



Cuantificación del porcentaje de grano quebrado total en arroz (*Oryza sativa* L.) mediante análisis digital de imágenes¹

Quantification of the percentage of total broken grain in rice (*Oryza sativa* L.) by digital image analysis¹

Luis Arley Zúñiga Picado², Stefanny Campos Boza³, Juan Roberto Mora Chaves², Luis Barboza-Barquero³

¹ Recepción: 27 de junio, 2022. Aceptación: 18 de noviembre, 2022. Este trabajo formó parte del trabajo final de graduación del primer autor para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas. Universidad de Costa Rica.

² Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería de Biosistemas, San Pedro, Montes de Oca, San José, Costa Rica. luis.zunigapicado@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0001-7756-8532>); juanroberto.mora@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-8001-5004>).

³ Universidad de Costa Rica, Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, San Pedro, Montes de Oca, San José, Costa Rica. stefanny.campos@ucr.ac.cr (autora para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-6408-8043>); luisorlando.barboza@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-4140-6598>).

Resumen

Introducción. El análisis digital de imágenes (ADI), se puede utilizar para evaluar parámetros de calidad de los granos de arroz, como el porcentaje de grano entero. **Objetivo.** Cuantificar el porcentaje de grano quebrado total mediante análisis digital de imágenes (ADI) aplicado a la cuantificación de calidad de arroz (*Oryza sativa* L.). **Materiales y métodos.** El presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica (UCR), en el año 2021. Se trabajó con muestras de arroz pilado comercial. Se desarrolló una placa muestral para facilitar el acomodo de los granos y adquirir las imágenes digitales. Para los porcentajes de puntilla, grano quebrado y grano entero se utilizaron los parámetros de longitud establecidos en el reglamento técnico de Costa Rica RTCR 202:1998, los cuales se cuantificaron de forma convencional y por medio de imágenes digitales. El ADI incluyó el proceso de segmentación y binarización de los objetos (puntilla, grano quebrado y grano entero), para cuantificar sus áreas y catalogar los elementos identificados digitalmente en valores de peso. **Resultados.** Se logró cuantificar el porcentaje de puntilla y de grano quebrado con ADI. La correlación entre las variables cuantificadas con ADI con las evaluadas de forma convencional fue mayor a 0,93 para la propiedad de puntilla y de 0,98 para grano quebrado. El análisis convencional requiere entre 1 a 2 horas para determinar el porcentaje de grano quebrado total y demás propiedades de calidad en cada muestra de arroz. El análisis digital requiere de 7 a 23 minutos por placa muestral, para analizar la totalidad de las propiedades evaluadas (puntilla y grano quebrado). **Conclusiones.** El método de análisis digital aplicado permitió determinar las propiedades de grano quebrado total en muestras compuestas por cientos de granos.

Palabras clave: atributos físicos, grano quebrado, placa muestral, captura.



Abstract

Introduction. Digital image analysis (DIA) can be used to evaluate the quality parameters of rice grains, such as the percentage of whole grain. **Objective.** To quantify percentage of total broken grain by means of digital image analysis (DIA) applied to the quantification of rice (*Oryza sativa* L.) quality. **Materials and methods.** The present work was developed in facilities of the Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) of the Universidad de Costa Rica (UCR), Costa Rica, in 2021. The work was carried out with commercial rice samples. A sample plate was developed to facilitate the arrangement of the grains and to acquire the digital images. The length parameters established in the technical regulation of Costa Rica RTCR 202:1998 were used to quantify the percentages of small broken, broken grains, and whole grains, which were quantified conventionally and by means of digital images. The DIA included the segmentation and binarization process of the objects (small broken, broken grains, and whole grain) to quantify their areas and catalog the digitally identified elements in weight values. **Results.** It was possible to quantified the percentage of small broken and broken grain with DIA. The correlation between the variables quantified by DIA and those evaluated conventionally was greater than 0.93 for the small broken property and 0.98 for broken grain. Conventional analysis requires 1 to 2 hours to determine the percentage of total broken grain and other quality properties in each rice sample. The digital analysis requires 7 to 23 minutes per sample plate to analyze all the properties evaluated (small broken and broken grain). **Conclusions.** The digital analysis method applied allowed to determine the total broken grain properties in samples composed of hundreds of grains.

Keywords: physical attributes, broken grain, sample plate, capture.

Introducción

El arroz es considerado como uno de los cereales más importantes dentro de la canasta básica costarricense. Durante el periodo 2020/2021 se obtuvo una producción total nacional de 152 721 toneladas métricas y un consumo per cápita de 46,83 kg (Corporación Arrocera Nacional [CONARROZ], 2021). Debido a la importancia y a la demanda de este alimento, es necesario disponer de granos de calidad con el fin de fortalecer la seguridad alimentaria.

La comercialización del arroz se rige por estándares nacionales de calidad que determinan los valores máximos permitidos para cada factor o característica física, así como los métodos de análisis respectivos. Estos estándares se establecen mediante reglamentos técnicos nacionales, tanto para arroz pilado como para arroz en granza (RTCR 202:1998 y RTCR 406:2007, respectivamente) (Presidencia de la República & Ministerio de Economía y Comercio, 1998; Presidencia de la República et al., 2008).

La calidad del grano de arroz está dividida en tres grupos o características fisicoquímicas. El primero se asocia a la calidad de la molienda, el segundo con la calidad de mesa (características físicas) y el tercer grupo se relaciona con la calidad de cocción que involucra propiedades sensoriales y nutricionales (Butardo et al., 2019). Las características físicas de calidad se evalúan después de realizar los procesos de molienda del arroz en granza (Presidencia de la República et al., 2008).

