



Nota Técnica

Determinación de características físicas en semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) mediante procesamiento digital de imágenes

Determination of physical characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds
by digital processing of images

Percy **Arapa Carcasi**¹, Carlos Alberto **Padrón Pereira**²

¹Investigador independiente. Jr. Puno, N° 386, Provincia de Puno, Departamento de Puno, Perú.

E-correo: percyarapa@gmail.com

²Asociación RVCTA. Avenida Andrés Bello N° 101-79, Sector La Pastora, Municipio Valencia,
Estado Carabobo, C.P. 2001, Venezuela. E-correo: carlospadron1@gmail.com

Aceptado 09-Febrero-2015

Resumen

Las propiedades físicas de las semillas influyen parámetros de trabajo en los equipos y son esenciales para el diseño de estos y de instalaciones para la recolección, cosecha, transporte, separación, secado, aireación, almacenamiento y procesamiento. En la determinación de propiedades físicas algunas dependen o se originan de las dimensiones ortogonales. Los granos o semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) se caracterizan por su pequeño tamaño. El propósito de este trabajo fue determinar características físicas en semillas de quinua mediante procesamiento digital de imágenes. Se usaron computadoras, cámaras digitales y un escáner. Se utilizaron dos muestras de quinua procesada. Con la primera muestra se ensayaron los programas PHOTO-PAINT, Photoshop, Paint, SmartGrain y GrainScan para comparación. Con Photoshop se determinó el color en porción de granos y de harina. Con la segunda muestra se midieron dimensiones con PHOTO-PAINT, que no ofreció diferencias con Photoshop y Paint, para la determinación de las características físicas. Hubo diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre submuestra de cinco granos de la primera muestra para las variables

largo, ancho, y no hubo diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre los programas (PHOTO-PAINT, SmartGrain y GrainScan). Los valores de las coordenadas colorimétricas en la muestra de semillas de quinua fueron $L^* 70$, $a^* 8$ y $b^* 44$ y en la harina $L^* 71$, $a^* 3$ y $b^* 34$. La segunda muestra presentó valores promedios de largo 2,3638; ancho 2,0129 y espesor 1,0605 mm.

Palabras claves: dimensiones de semillas, procesamiento de imagen digital, programas de análisis de granos alimenticios, propiedades físicas, quinua.

Abstract

The physical properties of seeds have an influence on working parameters of equipments and are essential for designing them and facilities for harvest, transport, separation, drying, aeration, storage and processing. Some physical properties depend on orthogonal dimensions. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is characterized by its very small seed size. The aim of this work was to determine physical characteristics of quinoa seeds by digital processing of images. Computers, digital cameras and scanner were employed. Two samples of seeds were used. The first sample was used for software (PHOTO-PAINT, Photoshop, Paint, SmartGrain, GrainScan) testing and for comparing, and the second sample for measurement of dimensions with PHOTO-PAINT. Grains and flour color were determined with Photoshop (first sample). There was statistically significant difference ($p < 0.05$) between subsample of five grains of the first sample for length and width variables, and there was no significant difference ($p > 0.05$) between programs (PHOTO-PAINT, SmartGrain, GrainScan). The values of the colorimetric coordinates were $L^* 70$, $a^* 8$, $b^* 44$ and $L^* 71$, $a^* 3$, $b^* 34$ for grains and flour, respectively. The second sample presented average values of 2.3638, 2.0129 and 1.0605 mm for length, width and thickness, respectively.

Key words: digital image processing, quinoa, food grains analysis software, physical properties, seeds dimensions.

