

Sistema experto para clasificación de granos de arroz pulidos

Guillermo Sampallo, Cristian Acosta, Arturo González Thomas, Mario Cleva

Facultad Regional Resistencia – UTN

gsampallo@gmail.com, cristian_andresus@hotmail.com,
arturogt@gmail.com, clevamario@hotmail.com

Resumen: Se presenta un sistema experto para clasificar la calidad de muestras de granos pulidos de arroz empleando procesamiento de imágenes. Determina las características morfológicas y de aspecto de cada grano con la finalidad de evaluar el tipo y la calidad de una muestra. La determinación de las características morfológicas se basa en la firma del contorno de la superficie expuesta de los granos y para las características de aspecto emplea un análisis estadístico de la distribución de niveles gris de los píxeles. Los métodos empleados son objetivos, rápidos, exactos y precisos. El sistema procesa muestras de 10 gramos aproximadamente y produce dos tipos de informes: a) Global: integra las determinaciones morfológicas y de aspecto indicando el tipo y la calidad de la muestra y b) Individual: describe la morfología y el aspecto de cada grano. Además almacena la imagen de la muestra para repetir las determinaciones sin pérdida de información.

Palabras Claves: Arroz. Procesamiento de imágenes, Morfología, Aspecto, Calidad

1 Introducción

El consumidor es cada vez más exigente antes de tomar la decisión de comprar productos alimenticios, en particular el arroz. Este observa la forma, tamaño y aspecto del producto y vincula estos atributos con la calidad del mismo. Al productor le interesa contar con esta información, dado que de ella depende la clasificación de la calidad de su producto, y por tanto el precio que obtiene por él. Desde el punto de vista del comerciante se hace necesario presentarlo de forma atractiva. Por ello, es que muchos de los envoltorios de los granos presentan ventanas para ver su contenido.

Las especificaciones de la calidad de los granos de arroz pulidos están definidas en el Código Alimentario Argentino [1] (Tablas 1 y 2), en las normas de calidad del arroz envasado publicadas en el Boletín Oficial de la República Argentina [2] y en el Reglamento Técnico del MERCOSUR para Establecimiento de Identidad y de Calidad del Arroz Elaborado [3], donde identifican la calidad del grano de arroz según el largo del grano, la relación largo/ancho y su aspecto. Generalmente, esta información es registrada en el envoltorio comercial.

En los documentos mencionados se definen dentro de los granos defectuosos a granos panza blanca y granos yesosos. El nombre “panza blanca” proviene de una mancha opaca blanca en la zona ventral del grano, que es menos frecuente en la parte dorsal. Este tipo de grano degrada el aspecto del conjunto de granos traslucidos y tiende a aumentar el porcentaje de granos quebrados por ser más frágil que los normales. Los granos yesosos son granos descascarados y pulidos, enteros o quebrados en los cuales más de la mitad del grano tiene una apariencia blanca opaca.

Tabla 1: Tipos de granos de arroz, según su tamaño. Código Alimentario Argentino. Art 651 - (Res 1547, 12.09.90)

TIPO	RELACION LARGO/ANCHO	LARGO
Largo Ancho (Doble Carolina o variedad Fortuna)	mayor a 2:1 y menor a 3:1	≥ 7 mm
Largo Fino (variedad Blue Bonnet)	mayor o igual a 3:1	≥ 6.5 mm
Mediano (Carolina o variedad Blue Rose)	mayor a 2:1 y menor a 3:1	$6.0\text{mm} < L < 7.0$ mm
Corto (Japonés o variedad Yamaní)	igual o menor a 2:1	< 6.9 mm

La presencia de estos granos defectuosos afecta la calidad, existiendo un porcentaje máximo aceptable en peso para cada categoría. En la Tabla 2 se establece para diferentes calidades de granos los porcentajes de granos defectuosos presentes, en peso, que son admitidos en una muestra representativa.

Tabla 2: Granos defectuosos. Según Código Alimentario Argentino. Art 651 - (Res 1547, 12.09.90). Para distintas calidades podrán presentar los siguientes porcentajes máximos de defectos (en peso)

Granos defectuosos	Calidad 00000	Calidad 0000	2°Calidad
Colorado o con estrías rojizas	5	10	15
Enyesados	2	4	6
Manchados o coloreados	1	4	6
Panza blanca	4	7	10,5
Partidos (o fragmentados)	15	25	37,5
Picados	0	1	1,5

Usualmente el análisis de los granos se hace por inspección visual de un operador experto. Debido a lo tedioso y repetitivo de la tarea, el operador tiene altas posibilidades de cometer errores de distintos tipos. La forma convencional de medir las longitudes que definen el tamaño del grano (largo y ancho) es utilizando un calibre. La medición se realiza grano por grano sobre una muestra representativa y lo más importante no quedan registros individuales del proceso, es decir, a tal grano le corresponde estas medidas de largo y ancho. Para hacer una evaluación de los

porcentajes de granos defectuosos, éstos son extraídos de una muestra de control en forma manual y comparados con los porcentajes máximos admitidos según la calidad, indicados en la Tabla 2.

La determinación de la forma, tamaño y aspecto se puede realizar empleando un sistema de visión artificial que permite a través de un sistema experto clasificar en forma automática la calidad, en forma rápida y eficiente, evitando las subjetividades de un operador humano.

Los sistemas de visión artificial actualmente se emplean en diferentes áreas. Básicamente están constituidos por una cámara, PC y un software que permite adquirir y procesar la imagen con el fin de obtener información de los objetos contenidos en ella.