Aspectos físicos como el quebrado total, compuesto por la sumatoria de masa del quebrado grueso y la puntilla, así como el porcentaje de grano entero y daños en los granos, son determinantes para la comercialización del arroz (Presidencia de la República, & Ministerio de Economía y Comercio, 1998; Presidencia de la República et al., 2008); de ahí la importancia de la precisión de los análisis de calidad utilizados. El reglamento técnico nacional RTCR 202:1998 define el concepto de “puntilla” como aquel grano de arroz pilado que pueda ser separado por una criba con alvéolos circulares de 2,38 mm (calibre No. 6) y al grano quebrado grueso, como aquel elemento que

pueda ser contenido y separado por una criba con alvéolos circulares de 4,76 mm de diámetro (calibre No. 12/64) (Presidencia de la República & Ministerio de Economía y Comercio, 1998).

Como parte de los análisis de estos aspectos físicos, a nivel de laboratorio, es común que se deban manejar grandes cantidades de muestras, lo cual incrementa los costos asociados con la evaluación. El tiempo para analizar el porcentaje de grano quebrado total y de daños en cada muestra de arroz, es de aproximadamente una a dos horas, lo cual depende del estado de cada muestra (Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS), comunicación personal, 8 de enero, 2021).

Uno de los métodos de análisis utilizados como alternativa para determinar la calidad de los granos es el de análisis digital de imágenes (ADI). Este tipo de análisis es una herramienta que permite identificar y cuantificar de forma automática o semiautomática atributos físicos y estructurales en los granos, mediante técnicas no destructivas y de rápido procesamiento (Camelo-Méndez et al., 2012; Sindhu et al., 2021). Esto es una ventaja para tratar de disminuir posibles errores humanos durante la cuantificación (Salas-Arias et al., 2017).

Los estudios se han enfocado en propiedades como: forma, dimensiones, blancura, color y daño interno, entre otras (Camelo-Méndez et al., 2012; Herath, 2016; Mahale & Korde, 2014; Sindhu et al., 2021). Esta es una excelente metodología en comparación con algunos métodos biológicos y químicos, los cuales son más costosos y de mayor complejidad (Gayathri Devi et al., 2017). El ADI es utilizado en análisis e identificación de diferentes variedades de grano, ha mostrado resultados altos en exactitud, al ser comparados con la calificación técnica dada por los evaluadores en diferentes sistemas de prueba (Acosta et al., 2017; Ghatkamble & Vishwanatha, 2017; Li et al., 2011). La implementación de un análisis basado en ADI, podría permitir a la industria disminuir los costos asociados con la evaluación de la calidad, así como el tiempo en el cual se obtienen los resultados.

El ADI se basa en el procesamiento de imágenes, para esto se han utilizado los métodos de suavizado, parametrización de valores límites (denominado “thresholding” en inglés), filtración, dilatación, erosión, detección de límites geométricos, remoción de fondo, contraste, segmentación de imágenes, entre otros utilizados para localizar objetos y regiones de interés (Gudipalli et al., 2016; Petrou & Petrou, 2010; Tanwong et al., 2018). Además, se han utilizado análisis de capas por color en configuración rojo, verde, azul (RGB, en inglés), como métodos de percepción por múltiples capas para el entrenamiento de una red o sistema de procesamiento (Aznan et al., 2021; Camelo-Méndez et al., 2012; Silva & Sonnadara, 2013; Sindhu et al., 2021). De forma similar, se ha realizado el análisis de muestras digitales con escala de grises y redes neuronales de información continua neuronal, como método de entrenamiento en sistemas de análisis digital (Mousavirad et al., 2012). También se ha utilizado el análisis por configuración: matiz, saturación e intensidad (HSI, en inglés) (Gudipalli et al., 2016).

Esta investigación tuvo como objetivo estudiar el uso del análisis digital de imágenes (ADI) para cuantificar el porcentaje de grano quebrado total (grano quebrado más puntilla) en granos de arroz (*Oryza sativa* L.).

Materiales y métodos

El trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del CIGRAS, de la Universidad de Costa Rica, ubicado en San José, Costa Rica, durante el año 2021.

Sistema de muestreo y análisis

Para el análisis se utilizaron diez unidades muestrales de arroz pilado (grano de tipo largo) comercial. Cada unidad estaba compuesta por tres bolsas comerciales en presentaciones de 1,8 kg, con la misma marca, porcentaje de grano entero y lote de producción. Para efectos de este trabajo, cada unidad experimental se denominó utilizando el porcentaje de grano entero y una letra para la marca comercial (A, B, C, D y E).

Análisis tradicional

Se realizó un análisis manual de los granos de arroz para determinar el porcentaje de puntilla y grano quebrado grueso, según los criterios establecidos en el reglamento técnico nacional para arroz pilado RTCR 202:1998 (Presidencia de la República & Ministerio de Economía y Comercio, 1998). Inicialmente se separó la muestra de análisis por medio de un homogeneizador y divisor de precisión (Seedburo, modelo SB 106-115), y una balanza electrónica con una precisión de más de 0,001 g, para extraer 100 g de arroz a partir de los 1,8 kg de muestra. Posteriormente, se utilizó un separador mecánico de granos con dos placas con alvéolos circulares de calibres N°6 (2,38 mm) y N°12/64 (4,76 mm), como referencia para separar la puntilla y el grano quebrado grueso, respectivamente. Una vez separados los granos, se extrajo e identificó cada fracción que quedó sobre las placas, sobre una mesa de trabajo, de forma manual y con el uso de pinzas, se utilizó como referencia el diámetro de los alvéolos de las placas para clasificar los granos como puntilla o grano quebrado grueso, según fuese el caso. Una vez clasificados los granos, se procedió a cuantificar el porcentaje de puntilla (ecuación 1) y el porcentaje de grano quebrado grueso (ecuación 2).

$$PP = \left(\frac{P}{Ma} \right) * 100 \quad [1]$$

$$PQG = \left(\frac{Q + P}{Ma} \right) * 100 \quad [2]$$

Donde:

P: masa de puntilla obtenida.

Ma: masa de la muestra.