INTRODUCCIÓN

El valor nutricional de los granos y/o semillas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es conocido y de menor cuantía se conoce sobre sus características físicas, siendo fundamental para un adecuado diseño y desarrollo de maquinarias y procesos que permitan incrementar el desarrollo productivo (Cervilla *et al.*, 2012). Características físicas como la forma, el tamaño, el volumen, la densidad y la porosidad, entre otras, son parámetros importantes para el análisis de la calidad de los granos, aplicación de la normativa existente en los mercados y forma parte fundamental para comprender los cambios

que se presentan en las diferentes fases del manejo poscosecha y en los procesos industriales; asimismo, constituyen una información fundamental de ingeniería para adecuar y operar máquinas, diseñar y construir estructuras de almacenamiento y montar sistemas adecuados de transporte; además, es un parámetro fundamental para el diseño de empaques (Ospina-Machado, 2001). Una característica muy particular de la quinua es su pequeño tamaño (Fig. 1).

El análisis de imagen ha sido utilizado ampliamente en investigación botánica y agricultura práctica, y presenta ventajas por su potencial no destructivo y objetivo. Consiste en la adquisición de una imagen del objeto, el



Figura 1.- Semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).

preprocesamiento de la imagen para facilitar el procesamiento posterior, la selección de los píxeles de interés y la extracción de los rasgos característicos (Ibaraki y Dutta-Gupta, 2015).

Comercialmente, existen instrumentos que acoplan funciones de escáner y software, bajo la denominación de sistema de análisis de imagen, por ejemplo el SeedCount (Next Instruments Pty Ltd, New South Wales, Australia) y el WinSEEDLE™ (Regent Instruments Inc, Quebec, Canadá), diseñados para el análisis de características físicas de semillas y granos, los cuales captan una imagen en alta resolución en una bandeja con semillas y procesan la imagen con el software diseñado, llegando incluso a clasificar a cada grano acorde a estándares internacionales, o clasificarlos según el color. De manera menos comercial, el uso de computadoras, cámaras digitales, escáneres y software de utilidad (paquetes completos, gratuitos o en versiones de prueba), ha facilitado la determinación de parámetros físicos en granos y/o semillas a través del procesamiento digital de imágenes, lo que ha generado nuevos protocolos que han permitido proporcionar mediciones dimensionales, características morfométricas y colorimétricas, entre otras; y en algunos casos, la determinación se ha logrado sin la utilización

de calibradores tipo Vernier, cartas e instrumentos para medición del color y microscopios.

En trigo (*Triticum aestivum* L.), Williams *et al.* (2013) captaron imágenes de las semillas con una cámara digital y utilizaron el software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA) para generar mediciones de largo, ancho, perímetro y área; y el software SHAPE (Iwata y Ukai, 2002) para establecer variaciones en la forma como la rugosidad y el sesgo asimétrico. En arroz (*Oryza sativa* L.), Camelo-Méndez *et al.* (2013) también emplearon el programa ImageJ y el complemento ('plugin') Color Inspector 3D, desarrollado por el Doctor Kai Uwe Barthel (Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Alemania), para evaluar características morfológicas, descripción de la textura mediante dimensión fractal y el color a la "mancha opaca blanca"; Cleva *et al.* (2013), usando el mismo software y un escáner, desarrollaron una metodología para la determinación del volumen de una muestra de granos de arroz pulido; y por otra parte, Ávila *et al.* (2012) utilizaron un escáner y el software HP Photosmart (Hewlett-Packard Development Company, L.P., Palo Alto, CA, USA) para obtener imágenes de granos de arroz que fueron enviadas vía correo electrónico a analistas de 5 países con experiencia en el análisis de granos defectuosos con el propósito de observar, y acorde a la percepción, asignar categorías correspondientes con las normas de calidad del grano. En semillas de especies de arvejas y/o guisantes, Smykalova *et al.* (2011) y Grillo *et al.* (2011), usaron un escáner y el software KS-400 (Carl Zeiss AG, Oberkochen, Germany) para determinar características morfo-colorimétricas en *Pisum sativum* L. y para analizar e identificar semillas entre variedades de *Vicia sativa* L., respectivamente; el mismo software y con similar equipo, ha sido utilizado por Shahin y Symons (2005) en el dimensionamiento a partir de imágenes de muestras de semillas, no individualizadas, de 4

especies. En semillas de quinua, Medina *et al.* (2010) aplicaron análisis de imágenes para identificar la procedencia geográfica de 25 variedades cultivadas en Europa y Suramérica mediante mediciones de las dimensiones geométricas, características morfológicas, dimensión fractal y características de color, utilizando el software ImageJ y llevando a cabo análisis de componentes principales y de conglomerados jerárquicos.