La técnica de procesamiento digital de imágenes (PDI) es tratada en la bibliografía especializada [4], [5], [6] [7]. Su aplicación al análisis y control de la calidad de alimentos está en crecimiento constante. El desarrollo de algoritmos que conducen a obtener descriptores característicos y a partir de ellos hacer una clasificación de la calidad es un tema de permanente estudio, revisión y aplicación en el área de alimentos agrícolas.

Yadav B.K, Jindal V.K [8] aplicaron las técnicas de procesamiento de imagen para monitorear la calidad de granos de arroz. Beyer M. y et al. [9] analizaron la forma del cerezo empleando PDI y cálculo numérico. Boundit Jarimopas y Nitipong Jaisin [10] clasifican vainas de tamarindo teniendo en cuenta su forma y tamaño. G. Van Dalem [11] determinó el tamaño de granos de arroz empleando análisis de imagen. Cheng-Jin Du and Da-Wen Sun a, b y c [12] hacen una revisión de los desarrollos recientes en aplicaciones de las técnicas de PDI para evaluar la calidad de alimentos, y las aplican para analizar la forma de la base de la pizza, y para estimar la superficie y volumen de jamones de forma elipsoidal. McG Square D and Caelli T [13] analizan la invariancia de la firma con respecto a la rotación, traslación y cambio de escala. Ta Yuan Wang y Sing Kiong Nguang [14] desarrollaron un sistema sensor de bajo costo que empleando PDI calcula en forma automática el volumen y superficie de revolución de productos agrícolas axi-simétricos. G.S. Gonzales y V.Y. Mariano [15] analizan la morfología de los granos de arroz usando descriptores de Fourier. Qing Yao, Jianhua Chen, Zexin Guan, Chengxiao Sun, Zhiwei Zhu [16], emplean una cámara CCD de resolución 1280 x 1021 pixel, lente (16mm, F1.4) y una disposición geométrica fija para analizar muestras de aproximadamente 50 granos de 21 variedades de arroz. Determinaron el alto y ancho promedio de cada muestra empleando el método de "minimum enclosing rectangle". Este método define una región rectangular que contiene a cada grano, con lo cual se pierde información del verdadero contorno del grano. También determinaron el porcentaje de granos yesosos, empleando la entropía máxima del histograma de nivel de gris de cada grano, pero no discriminaron entre granos panza blanca y yesosos. No hacen una integración de estos resultados para definir la calidad de los granos. Sampallo et al. [17] y [18] analizan la morfología de los granos de arroz empleando la firma de los contornos de los granos y presentan un esquema de control de calidad para granos de arroz pulidos.

En este trabajo se presenta un sistema experto para clasificar granos de arroz pulidos que emplea procesamiento digital de imágenes para determinar las características morfológicas y de aspecto de granos de arroz con la finalidad de

evaluar la calidad de una muestra de 10 gramos de arroz pulido en forma automática a partir de la imagen color de la misma.

2 Metodología

La muestra de 10 gramos de arroz se distribuye sobre el plano de un escáner (HP Scanjet G3110), con la condición de que los granos no estén en contacto, y se registra una imagen digital color con una resolución de 300 dpi.

El fondo negro de la imagen asegura una eficiente binarización con un umbral apropiado. El sistema está diseñado para obtener por defecto el umbral en forma automática a partir del histograma de niveles de gris de la imagen, y en forma manual si el usuario lo desea. Luego se aplica un algoritmo que identifica los píxeles que pertenecen a cada grano, y a partir de este resultado se obtiene la imagen del contorno de cada grano como puede verse en la secuencia mostrada en la Figura 1, que corresponde a una región de la imagen de la muestra completa. Estas técnicas de procesamiento digital se hacen con bajo costo computacional

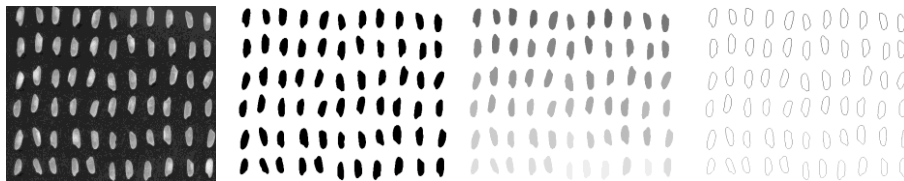


FIGURA 1: Imagen original. Imagen binarizada. Imagen con los granos identificados por nivel de gris

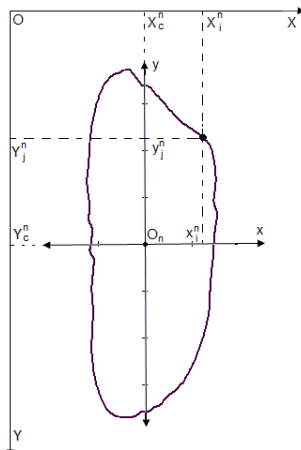


Figura 2: Referencia respecto del baricentro

2.1 Características morfológicas

Como la imagen es digital, el contorno obtenido es un trazo constituido por píxeles conectados. Debe tenerse presente que un píxel es un área elemental en una imagen digital. Bajo estas condiciones, las coordenadas rectangulares de los píxeles pertenecientes al contorno de un grano, referenciadas al vértice superior izquierdo O de la imagen están dadas por (X_i^n, Y_j^n) que identifican la fila i y columna j de un píxel del contorno del grano n-ésimo (Figura 2).

