012).

En el campo de los alimentos, las técnicas de análisis de imágenes se presentan como métodos alternativos para la estimación de la cantidad de grasa y su distribución en productos cárnicos (Ventanas y col. 2000), la evaluación de calidad de frutas deshidratadas (Agudelo y col. 2009), y para la cuantificación de parámetros de calidad en cereales (dimensiones del grano).

En el caso particular del arroz, se han desarrollado métodos de análisis de imágenes para el seguimiento del fisurado durante el secado del grano y para el estudio de la cinética de hidratación, que es una etapa clave en procesos tales como el parbolizado y la molienda húmeda. Yadav y col. (2007) monitorearon con una cámara CCD los cambios dimensionales de diez variedades de arroz con diferente contenido de amilosa (16–29%) y humedad inicial (8, 12 y 16% b.s.) durante su hidratación a temperatura ambiente. Correlacionaron con éxito los cambios dimensionales (longitud, ancho, perímetro y área proyectada del grano) con los contenidos de humedad inicial y amilosa.

Courtois y col. (2010) establecieron el porcentaje de fisuras en granos de arroz mediante el análisis de imágenes adquiridas mediante un escáner. Desarrollaron una técnica compleja para la segmentación de los granos, utilizaron un programa de código abierto (libre) y validaron el método con valores de referencia e inspección visual.

En vista del potencial de este método, el presente estudio tuvo por objeto determinar utilizando el análisis de imágenes el rendimiento en grano entero durante la molienda de arroz cáscara. Para ello se analizaron imágenes digitales adquiridas por escaneado de muestras correspondientes a un amplio rango del porcentaje de grano quebrado. Los resultados se compararon con los obtenidos mediante el método tradicional basado en el porcentaje en peso de los granos enteros (no quebrados).

Materiales y métodos

Material

Se empleó una variedad local de arroz cáscara tipo largo fino (variedad RP2) provista por Molinos Río de La Plata S.A. (Argentina). El grano con un contenido de humedad de 13% (b.s.) fue almacenado a -8°C en bolsas de polietileno hasta su utilización.

Preparación de las muestras

El arroz se estabilizó a temperatura ambiente antes de los ensayos. Una parte del arroz cáscara se hidrató a 25°C durante 30 minutos. El grano humectado se almacenó por 24 horas en heladera, luego se secó en corriente de aire a 75°C ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) hasta alcanzar 13% (b.s.) de humedad y finalmente se enfrió rápidamente en heladera con el propósito de fragilizarlo. Se prepararon mezclas con diferente porcentaje de arroz quebrado usando diferentes proporciones de arroz fragilizado y no fragilizado (control) según se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Contenido porcentual de las mezclas de arroz cáscara (control) y arroz cáscara fragilizado

N° de muestra	Arroz cáscara (%)	Arroz cáscara fragilizado (%)
1 (control)	100	0
2	75	25
3	50	50
4	25	75
5	0	100