Q: masa de grano quebrado obtenida.

Una vez concluido el análisis, los granos se incorporaron a las muestras de 100 g, luego se almacenaron en condiciones óptimas, dentro de una bolsa plástica, en una cámara fría a 8,5 °C de temperatura y 50 % de humedad relativa. Estas muestras se utilizaron después para llevar a cabo el análisis digital.

Diseño de sistema para orden y captura digital de las muestras

Se optó por un diseño de placa en acrílico con patrón uniforme rectangular, de dimensiones: 21,9 cm × 25,7 cm y un espesor igual a 2 mm. La placa muestral contó con 1430 orificios o alveolos, con forma ovalada y de dimensiones 8,45 mm × 2,4 mm (Figura 1). El diseño procuró colocar y conservar cada muestra, se evitó dañar los granos cuando se presionaban las placas tapadas. Asimismo, se incluyó una pequeña regla removible, en la parte inferior derecha del patrón de perforaciones, la cual permitió calibrar correctamente las unidades de medición del software de análisis digital Fiji ImageJ (Schindelin et al., 2012). Mediante el uso de un acrílico con un grosor no mayor a 3 mm, se procedió a elaborar la placa final con el sistema propuesto.

El sistema contó con una placa inferior lisa, con la función de fijar la muestra de arroz y evitar que los granos se cayeran, una placa central perforada con el patrón de alveolos diseñado para albergar la muestra (25 g de arroz aproximadamente) y una tercera lámina lisa que encierra la muestra desde su posición superior. Además, se utilizaron imanes en los bordes de las placas de fijación superior e inferior, para garantizar un cierre no destructivo que permitiera una fácil liberación de la muestra, así como también una imagen clara de los elementos a analizar (Figura 1). La placa muestral se confeccionó en un taller privado mediante un sistema de corte y grabado láser en

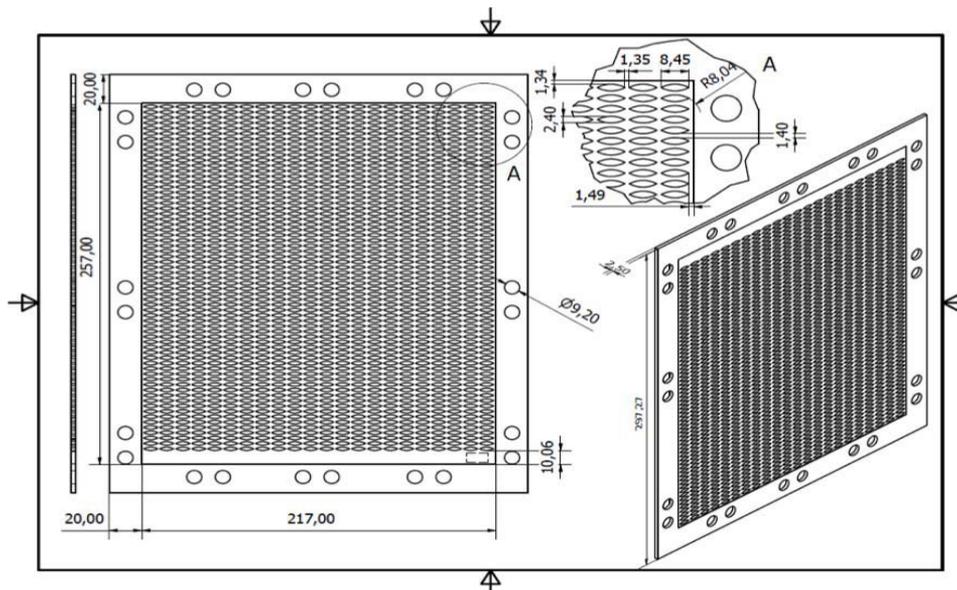


Figura 1. Diseño de placa muestral para granos de arroz (*Oryza sativa* L.) (unidades en mm). Costa Rica, 2022.

Figure 1. Sample plate design for rice (*Oryza sativa* L.) grains (units are in mm). Costa Rica, 2022.

acrílico. La implementación de la placa muestral permitió agilizar el proceso de captura y análisis de los granos, mediante la fijación y la separación de los factores de calidad (puntilla, grano quebrado y grano entero), distribuidos de forma heterogénea en las muestras de arroz.

Análisis digital

Se realizó un análisis digital por peso estimado, en el cual se catalogaron los elementos (puntilla, grano quebrado y grano entero), identificados digitalmente en valores de peso asignados por un modelo lineal. Estos valores se establecieron a partir del estudio realizado en una muestra de arroz, previamente homogeneizada y reducida a una pequeña submuestra compuesta por veinticuatro granos, a los cuales se les determinó su longitud y valor de masa. Para esta submuestra se buscó formar una escala creciente de granos en longitud, se intentó abarcar un muestrario mayor de posibles elementos a identificar. Es importante considerar que estas muestras de granos fueron previamente expuestas a procesos mecánicos de separación y homogeneización en el laboratorio, por lo que se puede esperar gran cantidad de elementos con dimensiones uniformes (Kang et al., 2018). Con base en estos valores se generó un modelo lineal, capaz de asignar un peso al grano en relación con la longitud máxima detectada (ecuación 3).

$$y = 0,0027x + 0,0007 \quad [3]$$

Donde:

y: peso en g.

x: longitud en mm.

El modelo lineal presentó un $R^2 = 0,84$ (Figura 2), lo cual, en conjunto con el análisis del gráfico de residuos, con un comportamiento uniforme, justificó preliminarmente la representatividad de la submuestra.