Es conveniente referir las coordenadas del contorno del grano n-ésimo al baricentro del mismo [19]. Las coordenadas del baricentro O_n , referidas al

sistema con origen en O (ver Figura 3) se determinan empleando

$$X_c^n = P.entera \left[\frac{\sum_{Y_j^n} \sum_{X_i^n} I_{X_i^n, Y_j^n} X_i^n}{\sum_{Y_j^n} \sum_{X_i^n} I_{X_i^n, Y_j^n}} \right], Y_c^n = P.entera \left[\frac{\sum_{Y_j^n} \sum_{X_i^n} I_{X_i^n, Y_j^n} Y_j^n}{\sum_{Y_j^n} \sum_{X_i^n} I_{X_i^n, Y_j^n}} \right] \quad (1)$$

Ambas sumas dobles se realizan sobre los pixeles pertenecientes al grano n-ésimo. Donde $I_{x_i^n, y_j^n}$ es el valor del nivel de gris del píxel de la imagen de posición (X_i^n, Y_j^n) . Con la finalidad de evitar pequeñas desviaciones en las coordenadas del baricentro se emplea la imagen con los granos identificados (Figura 1c) en vez del contorno.

Las coordenadas del contorno con respecto al baricentro O_n están dadas por:

$$x_i^n = X_i^n - X_c^n \quad y_i^n = Y_i^n - Y_c^n \quad (2)$$

Una vez definido el nuevo sistema de referencia con origen en O_n y las correspondientes coordenadas rectangulares del contorno, se obtienen las coordenadas polares del contorno del grano empleando la transformación:

$$r_{i,j}^n = \sqrt{(x_i^n)^2 + (y_j^n)^2} \quad \theta_{i,j}^n = \begin{cases} \pi + \operatorname{atan}\left(\frac{y_j^n}{x_i^n}\right) & \text{si } \operatorname{atan}\left(\frac{y_j^n}{x_i^n}\right) < 0 \\ \pi / 2 & \text{si } y_j^n > 0 \text{ y } x_i^n = 0 \\ 3\pi / 2 & \text{si } y_j^n < 0 \text{ y } x_i^n = 0 \\ \operatorname{atan}\left(\frac{y_j^n}{x_i^n}\right) & \text{el resto} \end{cases} \quad (3)$$

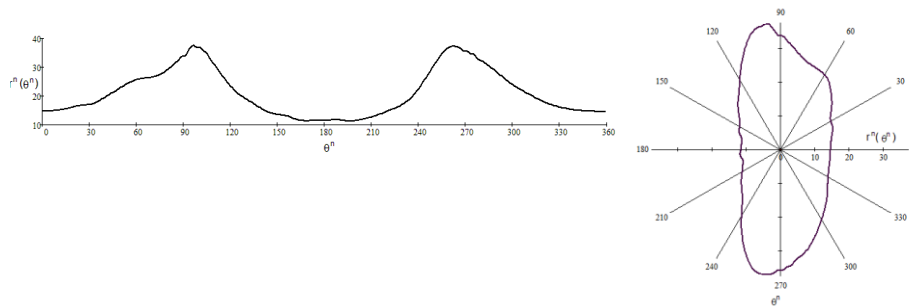


Figura 4: Izquierda: Firma $r(\theta)$ de un grano de arroz. Derecha: reconstrucción polar de su contorno a partir de la firma.

La representación gráfica cartesiana de $r(\theta)$ es la firma del contorno de la sección expuesta de un grano. En la Figura 4 izquierda se muestra la firma de un grano y la

reconstrucción de su contorno a partir de la firma en el gráfico polar en la Figura 4 derecha. Se puede emplear la firma para comparar las formas que tienen distintos ejemplares de un mismo tipo de grano. Para ello, es necesario acondicionar la firma realizando las siguientes operaciones:

- a) Desplazamiento de la firma en el ángulo α : En general, cuando se registra la imagen de un ejemplar, este puede tener cualquier orientación y la firma es dependiente de esta (ver Figura 4). Para eliminar esta dependencia, se define una orientación preferencial [19] [20]. En este caso, se eligió que el eje principal mayor del objeto coincida con la vertical. El ángulo α que forma la dirección del eje principal mayor del objeto con la horizontal se calcula empleando

$$\alpha^n = a \tan \left(\frac{[m_{2,0}]^n - [m_{0,2}]^n}{2[m_{1,1}]^n} \right) \quad \text{con} \quad [m_{N,M}]^n = \frac{\sum_{y_j^n} \sum_{x_i^n} I_{x_i^n, y_j^n} X_i^n Y_j^n}{\sum_{y_j^n} \sum_{x_i^n} I_{x_i^n, y_j^n}} \quad (4)$$

Donde $[m_{N,M}]^n$ representa los momentos y productos de inercia respecto del baricentro del ejemplar n-ésimo. Una vez conocido el ángulo α se hace un desplazamiento en $(-\alpha)$ de la firma, que equivale a rotar el objeto, en el sentido de las agujas del reloj.

- b) Ajuste numérico de la firma del grano n: los valores $(\theta_{i,j}^n, r_{i,j}^n)$ que representan la firma se ajustan numéricamente empleando una interpolación cúbica. A partir del ajuste se reconstruye la firma con una distribución equiespaciada en θ , tomando una muestra de 360 puntos con $\Delta\theta = 1^\circ$ ($0^\circ \leq \theta \leq 359^\circ$), definiéndose un nuevo conjunto de pares de valores (θ_m^n, r_m^n) $m = 0...359$, para cada grano.
- c) Normalización de la firma: la operación consiste en dividir los valores de R_m^n por su valor máximo R_{Max}^n , es decir

$$\rho_m^n = \frac{R_m^n}{R_{Max}^n} \quad (5)$$

Al realizar esta operación los valores del radio en la firma del ejemplar quedan comprendidos entre 0 y 1, independizándose del tamaño del ejemplar, pero conservando la información de la forma.