Corel® PHOTO-PAINT™ (Corel Corporation, Ottawa, Ontario, Canadá), Adobe® Photoshop® (Adobe System Incorporated, San José, CA, USA) y Microsoft Paint (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) son programas para la edición y retoque de imágenes digitales, que han sido y pueden ser utilizados con diversos propósitos de investigación en alimentos. Por ejemplo, PHOTO-PAINT en microfotografías, aplicando separación de canales (CMYK) para obtener información sobre la microestructura de organogeles (Rocha-Amador *et al.*, 2014) y en la creación de máscaras para la evaluación del contenido en microcavidades de la microestructura de estabilizadores de estructura como la CMC y goma xantana (Pozdnyakova *et al.*, 2014).

Otros programas de interés son: WinDIAS (Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK), aplicación desarrollada para la medición del área de las hojas que ha permitido la medición de caracteres morfológicos en semillas de avena (*Avena sativa* L.) para diferenciar entre cultivares (Sumathi y Balamurugan, 2013); SmartGrain, desarrollado por Takanari Tanabata (Agrogenomics Research Center, National Institute of Agrobiological Science, Tsukuba, Japón), que recientemente ha sido ensayado en la variabilidad de características entre semillas individuales de *Echinocystis lobata* (Michx.) (Golivets, 2014) y GrainScan, desarrollado por Alex Whan y Leanne Bischoff (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Plan Industry - Quantitative Imaging,

Australia), aplicaciones gratuitas específicas para granos las cuales reconocen automáticamente a todos los granos y/o semillas dentro de una imagen digital, detectando contornos y luego calculan: largo, ancho, área de semilla, longitud de perímetro y otros parámetros (Tanabata *et al.*, 2012; Whan *et al.*, 2014). Lobet *et al.* (2013) describen una base de datos en línea sobre herramientas de software con aplicación en el análisis de imágenes de plantas, para identificar soluciones disponibles para necesidades experimentales.

Por todo lo expuesto, el presente trabajo tuvo como propósito determinar características físicas en semillas de quinua mediante procesamiento digital de imágenes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedencia de las muestras de quinua

Se utilizaron 2 muestras. La muestra 1 (M1) consistió en semillas de quinua procesada (beneficiada, “perlada”) importada de Perú que fueron adquiridas en un establecimiento comercial en Valencia, Estado Carabobo, Venezuela. La muestra 2 (M2) consistió en semillas de quinua procesada (beneficiada) (cosecha del 2014) provenientes del Distrito de Cabana, Provincia de San Román, Departamento de Puno, Perú. El Departamento se encuentra ubicado al sureste de la República del Perú, entre las coordenadas geográficas 13°00'00"y 17°17'30" latitud sur y los 71°06'5" y 68°48'4" longitud oeste (GRP, 2013), con temperaturas 3,49 - 15,61 °C y precipitación anual 897,36 mm (INEI, 2012). El Distrito se ubica a una altitud de 3901 msnm y se caracteriza por el cultivo de quinua (Campos *et al.*, 2012).

Software y equipos

Los programas PHOTO-PAINT versiones 11 y X5 (15), Photoshop versión CS6

(13), Paint versión 6.3, SmartGrain versión 1.2 y GrainScan versión 1.0. Las cámaras digitales Panasonic (LUMIX) modelos DMC-FP3, utilizada por defecto excepto en la calibración del tamaño de imagen a alta resolución, y DMC-FS42, calibrada usando el procedimiento de Padrón-Pereira *et al.* (2012). Escáner HP Deskjet F2280 con el software HP Photosmart Essential versión 2.5 (Hewlett-Packard Development Company, L.P., Palo Alto, CA, USA), calibrado a resolución de 600 dpi ('dots per inch', puntos por pulgada). Computadoras con procesadores Intel® Celeron® 2,00 GHz (RAM 351 MB) e Intel® Core™ i3-3130M 2,60 GHz (RAM 4 GB).