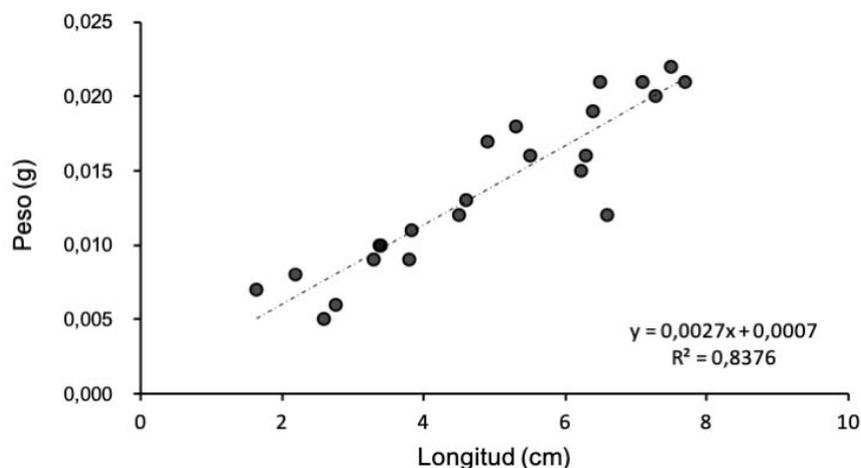


Figura 2. Gráfico de dispersión del modelo de regresión lineal utilizado para la ecuación 3. Costa Rica, 2022.

Figure 2. Dispersion plot of the linear regression model used for equation 3. Costa Rica, 2022.

Para los porcentajes de puntilla, grano quebrado grueso y grano entero se utilizaron los parámetros de longitud establecidos en el RTCR 202:1998 (Presidencia de la República, & Ministerio de Economía y Comercio, 1998). Para puntilla se utilizó una longitud máxima del grano menor o igual a 2,38 mm, para grano quebrado grueso una longitud máxima en el rango de 2,38 mm – 4,76 mm y para grano entero una longitud mayor a 4,76 mm.

La obtención de las imágenes digitales se realizó mediante el escaneo de los granos contenidos en la placa muestral, para ello se usó un escáner de calidad profesional Epson Perfection V700 Photo. Dicho sistema fue capaz de obtener imágenes de alta resolución (6400 ppp, equivalente a 2519,6 píxeles/cm). Para el análisis digital se obtuvieron imágenes de 25 MB y 300 ppp de resolución, todas en formato TIFF.

Las imágenes digitalizadas se procesaron con el software Fiji ImageJ (Schindelin et al., 2012), con el que se obtuvieron archivos de resultados en formato TIFF y CSV. Estos últimos se analizaron con el software Rstudio versión 1.4.1717 (R Core Team, 2020). Para la obtención de porcentajes de características deseadas, se generó un archivo de resultados conjunto por cada muestra.

El análisis general realizado con el software Fiji ImageJ (Schindelin et al., 2012), inició con un proceso de escala, en donde el sistema asignó el número de píxeles presente en una longitud unidimensional real (regla milimétrica en placa muestral). Posteriormente, se continuó con el corte de bordes innecesarios de la imagen y luego el establecimiento de las medidas requeridas para el análisis (área, circunferencia, perímetro, ancho, altura y distancia máxima entre dos bordes definidos del objeto denominado “feret”).

Se procedió con la mejora del contraste, brillo y suavizado de las imágenes, con la intención de reducir la variedad de intensidad entre píxeles vecinos y disminución del ruido en cada imagen. Este paso del análisis se llevó a cabo a través de pre-procesos de organización de los datos (con distribución aleatoria en las imágenes originales) de intensidad en cada una de las bandas que componen la imagen. Los pre-procesos de análisis que ofrece el software Fiji ImageJ (Schindelin et al., 2012), permiten la organización automática de los valores a tendencias de distribuciones definidas (curvas claras), con el fin de facilitar el proceso digital de segmentación (Herath, 2017). En la caracterización geométrica se realizó una conversión de la imagen a una composición en capas: roja, verde y azul (RGB), para avanzar así con la delimitación de parámetros por valores umbral. Después se continuó con un proceso de binarización y segmentación por patrón, para luego terminar así el proceso con el análisis de partículas (Figura 3).



Figura 3. Proceso del análisis digital de imágenes utilizado para evaluar los granos de arroz (*Oryza sativa* L.). Costa Rica, 2022.

Figure 3. Digital image analysis process used to evaluate rice (*Oryza sativa* L.) grains. Costa Rica, 2022.

La calidad de la imagen binaria depende en gran medida de una apropiada elección del umbral para la binarización, lo cual se relaciona con la correcta clasificación de píxeles en grupo. De igual forma, los comandos de pretratamiento o corrección de imagen son requeridos antes de empezar adecuadamente un algoritmo de análisis digital (Herath, 2016; Siddagangappa & Kulkarni, 2014).

Comparación estadística de resultados

Se utilizó como análisis estadístico la prueba de Shapiro-Wilk y el método gráfico Q-Q plot, para analizar la normalidad en las distribuciones de los conjuntos de datos. Además, se realizó la prueba de Spearman para estudiar la correlación entre estos. Esto involucró para la prueba, una misma muestra analizada con dos métodos diferentes, sin variación estadísticamente considerable en la muestra. Todo el análisis estadístico se realizó con el uso del software Rstudio versión 1.4.1717 (R Core Team, 2020).

Resultados

El sistema de placa muestral permitió el análisis de muestras con alta densidad de objetos (100 g), de forma precisa y homogénea, mediante una metodología de aplicación lineal fácil de seguir (Figura 4). También permitió obtener mediciones objetivas y estadísticamente comparables en menores periodos de análisis, en contraste con los métodos tradicionales. Por ejemplo, en el análisis tradicional se requiere entre 1 a 2 h para analizar el porcentaje de grano quebrado total en cada muestra, así como otras propiedades físicas como lo son el grano rojo, dañado, yesoso y manchado, en cada muestra de arroz, lo cual es dependiente del porcentaje de calidad de cada muestra (CIGRAS, UCR, comunicación personal, 8 de enero, 2021). En el caso del análisis digital se requirió de 7 a 23 min por placa (con capacidad de 25 g aproximadamente), para analizar la totalidad de las propiedades evaluadas (puntilla y grano quebrado), lo cual representa una reducción porcentual del 54 % al 23 % en el tiempo.