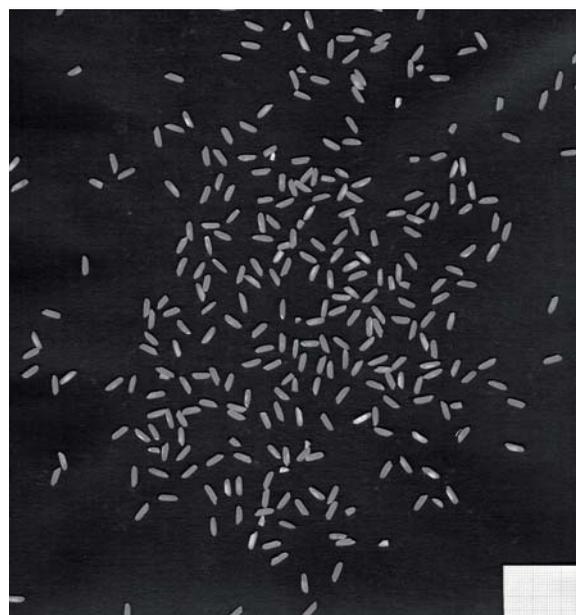
Molienda del arroz

Las muestras de arroz cáscara (100 g) se procesaron en un molino arrocero de laboratorio Suzuki (modelo MT-95, Suzuki Co., São Paulo, Brazil) (Figura 1). Los granos se descascararon pasando a través de dos rodillos de goma, obteniéndose el arroz integral y eliminándose la cáscara por medio de un ciclón. En una segunda etapa el arroz descascarado ingresó a la cámara pulidora del molino, donde por abrasión perdió el germen y el pericarpio (salvado), obteniéndose arroz blanco o elaborado. El tiempo de permanencia en la cámara pulidora fue de dos minutos, el mismo proporcionó un buen grado de pulido para el tipo de arroz usado. La molienda de arroz generalmente origina desde un 4 a un 40% de granos partidos (o quebrados), dependiendo de la calidad del grano de arroz y del equipo de molienda usado. Se considera arroz quebrado o partido a los granos que presentan un tamaño menor al 75% ($\frac{3}{4}$) del grano entero. Los granos partidos se separan de los granos enteros para obtener arroz de mesa con la calidad adecuada. Posteriormente pueden ser separados por tamaño dependiendo de su uso final (bebidas, obtención de harina).

Figura 1. Molino arrocero de laboratorio Suzuki MT-95



Figura 2. Muestra control (N°1) con escala milimetrada empleada para la calibración



Determinación del rendimiento en grano quebrado

Método tradicional. Con el fin de separar el grano quebrado del entero, se utilizó un tambor horizontal (provisto de muescas en su superficie lateral) que se hace rotar mediante el molino. El arroz quebrado (más pequeño que el entero) es retenido en las muescas, asciende al rotar el tambor y se acumula en una cubeta, quedando en el tambor solamente el grano entero (no quebrado). Las muestras de arroz pulido se procesaron individualmente fijando el tiempo de rotación del tambor separador en 10 minutos. La masa de arroz blanco entero (ME) y quebrado (MQ) se determinó con una precisión de $\pm 0,01$ g usando una balanza Mettler Toledo. El porcentaje de quebrado se definió de acuerdo a la Ecuación (1), siendo la masa de arroz blanco (MB) la suma del arroz entero y quebrado.

$$RQ(\%) = 100 \left(\frac{M_Q}{M_B} \right) \quad (1)$$

Método digital. El tamaño de muestra se determinó en base a ensayos previos, siendo requerido un mínimo de 200 partículas para asegurar significación estadística, acotando el error experimental a un rango conveniente (1-5%). Los ensayos de adquisición de imágenes se realizaron por duplicado, utilizándose aproximadamente por muestra 5 g de arroz pulido que se dispersaron sobre una impresora multifunción HP PSC 1610 junto con una escala de papel milimetrada. Se obtuvieron imágenes escaneadas en escala de grises en formato TIFF adquiridas con una resolución de 200 dpi (Figura 2). Para mejo-

rar el contraste de las imágenes, se utilizó una cartulina negra adherida a la tapa del escáner. El análisis de las imágenes se realizó con el programa ImageJ versión 1.42q. Con el propósito de determinar el porcentaje de quebrado (ec. 2) se estableció el área correspondiente al grano entero (AB) y al grano quebrado (AQ). El procedimiento se detalla en resultados y discusión.

$$\%Q = 100 \left(\frac{A_{\text{total } Q}}{A_{\text{total } B}} \right) \quad (2)$$

Análisis comparativo de las metodologías empleadas

Tras la determinación del porcentaje de quebrado con las dos metodologías, se compararon estadísticamente los resultados empleando correlación y regresión lineal, utilizando para tal fin el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 11.5.1.

Resultados y discusión

Método tradicional

Los valores del porcentaje de grano quebrado obtenidos mediante la utilización del molino Suzuki MT-95 se muestran en la tabla 2, junto con los correspondientes porcentajes de grano entero (%RE). Puede apreciarse que se registra un aumento del %RQ a medida que aumenta la fracción de grano fragilizado, obteniéndose un valor máximo del porcentaje de grano quebrado para esta fracción (muestra N°5). Cabe señalar que la disminución de la masa de arroz blanco (MB) denota el arrastre de pequeñas partículas de grano quebrado junto con el salvado que abandona la cámara pulidora del molino.