Preparación de las muestras y captación de las imágenes

M1: para la captación de imágenes con cámara digital, en un escenario constituido por un portalámpara utilizando como fuente de luz un reflector simulador de la luz del día (D₆₅) marca General Electric, y una cámara digital (DMC-FS42) ubicada en un soporte, donde la geometría de las direcciones de iluminación/observación fue de 45°/0° (distancia del ángulo de iluminación 15 cm, distancia del ángulo de observación a criterio), se colocaron sobre papel milimetrado, 1 grano de quinua (G0), y para otro ensayo, una submuestra de 5 granos (G1, G2, G3, G4 y G5); adicionalmente se fotografió una porción de granos enteros y otra de harina de quinua. Para la captación de imágenes con escáner, los mismos 5 granos se fijaron con silicón líquido como adhesivo, y en la misma posición, sobre una lámina de material plástico de color negro mate. Cuando se consideró necesario las imágenes fueron preprocesadas. Las imágenes se guardaron como archivos con extensión .jpg

M2: solo para la captación de imágenes con cámara digital (DMC-FP3), se colocaron sobre papel milimetrado 30 granos de quinua (distancia de observación a criterio). Las imágenes se guardaron como archivos con

con extensión .jpg

Procesamiento de las imágenes digitales

De M1, archivos del grano G0 se abrieron en PHOTO-PAINT X5 (Fig. 2). Se aumentó el nivel de zum hasta poder apreciar los píxeles. En el menú 'Ver', se seleccionó en 'Información sobre la imagen', lo que permite apreciar la ventana acoplable que aporta información sobre las coordenadas x (anchura) e y (altura). En dicha ventana se seleccionó como unidad de medida a píxeles. Posteriormente con la herramienta 'Rectángulo', se dibujó uno arrastrando el cursor con el propósito de medir el equivalente de 1 mm del papel milimetrado en píxeles; en la imagen detalle se observa que la altura y anchura fue de 75 píxeles, es decir, una equivalencia de 1 mm = 75 píxeles (Fig. 2A). Con la herramienta 'Máscara rectángulo', que define áreas editables, se midió la altura y anchura del grano en la imagen (Fig. 2B) y el mismo resultado se obtuvo dibujando un rectángulo vertical y otro horizontal con la herramienta 'Rectángulo' (Fig. 2C). Para el espesor del grano, el procedimiento fue el mismo (Fig. 2D). En las imágenes, la altura (largo) fue 161 píxeles, la anchura (ancho) 155 píxeles y la altura (espesor) 84 píxeles. En base a la equivalencia, las dimensiones del grano fueron: largo 2,1467 mm; ancho 2,0667 mm; y espesor 1,1200 mm.

Similar procedimiento con los mismos archivos del grano (G0) se realizó con los programas Photoshop CS6 (Fig. 3) y Paint 6.3 (Fig. 4) para comparación y comprobación. Con los 3 programas se obtuvo la misma expresión del resultado de una medición.

Se seleccionó el software PHOTO-PAINT X5 para medir el largo y ancho de submuestra de 5 granos (G1, G2, G3, G4 y G5) de M1 sobre papel milimetrado, en imagen con extensión .jpg obtenida de cámara digital.