Figura 4. Captura digital para una muestra de arroz pilado (*Oryza sativa* L.) (a) placa muestral cargada y (b) imagen resultante del procesamiento dimensional obtenida con el software Fiji ImageJ. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 2021.

Figure 4. Digital capture for milled rice (*Oryza sativa* L.) sample (a) sample plate loaded and (b) resulting image from the dimensional processing obtained with Fiji ImageJ software. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 2021.

Resultados para puntilla

El estadístico de correlación Spearman para los resultados de puntilla, obtenidos al comparar los grupos de datos reales con los estimados por ADI, fueron mayores a 0,93, lo que evidencia una fuerte correlación lineal positiva entre las variables pareadas (Figura 5).

Al evaluar muestras comerciales con distintos grados de calidad, se observó una tendencia similar en ambos métodos de cuantificación (Figura 6). Las unidades muestrales con calidades comerciales más altas (99 % y 95 %) presentaron porcentajes de puntilla menores, con promedios iguales a $0,040 \pm 0,01$ puntos porcentuales (pp) y $0,042 \pm 0,04$ pp, respectivamente. En general, se mostró similitud entre los valores de muestras con un mismo porcentaje de calidad comercial, a excepción de las unidades muestrales 91 %-C y 80 %-C, que presentaron porcentajes de puntilla considerablemente distintos a los presentados por las unidades semejantes en porcentaje, pero de distinta marca comercial. Las muestras de 91 % y 80 % grano entero, mostraron promedios iguales a: $0,630 \pm 0,10$ % y $1,776 \pm 0,30$ pp, respectivamente. Se obtuvo un porcentaje menor para aquellas con alto grado de calidad, las presentaciones de 99 % y 95 %, con promedios iguales a: $0,053 \pm 0,04$ y $0,212 \pm 0,05$ pp, respectivamente. Los resultados completos para puntilla, obtenidos mediante el análisis tradicional y con el análisis digital por peso, fueron muy similares.

Resultados para grano quebrado

Los resultados de las pruebas estadísticas de correlación entre el método de análisis tradicional y el método digital por peso, para los valores de grano quebrado, presentaron coeficientes de correlación mayores a 0,98 para ambos estadísticos de la prueba (Figura 7).

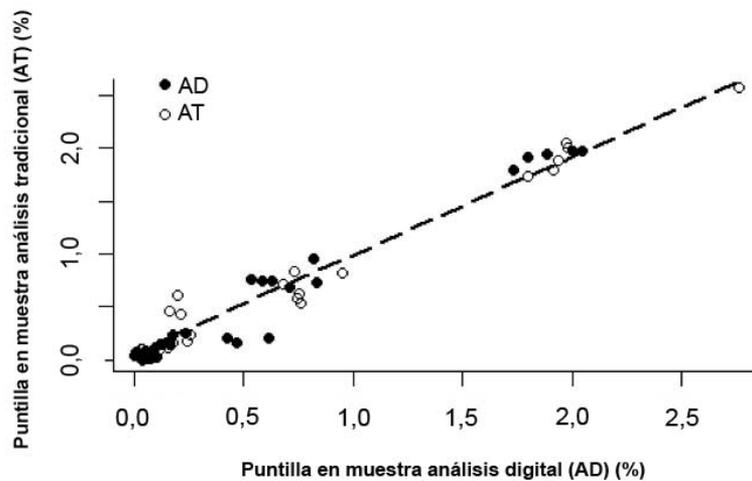


Figura 5. Correlación entre los datos de puntilla en arroz pilado (*Oryza sativa* L.) obtenidos mediante el análisis tradicional (manualmente) (AT) contra los obtenidos por el análisis digital (AD). Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 2021.

Figure 5. Correlation between small broken grains values in milled rice (*Oryza sativa* L.) obtained by traditional analysis (manually) (AT) against those obtained by digital analysis (AD). Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 2021.

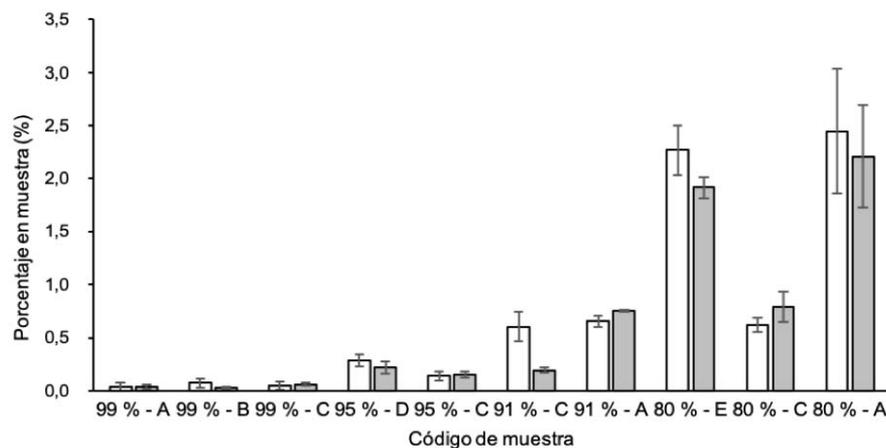


Figura 6. Porcentaje de puntilla obtenido en muestras de arroz (*Oryza sativa* L.) pilado de distintos grados de calidad mediante el método tradicional (barras blancas) y el método digital (barras grises) por peso. No se encontraron diferencias significativas entre métodos, para una misma unidad muestral. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 2021.

La signatura del eje X corresponde al código muestral y está ordenada desde los porcentajes de mayor a menor calidad comercial. Los datos que se indican son el valor promedio y su respectiva desviación estándar en forma de barras.