Tabla 2. Porcentaje de grano de arroz quebrado determinado por el método tradicional (ec.1)

N° de muestra	MB (g)	% RE ^a	% RQ
1 (control)	68	93,53	6,47
2	51,4	76,46	23,54
3	50,3	60,04	39,96
4	38	40,53	59,47
5	36,8	0	100,00

^a %RE=100 - %RQ

Método digital

Las imágenes en escala de gris (8-bit) se binarizaron empleando el algoritmo Otsu (Courtois y col., 2010) que permitió delimitar los granos automáticamente (Figura 3). Posteriormente se realizó un análisis exploratorio del tamaño de partículas. En base a los resultados obtenidos se determinó que las partículas menores a 0,3 mm² representaban impurezas (Figura 4.a) y se las eliminó realizando un nuevo análisis que comprendía tamaños mayores a las mismas (Figura 4.b). Para determinar el área máxima del arroz quebrado se aplicó el criterio de calidad que considera arroz quebrado o partido a los granos que presentan un tamaño menor al 75% (³/₄) del grano entero. Para ello se determinó el tamaño promedio de los granos enteros de la muestra control (Figura 4.c, Tabla 3), la cual poseía el mayor número promedio de granos enteros. El área máxima de los granos de arroz quebrado se calculó como:

$$(\frac{3}{4}) A \text{ media } E = A \text{ máx. } Q = 10,20 \text{ mm}^2 \quad (3)$$

En resumen, el criterio utilizado para analizar las imágenes adquiridas fue considerar para la determinación del área total las partículas cuyos tamaños estuviesen comprendidos entre 0,30 y 16,1 mm², mientras que para determinar el área del grano quebrado se consideraron las partículas entre 0,30 y 10,2 mm². Finalmente se realizó un análisis del tamaño de partícula, determinando el área total (AB) y el área de grano quebrado (AQ) para cada muestra, teniendo en cuenta los criterios mencionados. El porcentaje de grano quebrado calculado según la ec. (2) se exhibe para las diferentes muestras en la tabla 4.

La aplicación del procesamiento digital de imágenes permite obtener además la distribución del tamaño de partícula para cada muestra, considerando el área total de grano (0,30-16,1 mm²). En la figura 5 se observa el aumento de finos a medida que se incrementa el porcentaje de quebrado y una menor dispersión en las muestras con 0% y 100% de arroz fragilizado. A partir de la muestra N°3 (con 50% de arroz fragilizado) son más frecuentes los granos quebrados, con un valor característico de moda (área de la moda: 2,93 mm²).

Figura 3. Imágenes binarias correspondientes a diferentes porcentajes de grano de arroz quebrado. 1: 6,5%; 2: 23,5%; 3: 40%; 4: 59,5%; 5: 100%.