Efectuadas estas operaciones en las firmas de los distintos ejemplares, es posible realizar la comparación de sus formas e inclusive se pueden comparar entre ejemplares de diferentes variedades de granos de arroz

2.2.. Definición y cálculo de los descriptores morfológicos

Si se considera M ejemplares enteros de una misma variedad de grano de arroz y se determina las firmas de los ejemplares se pueden calcular los siguientes descriptores:

Firma patrón: Se obtiene promediando los valores de ρ_m^n por ángulo de las firmas normalizadas. Esta firma puede ser considerada el patrón de comparación. Otra alternativa es elegir como patrón la firma del ejemplar que se considere el más representativo de la forma deseada.

Largo: El largo del grano n-ésimo a_n es el segmento de mayor longitud entre dos puntos de su contorno. En la firma del grano sin normalizar, (Figura 5) corresponden a los valores máximos $R1_{max}^n$ y $R2_{max}^n$ determinados a partir del baricentro del grano. $R1_{max}$ y $R2_{max}$ son las distancias de los puntos del contorno más alejados del baricentro que maximizan el largo. Empleando el teorema del coseno resulta

$$a_n = \sqrt{(R1_{max}^n)^2 + (R2_{max}^n)^2 - 2R1_{max}^n R2_{max}^n \cos(\beta)} \quad (6)$$

Donde β es el ángulo entre los dos segmentos de radios máximos.

Ancho: El ancho del grano n-ésimo b_n es el segmento entre los extremos de los radios mínimos $R1_{min}^n$ y $R2_{min}^n$ determinados a partir del baricentro de la firma del grano sin normalizar (Figura 5). $R1_{min}$ y $R2_{min}$ son las distancias de los puntos del contorno más cercanos del baricentro que minimizan el ancho. Empleando el teorema del coseno resulta

$$b_n = \sqrt{(R1_{min}^n)^2 + (R2_{min}^n)^2 - 2R1_{min}^n R2_{min}^n \cos(\gamma)} \quad (7)$$

Donde γ es el ángulo entre los dos segmentos de radios mínimos.

El empleo de la firma para determinar el largo y ancho del grano asegura un error porcentual inferior al 0.3% como se demostró en [16].

Factor de forma: es la relación entre el largo y el ancho del grano n-ésimo

$$\frac{a_n}{b_n} = \frac{\text{Largo}_n}{\text{Ancho}_n} \quad (8)$$

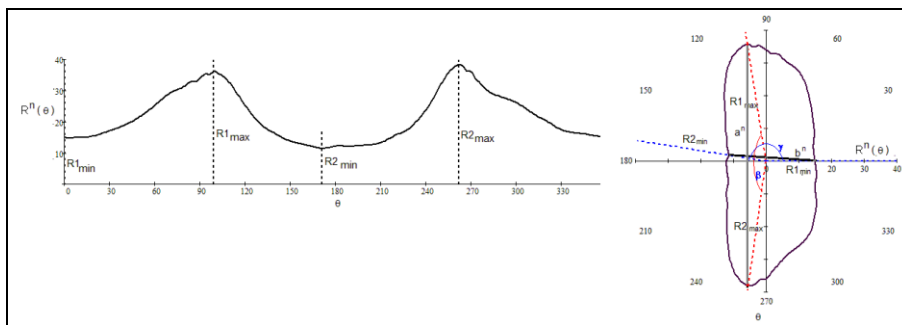
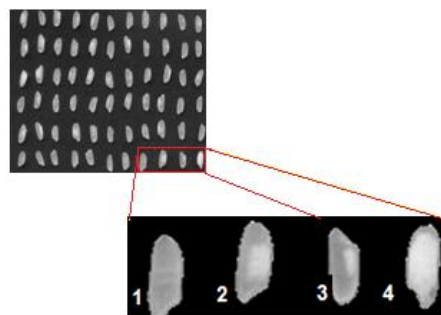


Figura 5: A la izquierda se muestra la firma ajustada por spline y la posición de los Rmax y Rmin. A la derecha su reconstrucción polar.

Área de la sección del grano n: se obtiene contando los píxeles pertenecientes al grano n-ésimo y multiplicando por el factor de escala