Figure 6. Percentage of small broken grains obtained in milled rice (*Oryza sativa* L.) of different quality samples, using traditional method (white bars) and digital method (grey bars) by weight. No significant differences were found between methods for a same sample unit. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 2021.

The signature of the axis X is a sample code and is ordered from the highest to the lowest commercial quality percentages. The indicated data is the average value and its respective standard error value as bars.

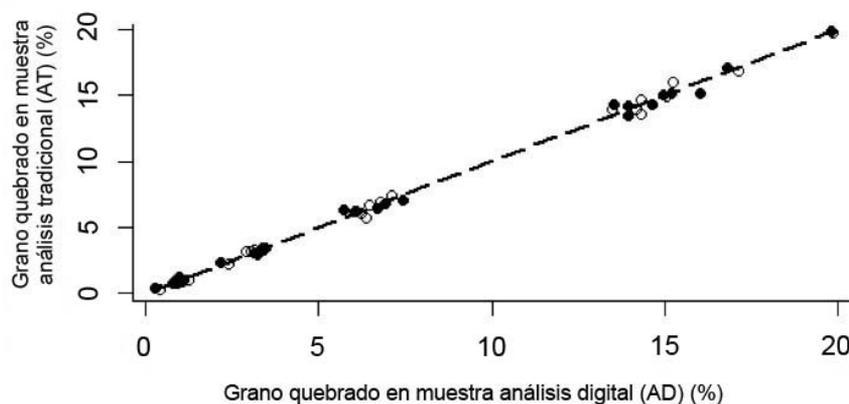


Figura 7. Correlación entre los datos de grano quebrado en arroz (*Oryza sativa* L.) pilado obtenidos mediante el análisis tradicional (manualmente) (AT) contra los obtenidos por el análisis digital (AD). Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 2021.

Figure 7. Correlation between the broken grains values in milled rice (*Oryza sativa* L.) obtained by traditional analysis (manually) (AT) against those obtained by digital analysis (AD). Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 2021.

Los porcentajes de grano quebrado obtenidos de las muestras presentaron diferencias mínimas entre ambos métodos de análisis (Figura 8). Los mayores porcentajes de esta característica fueron encontrados en aquellas unidades con menor porcentaje de calidad comercial (80 %), con valores promedio iguales a $15,4 \pm 1,5$ pp, tanto para el análisis

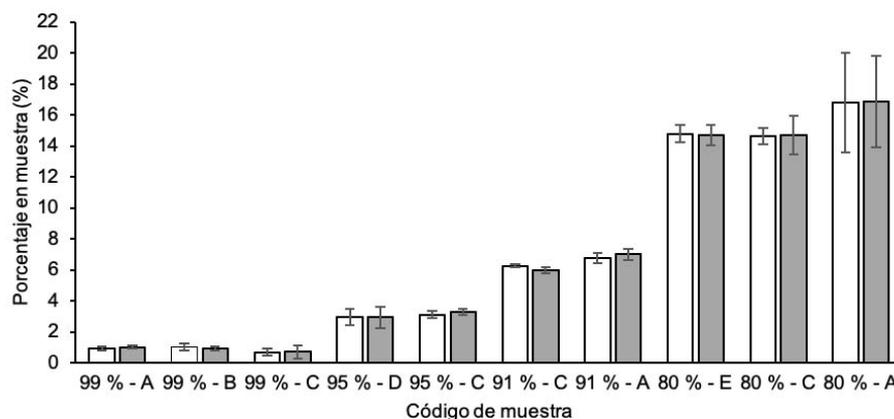


Figura 8. Porcentaje de grano quebrado obtenido en muestras de arroz (*Oryza sativa* L.) pilado de calidad, mediante el método tradicional (barras blancas) y el método digital (barras grises) por peso. No se encontraron diferencias significativas entre métodos, para una misma unidad muestral. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 2021.

La signatura del eje X corresponde al código muestral y está ordenada desde los porcentajes de mayor a menor calidad comercial. Los datos que se indican son el valor promedio y su respectiva desviación estándar en forma de barras.

Figure 8. Percentage of broken grain obtained in milled rice (*Oryza sativa* L.) quality samples, using the traditional method (white bars) and the digital method (grey bars) by weight. No significant differences were found between methods for a same sample unit. Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 2021.

The signature of the X axis is a sample code and is ordered from the highest to the lowest commercial quality percentages. The indicated data is the average value and its respective standard error value as bars.

tradicional como para el análisis digital por peso. No se encontraron diferencias significativas entre los promedios de las unidades muestrales correspondientes al mismo porcentaje de calidad, pero de diferente marca comercial.

Discusión

El método de análisis de imágenes permitió cuantificar los parámetros de calidad de puntilla y de grano quebrado. Esto también ha sido abordado en investigaciones previas donde se utilizó análisis de imágenes para cuantificar calidad en arroz (Ngampak & Piamsa-nga, 2015). Los anteriores autores reportaron que el uso de análisis de imágenes incluso puede clasificar los granos quebrados con una precisión mayor que los conteos manuales. Puede considerarse como un método más rápido, sencillo y barato para analizar propiedades morfológicas en los granos de arroz, con porcentajes altos de correlación entre resultados manuales y digitales ($R^2 \geq 98$) (van Dalen, 2004). Además, como un método de clasificación de alta precisión con porcentajes de acierto de alrededor del 90 % de muestras comparadas entre métodos (Abbaspour-Gilandeh et al., 2020), tal como fue reflejado en este estudio.

Los valores de porcentaje de grano quebrado y de puntilla obtenidos, se encontraron en los rangos esperados para sus respectivos porcentajes de calidad, según el RTCR 202:1998 (Presidencia de la República & Ministerio de Economía y Comercio, 1998). No se evidenció valores de repetición extremos para ninguna de las cuatro categorías de calidad comercial. El presente trabajo no incluyó la evaluación de otros factores de calidad relacionados con la apariencia de los granos. Por ejemplo, existen investigaciones sobre la cuantificación de granos yesosos mediante análisis de imágenes en arroz (Yang et al., 2021; Yoshioka et al., 2007).