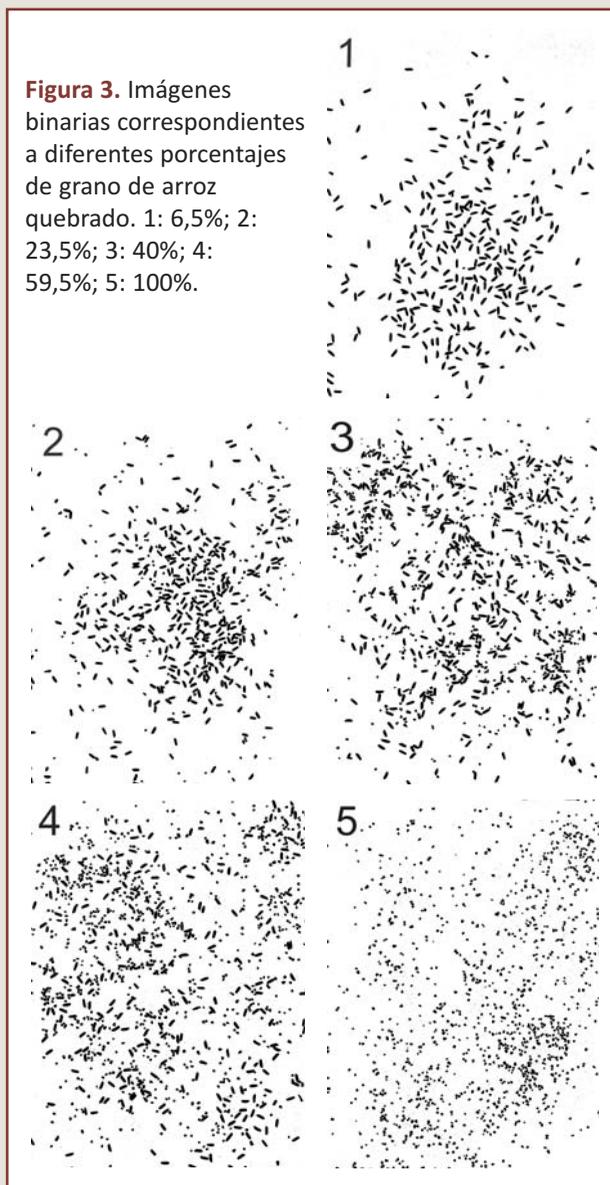


Tabla 3. Análisis del área proyectada de los granos de arroz entero^a

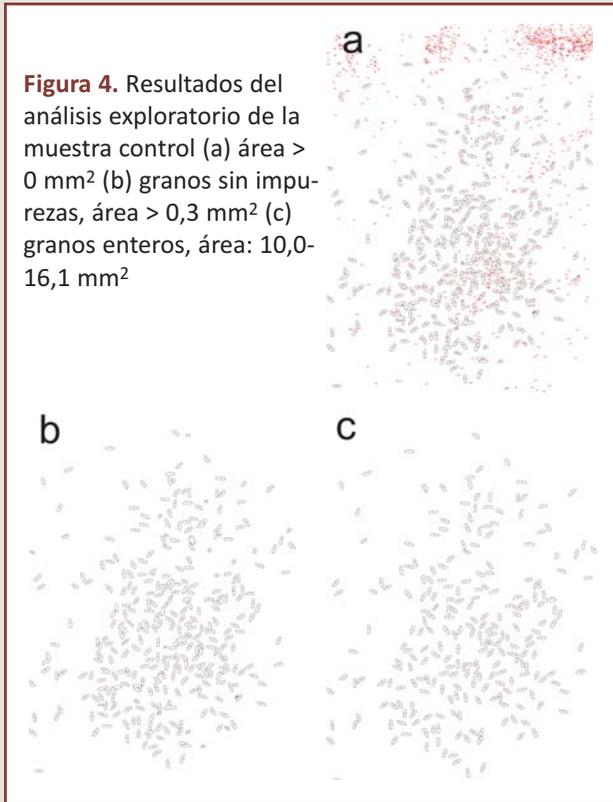
Min	10,098	Media	13,606
Max	16,089	DS ^b	1,225

^a área en mm²; ^b DS: desviación estándar

Tabla 4. Valores promedio del porcentaje de arroz quebrado determinado por el método de análisis de imágenes digitales (ec. 2).

N° de muestra	AQ (mm ²)	AB (mm ²)	%Q
1	203,9	3503,6	5,82
2	931,4	3960,2	23,52
3	1852,6	5046,2	36,71
4	3102,7	5766,5	53,80
5	3768,4	3970,1	94,92

Figura 4. Resultados del análisis exploratorio de la muestra control (a) área > 0 mm² (b) granos sin impurezas, área > 0,3 mm² (c) granos enteros, área: 10,0-16,1 mm²



vo para un nivel de confianza del 99%. Ambos análisis indican que existe una relación lineal positiva entre los porcentaje de arroz quebrado calculados a partir de ambos métodos. Los resultados obtenidos con el procesamiento digital de imágenes son equivalentes a los encontrados con la metodología tradicional, obteniéndose un coeficiente de determinación (R²) para la recta de regresión lineal de 0,987. Dada la bondad del ajuste el método digital es validado en un amplio rango de porcentaje de quebrado, siendo la ecuación del ajuste:

$$\%Q = 0,903 (\%RQ) + 0,618 \quad (4)$$

Conclusiones

El empleo del procesamiento digital de imágenes constituye una alternativa al método tradicional para la determinación del porcentaje de quebrado o rendimiento de la molienda de arroz. Una reducción de los tiempos operativos, la obtención de mayor información y los bajos costos componen las ventajas de esta nueva metodología.