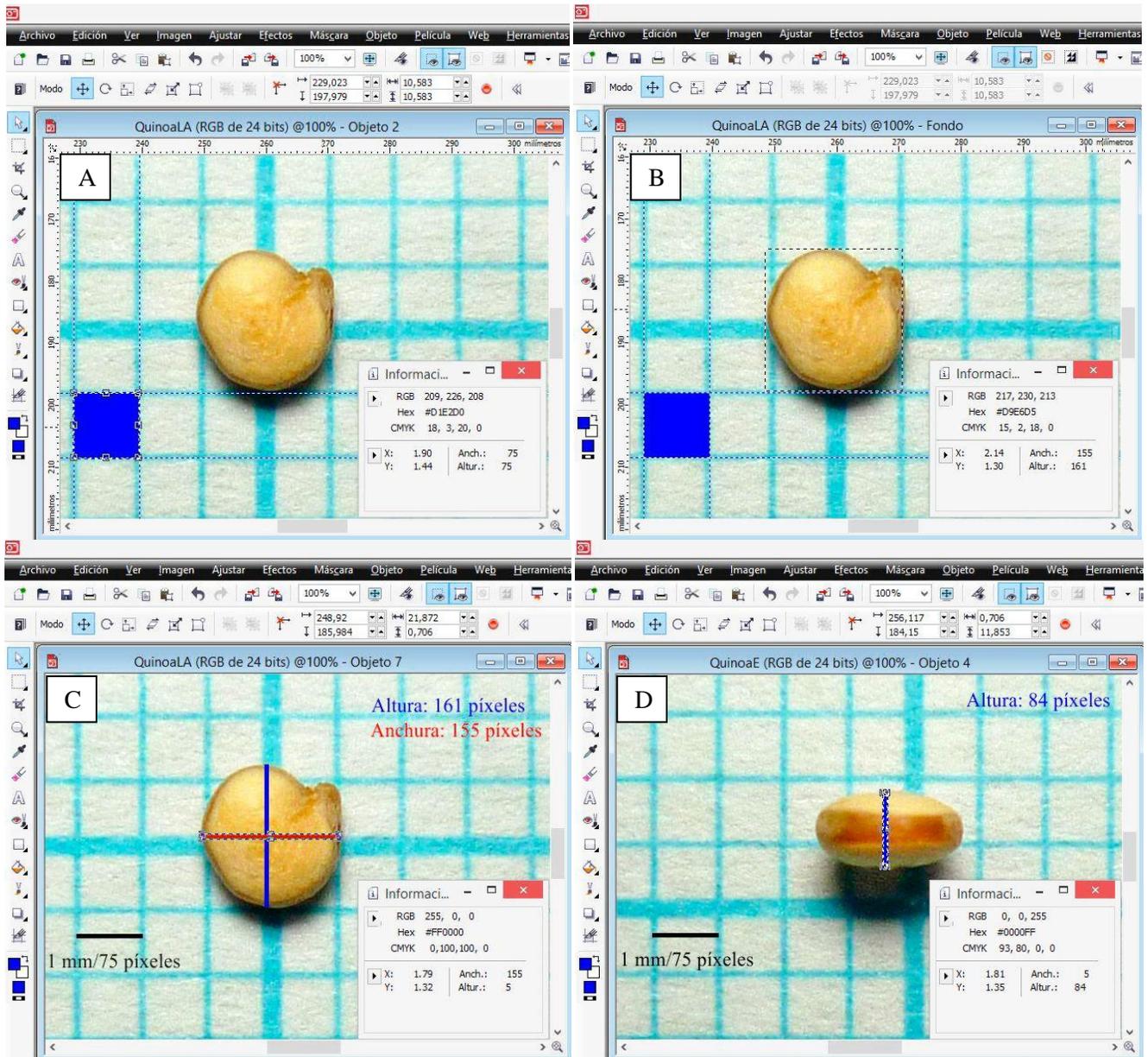


Figura 2.- Medición de dimensiones en grano de quinoa con Corel® PHOTO-PAINT™ X5.