Este trabajo expone el potencial del uso de análisis de imágenes para aumentar la eficiencia de los ensayos de calidad y con ello, poder incrementar el nivel de muestreo de los granos. Esto podría ser ventajoso cuando existen limitaciones en presupuesto para verificar la calidad del arroz a nivel comercial o cuando se tienen que evaluar grandes cantidades de muestras. Además, el método utilizado podría implementarse en procesos de mejora genética, donde es importante conocer el fenotipo, sin depender de un ensayo que sea laborioso o incluso acreditado, ya que el objetivo final es emitir un criterio para seleccionar materiales o entender la regulación genética. Un ejemplo de esto sería el trabajo realizado por Shin et al. (2022), en el cual utilizaron análisis de imágenes a gran escala para identificar loci que controlan caracteres cuantitativos (QTLs como se les conoce por sus siglas en inglés) en arroz. Otro ejemplo aplicado es el estudio que realizaron Tanabata et al. (2012), en el cual desarrollaron un programa de fenotipado de alto rendimiento denominado SmartGrain, que utiliza el análisis de imágenes para determinar la forma (contorno, área, longitud, entre otros parámetros) de las semillas. Estos autores utilizaron el software para analizar QTLs en semillas de arroz.

Para futuros trabajos se recomienda realizar la captura digital por ambos lados de una placa de análisis, con el fin de abarcar mayor área superficial de la totalidad de la muestra y aumentar el número de datos obtenidos en la característica de interés. Además, es importante ampliar el número de muestras que permitan representar una mayor diversidad de lo que se evaluó en este trabajo. También se recomienda utilizar un mayor número de elementos que compongan la unidad muestral representativa que sea utilizada para componer el modelo de regresión. Por su parte, se recomienda el uso de capturadores de alta tecnología que permitan determinar el volumen de los objetos y sus irregularidades. Finalmente, se podría desarrollar una red neuronal artificial, para autocorregir los resultados obtenidos, con la inclusión de parámetros dimensionales (área, circunferencia, longitud máxima, entre otros) con una alta capacidad de detección y precisión. Lo anterior, en conjunto con la versatilidad del análisis digital, podría ofrecer una metodología robusta y alterna para la evaluación de la calidad de productos comestibles (Barbin et al., 2016).

Conclusiones

Los métodos de análisis digital de imágenes (ADI) que fueron utilizados en el presente trabajo permitieron determinar y cuantificar de forma precisa y automatizada las propiedades físicas de calidad en granos arroz, referidas al contenido de grano quebrado total (puntilla y quebrado grueso). El uso de una metodología homogénea y de un sistema de placa muestral, permitió agilizar el proceso de captura y el análisis no destructivo de los factores, distribuidos de forma heterogénea en las muestras de arroz. Este trabajo expone el potencial del análisis digital de imágenes (ADI) como herramienta para aumentar la eficiencia de los ensayos de verificación de calidad de los granos. Se propone la optimización e integración de esta metodología como alternativa y complemento para los métodos de análisis físicos que se realizan en los laboratorios de control de calidad de granos de arroz.

Referencias

- Acosta, C., Sampallo, G., Cleva, L., Cleva, D., & Liska, M. (2017). Detección e identificación de defectos en granos de arroz empleando visión artificial. In Sociedad Argentina de Informática e Investigación Operativa (Eds.), *IX Congreso Argentino de AgroInformática* (pp. 98–111). Sociedad Argentina de Informática e Investigación Operativa. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/62834>
- Abbaspour-Gilandeh, Y., Molaee, A., Sabzi, S., Nabipur, N., Shamshirband, S., & Mosavi, A. (2020). A combined method of image processing and artificial neural network for the identification of 13 Iranian rice cultivars. *Agronomy (Basel, Switzerland)*, *10*(1), Article 117. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010117>
- Aznan, A., González Viejo, C., Pang, A., & Fuentes, S. (2021). Computer vision and machine learning analysis of commercial rice grains: A potential digital approach for consumer perception studies. *Sensors*, *21*(19), Article 6354. <https://doi.org/10.3390/s21196354>
- Barbin, D. F., Mastelini, S. M., Barbon, S., Campos, G. F. C., Barbon, A. P. A. C., & Shimokomaki, M. (2016). Digital image analyses as an alternative tool for chicken quality assessment. *Biosystems Engineering*, *144*, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.01.015>
- Butardo, V. M., Sreenivasulu, N., Juliano, B. O. (2019). Improving Rice grain quality: state-of-the-art and future prospects. In N. Sreenivasulu (Ed.), *Rice grain quality* (pp. 19–55). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8914-0_2
- Camelo-Méndez, G. A., Camacho-Díaz, B. H., del Villar-Martínez, A. A., Arenas-Ocampo, M. L., Bello-Pérez, L. A., & Jiménez-Aparicio, A. R. (2012). Digital image analysis of diverse Mexican rice cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *92*, 2709–2714. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5693>
- Corporación Arroceras Nacional. (2021). *Informe anual estadístico 2020/2021*. Estadísticas arroceras. <https://www.conarroz.com/estadisticasarroceras.php>
- Gayathri Devi, T. G., Neelamegam, P., & Sudha, S. (2017). Machine vision based quality analysis of rice grains. 2017. *IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering, 2017*, 1052–1055. <https://doi.org/10.1109/ICPCSI.2017.8391871>
- Ghatkamble, R., & Vishwanatha, K. (2017). *Development of novel algorithm to Determine the rice varieties using digital image processing*. 1st International Conference Responsible Business and Sustainable Development, Bangalore, India. <https://bit.ly/3yrbJ2c>