El programa ImageJ proporciona funciones útiles para agilizar la determinación del área y el conteo de numerosas partículas, siendo necesario inicialmente un estudio exploratorio del material que se desea examinar, para definir un protocolo de análisis. Posteriormente un operador con un breve entrenamiento en esta técnica puede obtener de manera parcialmente automática

Análisis comparativo de las metodologías empleadas
Para determinar si existe una relación entre las metodologías aplicadas se realizó un diagrama de dispersión (Figura 6) y un análisis de correlación, siendo el coeficiente de correlación de Pearson (r = 0,993) significati-

Figura 5. Distribuciones de tamaño de partícula correspondientes a diferentes porcentajes de grano de arroz quebrado. 1: 6,5%; 2: 23,5%; 3: 40%; 4: 59,5%; 5: 100%.

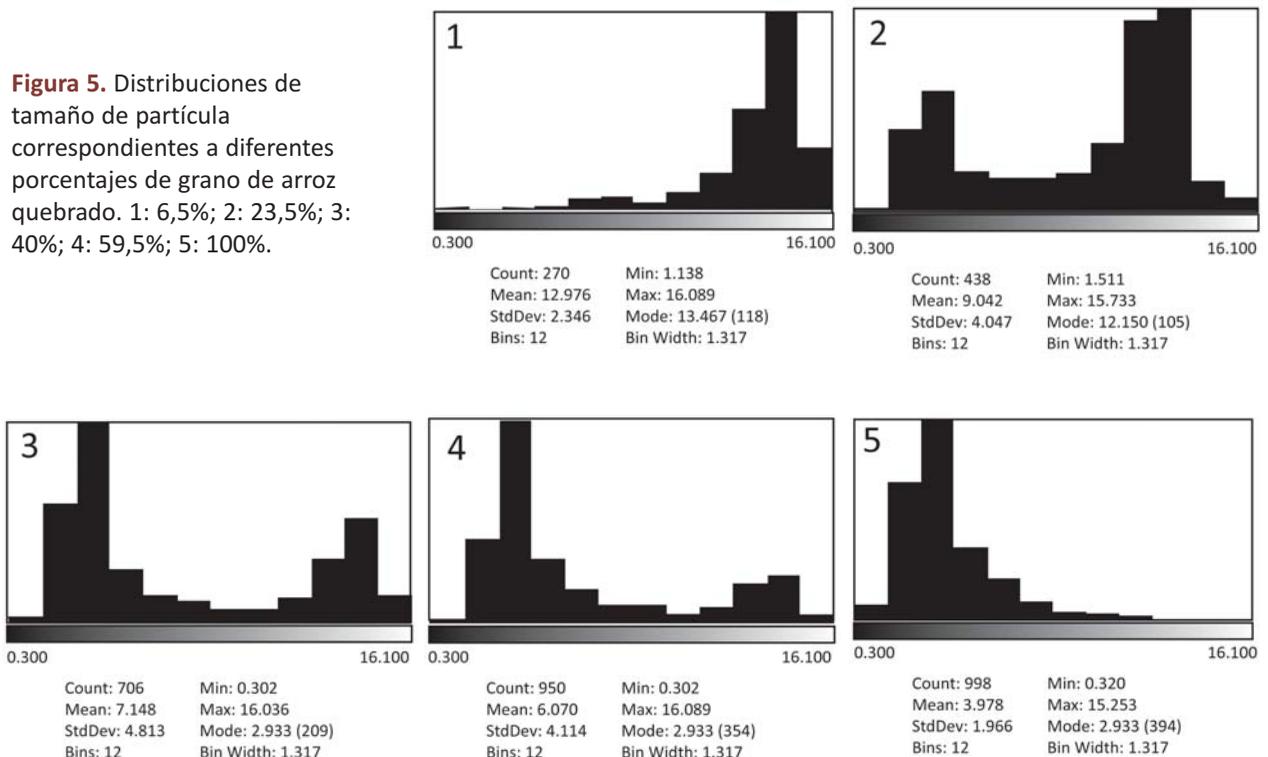
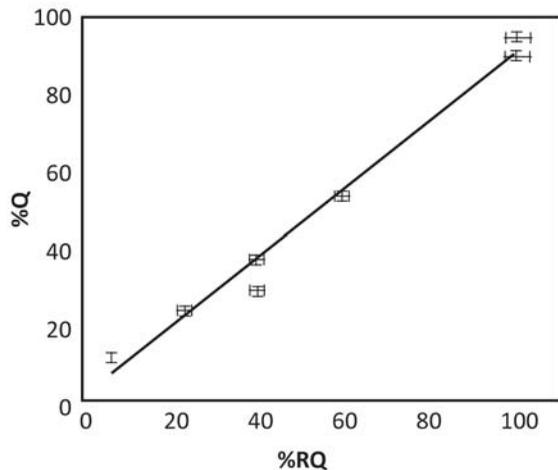