Con los programas SmartGrain y GrainScan, se midió el largo y ancho de los mismos 5 granos de M1 sobre lámina de material plástico de color negro mate, en imagen con extensión .jpg obtenida de escáner. SmartGrain y GrainScan requieren ensayos previos para la remoción de áreas que no son de interés (segmentación) antes del análisis

morfológico final. En SmartGrain quedó establecida una intensidad de precisión en la detección de semillas por defecto (2 de 4) y en el umbral para la eliminación de aristas una intensidad de detección “nogi” 4 (de 5); adicionalmente, la falsa detección se corrigió utilizando la opción tecla “shift” sostenida. En GrainScan, para disminuir área detectada

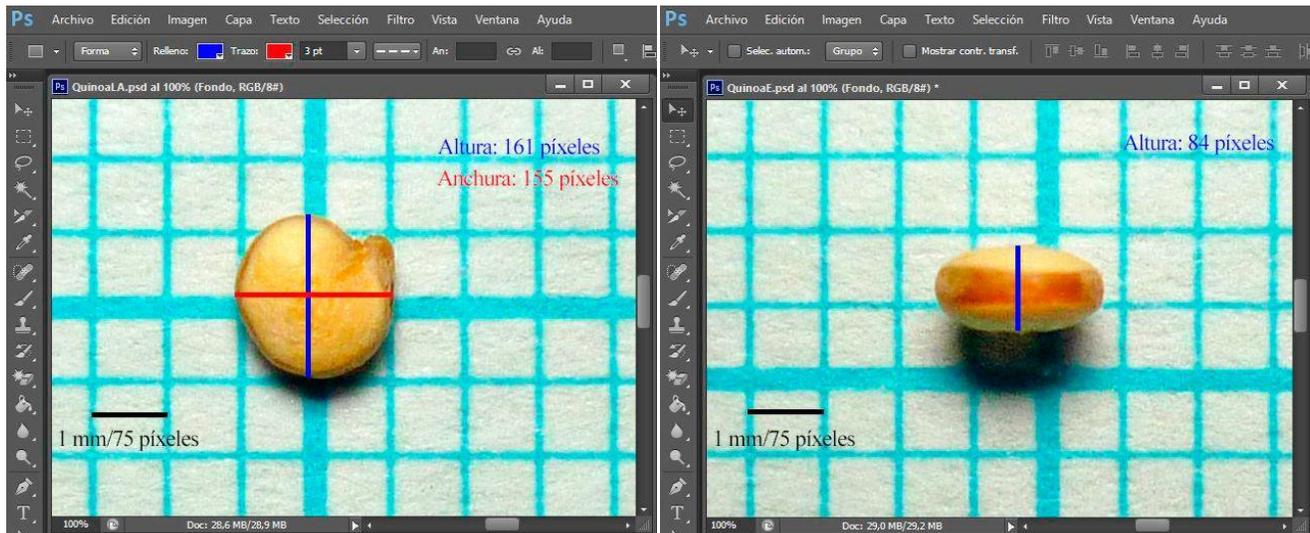


Figura 3.- Medición de dimensiones en grano de quinua con Adobe® Photoshop® CS6.