- Gudipalli, A., Prabha, A., & Reddy, P. (2016). A review on analysis and grading of rice using image processing. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(23), 13550–13555. <https://bit.ly/3u51GwT>
- Herath, K. (2016). *Rice grains classification using image processing technics*. The Open University of Sri Lanka. <https://bit.ly/3UZlnBS>
- Herath, H. M. K. K. M. B. (2017). Image processing analysis for the rice grain quality in Sri Lanka. *The Official E-Newsletter of the Institution of Engineers Sri Lanka*, 33. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9759290>
- Kang, T., Cho, B., Won, J., Kang, S., Han, C., Lee, D., & Lee, H. (2018). Milling characteristics of cutting type rice milling machine (I) – Characteristics of milling in accordance with blowing velocity. *Engineering in Agriculture Environment and Food*, 11(3), 91–94. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2017.12.003>
- Li, X., Yuan, J., Gu, T., & Liu, X. (2011). Detection level of raisins based on image analysis and neural network. *Third Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System*, 2011, 1–3. <https://doi.org/10.1109/PACCS.2011.5990209>
- Mahale, B., & Korde, S. (2014). Rice quality analysis using image processing techniques. *International Conference for Convergence of Technology*, 2014, 1–5. <https://doi.org/10.1109/I2CT.2014.7092300>
- Mousavirad, S. J., Akhlaghian Tab, F., & Mollazade, K. (2012). Design of an expert system for rice kernel identification using optimal morphological features and back propagation neural network. *International Journal of Applied Information Systems*, 3(2), 33–37. <https://bit.ly/3QTQA7W>
- Ngampak, D., & Piamsa-nga, P. (2015). Image analysis of broken rice grains of Khao Dawk Mali rice. In IEEE (Ed.), 7th *International Conference on Knowledge and Smart Technology* (pp. 115–120). IEEE. <https://doi.org/10.1109/KST.2015.7051471>
- Petrou, M., & Petrou, C. (2010). *Image processing the fundamentals* (2nd ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119994398>
- Presidencia de la República, & Ministerio de Economía y Comercio (1998, mayo 20). *Decreto No. 26901-MEIC. Reglamento técnico RTCR 202:1998: Arroz pilado. Especificaciones y métodos de análisis*. Sistema Costarricense de Información Jurídica. http://www.pgrweb.go.cr/SCIJ/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=51661&nValor3=55975&strTipM=TC
- Presidencia de la República, Ministerio de Economía y Comercio, Ministerio de Agricultura y Ganadería, & Ministerio de Salud. (2008, mayo 7). *Decreto No. 34802. Reforma al Decreto Ejecutivo N° 34487-MEIC-MAG-S RTCR 406-:2007 arroz en granza. Especificaciones y métodos de análisis para la comercialización e industrialización*. Sistema Costarricense de Información Jurídica. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=64180&nValor3=74318¶m2=1&strTipM=TC&lResultado=1&strSim=simp
- R Core Team (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Salas-Arias, K. M., Madriz-Quirós, C. E., Sánchez-Brenes, O., Sánchez-Brenes, M., & Hernández-Granados, J. B. (2017). Modelos de cuantificación de error humano aplicados en la industria de manufactura moderna. *Revista Tecnología en Marcha*, 30, 58–66. <http://doi.org/10.18845/tm.v30i2.3197>
- Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., Preibisch, S., Rueden, C., Saalfeld, S., Schmid, B., Tinevez, J. -Y., White, D. J., Hartenstein, V., Eliceiri, K., Tomancak, P., & Cardona, A. (2012). Fiji: An open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods*, 9, 676–682. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>

- Shin, Y., Won, Y. J., Lee, C., Cheon, K. -S., Oh, H., Lee, G. -S., Baek, J., Yoon, I. S., Kim, S. L., Cha, Y. -S., Kim, K. -H., & Ji, H. (2022). Identification of grain size-related QTLs in Korean japonica rice using genome resequencing and high-throughput image analysis. *Agriculture*, *12*(1), Article 51. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010051>
- Siddagangappa, M. R., & Kulkarni, A. H. (2014). Classification and quality analysis of food grains. *IOSR Journal of Computer Engineering*, *16*(4), 1–10. <https://doi.org/10.9790/0661-16430110>
- Silva, C., & Sonnadara, U. (2013). Classification of rice grains using neural networks. *Proceedings of Technical Sessions*, *29*, 9–14. <https://bit.ly/3AcJndc>
- Sindhu, C., Sasmita, S., Tamilmani, P., Udaysriram, C., & Vidhya, V. (2021). Rice grain type and grading of rice grains using image processing. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, *4*(7), 2581–5792. <https://journals.resaim.com/ijresm/article/view/1089>
- Tanabata, T., Shibaya, T., Hori, K., Ebana, K., & Yano, M. (2012). SmartGrain: High-Throughput phenotyping Software for measuring seed shape through image analysis. *Plant Physiology*, *160*(4), 1871–1880. <https://doi.org/10.1104/pp.112.205120>
- Tanwong, K., Suksawang, P., & Punsawad, Y. (2018, November 21–24). *Using digital image to classify phenotype of the rice grain quality under agricultural standards act*. 22nd International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), Chaing Mai, Thailand. <https://doi.org/10.1109/ICSEC.2018.8712732>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.09.001>
- Yang, W., Liang, J., Hao, Q., Luan, X., Tan, Q., Lin, S., Zhu, H., Liu, G., Liu, Z., Bu, S., Wang, S., & Zhang, G. (2021). Fine mapping of two grain chalkiness QTLs sensitive to high temperature in rice. *Rice*, *14*, Article 33. <https://doi.org/10.1186/s12284-021-00476-x>
- Yoshioka, Y., Iwata, H., Tabata, M., Ninomiya, S., & Ohsawa, R. (2007). Chalkiness in rice: Potential for evaluation with image analysis. *Crop Science*, *47*(5), 2113–2120. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.10.0631sc>