Figura 6. Relación entre los porcentajes de grano quebrado del método de análisis de imágenes (Q) y el método tradicional (RQ).



numerosas variables de estudio. En resumen, el procesamiento de imágenes ha resultado una herramienta muy útil para establecer la calidad del arroz en base al porcentaje de grano quebrado.

El procesamiento digital de imágenes también podría emplearse para determinar otros índices de calidad como la blancura (grado de pulido) y la opacidad o falta de cristalinidad (granos enyesados, panza blanca).

Agradecimientos

Los autores desean agradecer la asistencia financiera de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires (Proyecto UBACyT 20020110200357) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Referencias

- Agudelo, L.M., Acevedo, N., Schebor, C., Buera, P. (2009). Influencia del estado físico, sorción de agua y movilidad molecular sobre la velocidad de pardeamiento en frutas liofilizadas. XII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Memorias de congresos.
- Courtois, F., Faessel, M., Bonazzi, C. (2010). Assessing breakage and cracks of parboiled rice kernels by image analysis techniques. *Food Control*, 21, 567-572.
- Gomez, K.A. (1979). Effect of environment on protein and amylose content of rice. En *Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality*, International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 58-67.
- Ibarra Zannatha, J.M. (2012). *Visión artificial para robots*. Ed. Editorial Académica Española, España.
- Jayamani, P., Negrão, S., Brites, C., Oliveira, M.M. (2007). Potential of waxy gene microsatellite and single-nucleotide polymorphisms to develop japonica varieties with desired amylose levels in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Cereal Science*, 46, 178-186.
- Juliano, B.O. (1979). The chemical basis of rice grain quality. En *Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality*, International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 68-89.
- León, J.L., Carreres, R. (2002). Calidad del arroz: Criterios para una adecuada valoración. *Vida Rural*, 145, 38-40.
- Rosell, C.M., Gómez, M. (2006). Rice. En: *Bakery products: Science and Technology*. Ed Y.H. Hui. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, 123-133.
- Ventanas, J. (2000). Coordinador y el cap V Métodos para la clasificación de la materia prima Jorge Ruiz y María Jesús Petrócn Tecnología del jamón ibérico. Mundi-Prensa Madrid, España, 156.
- Yadav, B. K., Jindal, V. K. (2007). Modeling changes in milled rice (*Oryza sativa* L.) kernel dimensions during soaking by image analysis. *Journal of Food Engineering*, 80, 359-369.



Celebramos 30 años de trayectoria ofreciendo formulaciones de espesantes, estabilizantes y gelificantes para mejorar la industria de alimentos.



Goma Xántica, Goma Gellan, Alginatos, Medios de Cultivo, Recubrimiento para Quesos, Enzimas y Conservantes.
Lavalle 1125 (1048) Buenos Aires, Argentina Tel: +(5411) 4382-8332 e-mail: biotec@biotecsa.com.ar www.biotecsa.com.ar