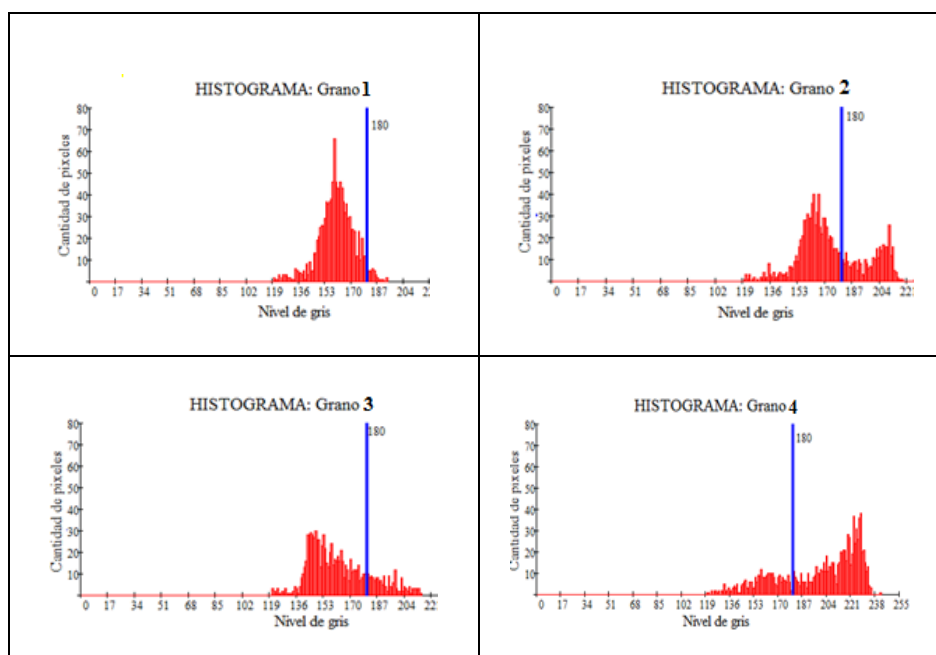
2.3 Características de Aspecto. Descriptores.

Considerando la Figura 1, se hace una combinación entre la imagen original y la imagen con granos identificados. La primera aporta la distribución de niveles de gris del grano y la segunda indica el grano. Como ejemplo de cómo se diferencian los granos normales, panza blanca y yesosos, se presenta una imagen ampliada de una muestra de granos (Figura 6), donde se exhiben ejemplares de cada tipo. El análisis se hace sobre el nivel de gris de cada píxel perteneciente al grano. Recordando que un píxel es una superficie elemental dependiente de la resolución con que es registrada la imagen.



extrae cuatro granos para mostrar la metodología.

Tabla 3: Histograma de los niveles de gris de cada grano. En azul el umbral



Con todos los valores de los niveles de gris de los píxeles del grano se construye un histograma donde claramente se observa en la Tabla 3 cómo se distribuyen los niveles

de gris para granos normales (histograma grano 1, se toma como referencia el nivel de gris 180), panza blanca (histogramas grano 2 y 3) y yesoso (histograma grano 4).

El grano normal (grano 1) al tener un aspecto bastante homogéneo presenta un histograma aproximadamente simétrico y es semejante a una campana gaussiana. Mientras los granos panza blanca (granos 2 y 3) presentan dos zonas bien diferenciadas y esto conduce a que sus histogramas tengan una distribución no simétrica y en ocasiones dos picos. El grano yesoso al tener una apariencia blanca sus niveles de gris están fuertemente desplazados hacia el blanco como se observa en el histograma del grano 4.

A partir de los histogramas, es posible definir un umbral de nivel de gris, para discriminar los píxeles (o áreas) que corresponden a una región normal del grano. Por lo tanto, con este umbral se determina el área de la región normal del grano y luego se calcula el porcentaje de área normal (P% área) correspondiente, respecto del área total del grano. Otro análisis que el sistema realiza es a partir de la imagen color RGB y los histogramas de cada banda, discriminando y contabilizando los píxeles manchados, coloreados y rojos, que equivale a determinar el área correspondiente.

3. Construcción de la base de conocimiento.

3.1 Base de datos

Con los valores de los descriptores y sus rangos de variación definidos en las Tablas 1 y 2 se construyó la base de datos. Por lo tanto, de una muestra de una variedad de granos de arroz, en particular, se tiene para cada grano:

- Firma
- Largo
- Ancho
- Relación largo/ancho
- Área de la sección del grano expuesta
- Volumen del grano
- Área normal
- Área de mancha almidonosa (enyesada o yesosa)
- Área roja o estrías rojas
- Área manchada

3.2 Enunciado de Reglas

Las reglas que se proponen, basadas en el Código Alimentario Argentino, para la construcción de la base de conocimiento son:

Reglas para la clasificación según la morfología de los granos.

- a) Reglas que definen el tipo de grano según el largo y la relación largo/ancho del grano:

Regla 1: Si el candidato tiene largo $a \geq 7$ mm y la relación a/b cumple $2 < a/b < 3$ entonces es largo ancho (Doble Carolina o variedad Fortuna).

Regla 2: Si el candidato tiene largo $a \geq 6.5$ mm y la relación a/b cumple $a/b \geq 3$ entonces es largo fino (variedad Blue Bonnet).

Regla 3: Si el candidato tiene largo $6.0\text{mm} < a < 7.0$ mm y la relación a/b cumple $2 < a/b < 3$ entonces es mediano (Carolina o variedad Blue Rose).

Regla 4: Si el candidato tiene largo $a \leq 6.9\text{mm}$ y la relación a/b cumple $a/b \leq 2$ entonces es corto (Japonés o variedad Yamaní).

- b) Definimos L como el largo representativo de la variedad bajo análisis, según el artículo 650 ítem f “estructura normal (promedio de 20 granos representativos).”

Regla 5: Si el largo a del candidato cumple $a \geq 0.75 L$ entonces es un grano entero.

Regla 6: Si el largo a del candidato cumple $0.5L \leq a \leq 0.75 L$ entonces es un grano partido.

Regla 7: Si el largo a del candidato cumple $a \leq 0.5 L$ entonces es un arrocín.

Reglas para la clasificación según el aspecto de los granos

Para definir el aspecto del grano se enuncian las siguientes reglas sobre el porcentaje de área del grano (P% área) que tiene nivel de gris con características normales. Para ello se define un umbral de nivel de gris que distingue el aspecto normal:

Regla 8: Si P% área normal $< 10\%$ es Enyesado o Yesoso

Regla 9: Si P% área normal cumple con $10\% \leq \text{P\% área} \leq 50\%$ es Panza blanca

Regla 10: Si P% área normal $> 50\%$ es Normal

Los valores 10%, 50% son indicativos, estos valores se pueden configurar en el sistema desarrollado. El umbral para discriminar el área normal es fijado por un operador experto empleando la imagen color de los granos.

Regla 11: Si el candidato presenta áreas con coloración rojiza o con estrías de color rojizo es un grano colorado o con estrías rojas.

Regla 12: Si el candidato presenta áreas negras u oscuras entonces es un grano manchado y/o picado.

Regla 13: Si el candidato presenta áreas con color distinto al normal, excluidos los colorados o con estrías rojizas entonces es un grano coloreado.

3.3 Diagrama de encadenamiento de las reglas

La aplicación de las reglas sobre los datos registrados de la muestra, conduce a una clasificación del tipo de arroz y su calidad en términos de las definiciones

enuciadas en el Código Alimentario Argentino para el arroz, que básicamente están contenidas en las Tablas 1 y 2. En la figura 7, se muestra el encadenamiento de las reglas.

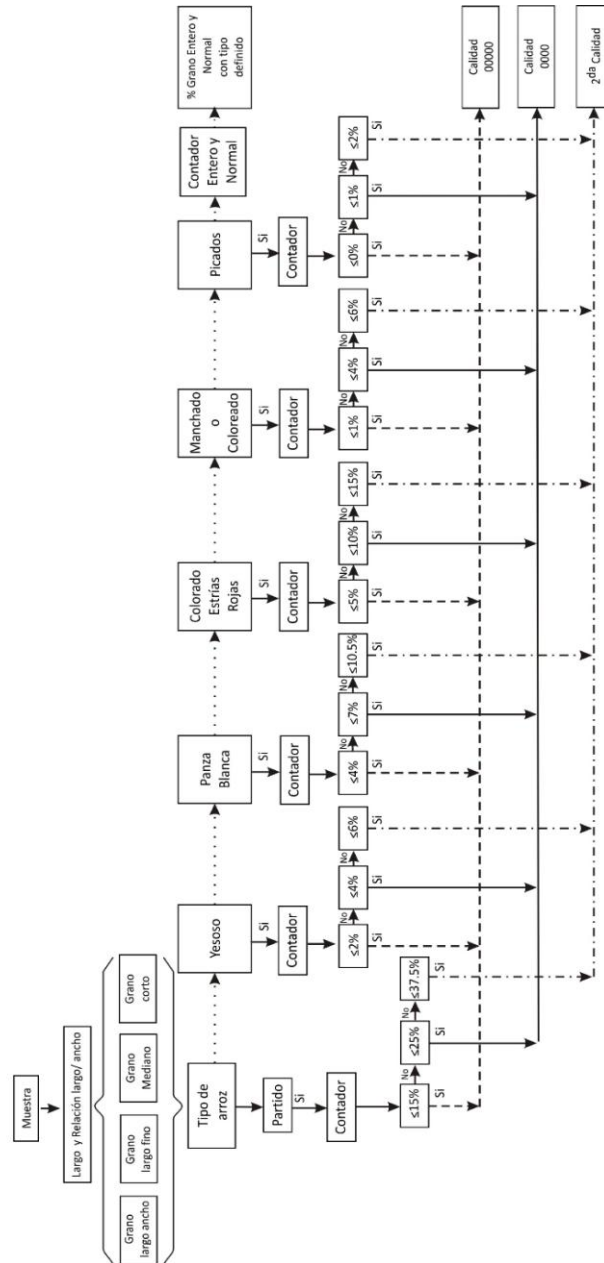


Figura 6: Encadenamiento de reglas

5 Resultados de la aplicación del sistema

A los efectos de validar los resultados del Sistema, se seleccionó tres tipos diferentes de arroz de calidad 00000, de tres marcas comerciales. De cada tipo se tomaron 3 muestras de aproximadamente 400 granos sin ningún tipo de selección, y se las proceso en el sistema. Los resultados se presentan en las Tablas 4, 5 y 6.

Tabla 4.1: Análisis morfológico de las Muestras de Grano Tipo Largo Ancho.

Largo Ancho 00000	Largo medio(mm)	Largo/Ancho	Tipo según Sistema
Muestra 1	7,2	2,7	Largo Ancho
Muestra 2	7,4	2,6	Largo Ancho
Muestra 3	7,3	2,6	Largo Ancho

Tabla 4.2: Análisis de Calidad de las Muestras de Grano Tipo Largo Ancho 00000

Largo Ancho	Y %	P B %	Part %	M o C %	Pic %	C o con E R %	Tipo según Sistema
Muestra 1	0	3	6,8	0	0	0	00000
Muestra 2	0	1,5	8,6	0	0	0	00000
Muestra 3	0	3,7	6,2	0	0	0	00000

Tabla 5.1: Análisis morfológico de las Muestras de Grano Tipo Largo Fino.

Largo Fino 00000	Largo medio(mm)	Largo/Ancho	Tipo según Sistema
Muestra 1	7,4	3,2	Largo Fino
Muestra 2	7,4	3,2	Largo Fino
Muestra 3	7,4	3,3	Largo Fino

Tabla 5.2: Análisis de Calidad de las Muestras de Grano Tipo Largo Fino 00000.

Largo Fino	Y %	P B %	Part %	M o C %	Pic %	C o con E R %	Tipo según Sistema
Muestra 1	0	3,8	13	0	0	0	00000
Muestra 2	0	8	12,5	0	0	0	00000
Muestra 3	0	3,7	11,5	0	0	0	00000

Tabla 6.1: Análisis morfológico de las Muestras de Grano Tipo Corto Japonés.

Corto Japonés 00000	Largo medio(mm)	Largo/Ancho	Tipo según Sistema
Muestra 1	5	1,8	Corto
Muestra 2	5	1,8	Corto
Muestra 3	5,1	1,8	Corto

Tabla 6.2: Análisis de Calidad de las Muestras de Grano Tipo Corto Japonés.

Corto Japonés	Y %	P B %	Part %	M o C %	Pic %	C o con E R %	Tipo según Sistema
Muestra 1	0	0,7	6,1	0	0	0	00000
Muestra 2	0	1,9	11,4	0	0	0	00000
Muestra 3	0	1,8	9	0	0	0	00000

Como se observa de las Tablas 4.1, 5.1 y 6.1 el resultado del Sistema es coincidente con el tipo grano indicado en el envase. Las Tablas 4.2, 5.2 y 6.2 se refieren a los porcentajes de granos dañados (yesosos (Y), panza blanca (PB), partidos (Part), manchados o coloreados (M o C), picados (Pic) y colorados o con estrías rojas (C o con ER) que definen la calidad de la muestra consignados en los envases comerciales, de acuerdo a lo establecido en el Código Alimentario Argentino.

En la figura 7 se muestra el informe emitido por el sistema para un grano en particular dando sus características morfológicas (firma) y de aspecto (histograma).

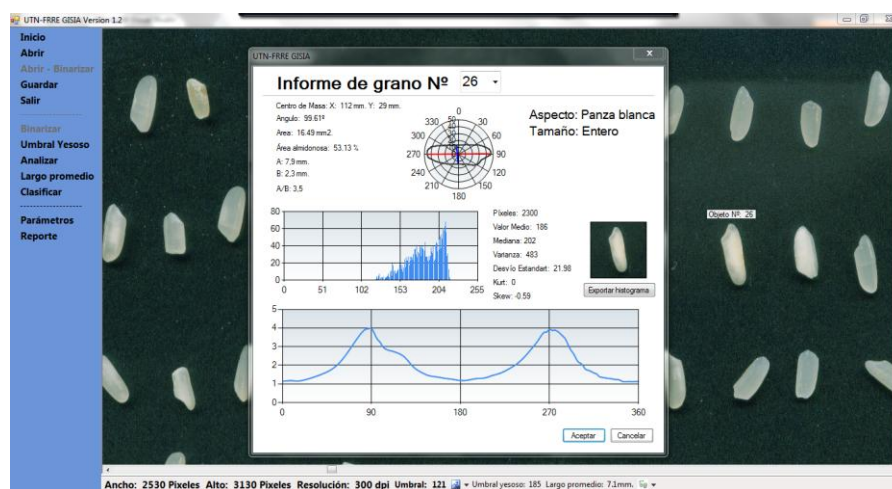


Figura 7: Imagen de la aplicación cuando exhibe el informe de un grano de la muestra, por detrás presenta parte de la muestra de granos bajo estudio

En la Figura 8 se muestra el reporte general del análisis realizado sobre una muestra, que contiene las características morfológicas y de aspecto de la misma, clasificando el tipo de arroz y su calidad, en términos del Código Alimentario Argentino.

5 Conclusiones

Los resultados obtenidos con el sistema al ser aplicado a tres tipos distintos de muestras de granos de arroz pulido comerciales, en todos los casos, fueron coincidentes con los indicados en los envases, tanto en el tipo de grano como en la calidad del mismo, siempre en el marco del Código Alimentario Argentino.

La resolución de 300dpi asegura que los errores en la determinación de longitudes están por debajo de 0.1 mm, que es superior al del método convencional (calibre). Sin embargo tiene la ventaja de evitar el imponderable error humano adicional al efectuar la medición.

La discriminación por aspecto de los granos defectuosos (yesosos, panza blanca, colorados estrías rojas, manchados, picados) depende fuertemente de la constancia de

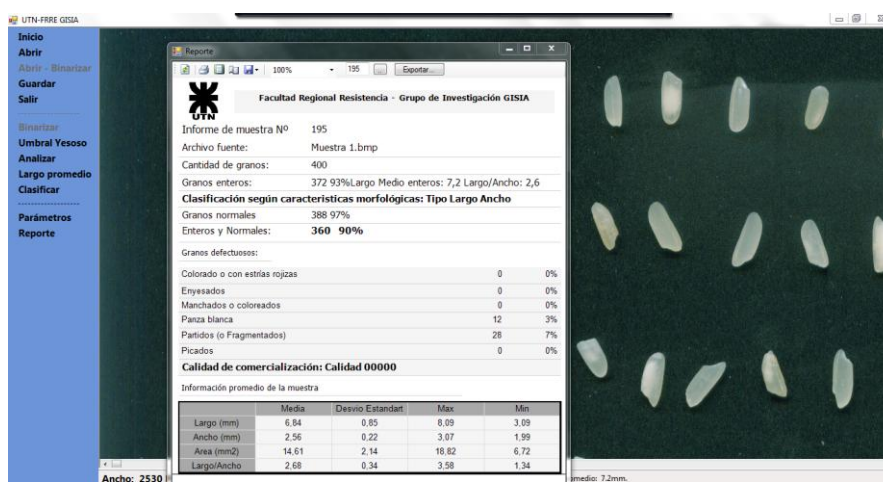


Figura 8: Imagen de la pantalla de la aplicación cuando exhibe el reporte de una muestra de granos pulidos

la fuente de iluminación y por lo tanto, del equipo de adquisición de las imágenes empleado. El sistema puede adaptarse a diferentes dispositivos de adquisición de imágenes ajustando un único parámetro para el procesamiento de la imagen que corresponde al umbral que define el nivel de gris de los granos yesosos.

Las reglas enunciadas son de tipo determinísticas debido a que están basadas en las definiciones del Código Alimentario Argentino. Es posible hacer una reconfiguración de las mismas con el fin de adaptar el Sistema Experto a otras reglamentaciones y/o criterios.

La sencillez del sistema en cuanto a los equipos necesarios para implementarlo (Scanner, PC y Software), y de su interface de usuario hacen que sea accesible y fácil de implementar a cualquier productor que desee verificar la calidad del arroz que produce, y con ello poder preveer el precio que obtendrá por el mismo. También es una herramienta que facilitará el trabajo del experto que tiene que emitir el informe en el molino.

Una posible extensión de este sistema actualmente en estudio, es adaptarlo para hacerlo funcionar en dispositivos móviles y en un montaje de análisis continuo.

Referencias

1. Código alimentario argentino. Capitulo IX
http://64.76.123.202/SAGPYA/economias_regionales/arroz_publicaciones/CODIGO_ALIMENTARIO_ARGENTINO_Arroz.pdf, Consulta 23/04/2013
2. Normas de calidad del arroz envasado - Boletín Oficial de la Republica Argentina Nº 29.112 1ª Sección 24/03/1999.
3. Reglamento técnico del Mercosur para establecimiento de identidad y de calidad del arroz elaborado.

- http://64.76.123.202/SAGPYA/economias_regionales/arroz/publicaciones/Resoluci%F3n_SAGPyA_189-99.pdf Consulta 23/04/2013
4. Gonzalez, R. y Woods R. . Tratamiento Digital de Imágenes. Prentice Hall. 3era edición (2007)
 5. Parker J.R. Practical Computer Vision. Editorial J. Wiley & Sons Inc (N.Y.- USA)1994
 6. Castleman, K. Digital image processing. Ed Prentice Hall (1996).
 7. Duda, R., Hart, P. Y Stork, D. Pattern Classification. 2ª ed. John- Wiley & Sons. (2001)
 8. Yadav B.K, Jindal V.K . Monitoring milling quality of rice by image analysis. Computers and Electronics in Agriculture. 33 (2001) 19–33
 9. Beyer M, Hahn R, Peschel S, Harz M, Knoche M. Analysing fruit shape in sweet cherry” *Scientia Horticulturae* 96 (2002) 139-150.
 10. Boundit Jarimopas y Nitipong Jaisin. An experimental machine vision system for sorting sweet tamarind *Journal of Food Engineering* Volume 89 Issue 3.(2008), Pages 291-297
 11. Van Dalem G. . Determination of the size distribution and percentage of broken kernels of rice using flatbed scanning and image analysis. *Food Research International* 37 (2004) 51–58
 12. Cheng-Jin Du and Da-Wen Sun a(2004) y b(2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology* 15 (2004) 230–249.
 13. McG Squire D y Caelli Terry Invariance Signatures: Characterizing contours by their departures from invariance. *Computer Vision and Image Understanding: CVIU*. Volume 77, Number 3, March, 2000.
 14. Ta Yuan Wang y Sing KIONG Nguang Low cost sensor for volume and surface area computation of axi-symmetric agricultural products. *Journal of Food Engineering* Volume 79, Issue 3, April 2007, Pages 870-877.
 15. Gonzales G.S. y Mariano V.Y. Rice Seed Recognition, Matching and Variety Classification through Shape Analysis using Fourier Descriptors. *8th National Conference on IT Education (NCITE 2010)*, La Carmela de Boracay Convention Center, Boracay Island, 20-23 October 2010
 16. Qing Yao, Jianhua Chen, Zexin Guan, Chengxiao Sun, Zhiwei Zhu. Inspection of rice appearance quality using machine vision. *Intelligent Systems.GCIS '09. WRI Global Congress on (Volume:4)*. 19-21 May 2009.ISBN: 978-0-7695-3571-5
 17. Sampallo Guillermo, González Thomas Arturo, Acosta Cristian, Cleva Mario. Medida de las Característica morfológicas de granos de arroz empleando procesamiento de imágenes. La Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N. - en el Nordeste Argentino – N.E.A. Investigación y Desarrollo en la Facultad Regional Resistencia. Editorial Edutecne ISBN N° 978-987-27897-0-1 (2011).
http://www.edutecne.utn.edu.ar/investigacion_fr_res/investigacion_fr_res.html
 18. Sampallo Guillermo, González Thomas Arturo, Acosta Cristian, Cleva Mario Sistema de control de calidad de granos de arroz pulidos empleando visión por computadora. Pag 326. XIV Workshop de Investigadores en Ciencia de la Computación 2012 : WICC 2012. Compilado por *Horacio Daniel Kuna*. - 1a ed. - Posadas : *Universidad Nacional de Misiones*, E-Book. 30/03/2012. ISBN 978-950-766-082-5
 19. Merian J. Dinámica. 6º Ed. Madrid. Mac Graw Hill 1998.
 20. Minton R y SmitH R. Cálculo. Volumen I. 2º Ed. Mac Graw Hill. 2002.