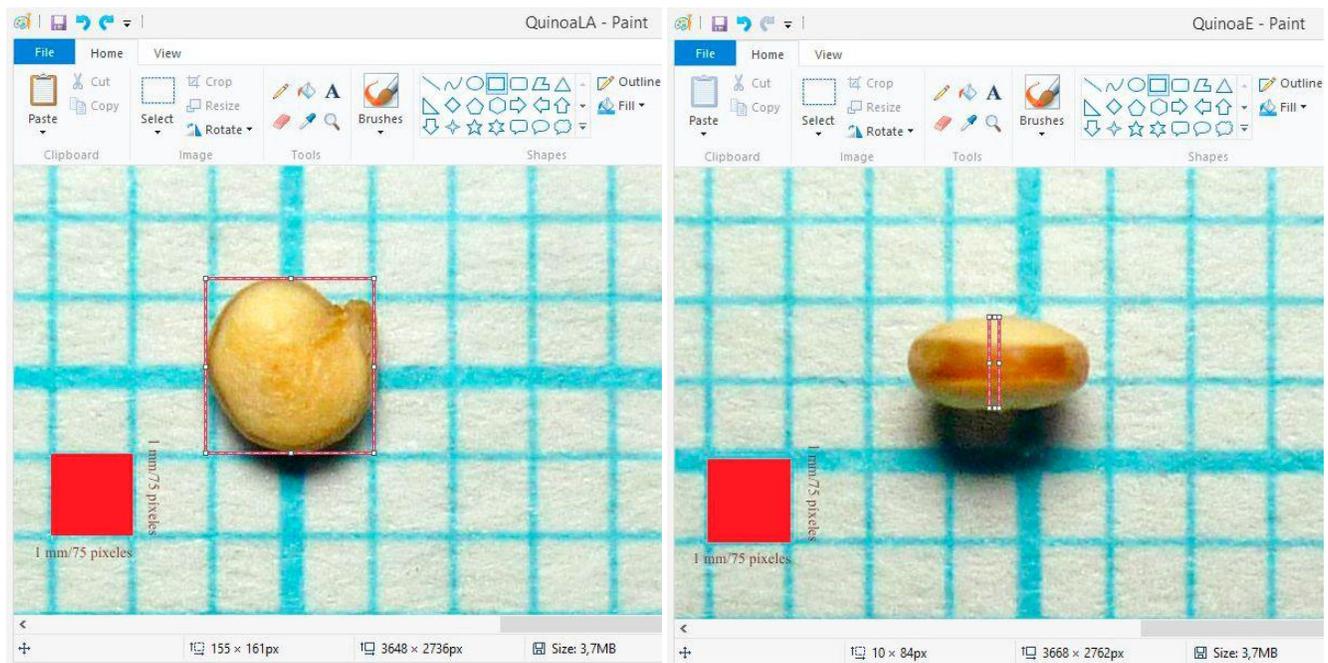


Figura 4.- Medición de dimensiones en grano de quinua con Microsoft Paint 6.3.

falsamente identificada se estableció un umbral de sensibilidad automático de 0,70. En todas las mediciones efectuadas se procuró no tomar en cuenta la radícula. Cervilla *et al.* (2012) en la

medición del largo de muestras de quinua con calibrador milimétrico, tomaron en cuenta la radícula. Los resultados obtenidos con los 3 programas se compararon.

Determinación de la humedad y características físicas de los granos de quinua

La determinación de la humedad y de las características físicas se llevó a cabo en semillas de M2, excepto para el color, que se utilizó M1.

Humedad

La determinación de la humedad se realizó por el método indirecto en un analizador de humedad, marca Ohaus®, modelo MB 45, con capacidad de 45 g y sensibilidad de 0,001 g.

Largo (L), ancho (W) y espesor (T)

La medición de estas características se realizó en semillas colocadas sobre papel milimetrado, en imagen con extensión .jpg obtenida de cámara digital utilizando el programa PHOTO-PAINT 11, siguiendo el procedimiento anteriormente descrito e ilustrado.

Diámetro medio aritmético y geométrico

Se determinaron utilizando las expresiones siguientes (Mohsenin, 1986; Koocheki *et al.*, 2007; Önen *et al.*, 2014).

$$\text{Ecuación (1)} \quad D_a = \frac{(L + W + T)}{3}$$

$$\text{Ecuación (2)} \quad D_g = (L \cdot W \cdot T)^{1/3}$$

Donde:

D_a : diámetro medio aritmético, mm

L : largo, mm

W : ancho, mm

T : espesor, mm

D_g : diámetro medio geométrico, mm

Área superficial

Se obtuvo empleando la expresión siguiente (Jain y Bal, 1997; Koocheki *et al.*, 2007; Milani *et al.*, 2007).

$$\text{Ecuación (3)} \quad S = \frac{\pi \cdot B \cdot L^2}{2L - B}$$

Donde:

S : área superficial, mm²

B : $(W \cdot T)^{1/2}$

Esfericidad

Se calculó utilizando la siguiente expresión (Mohsenin, 1986; Koocheki *et al.*, 2007; Tarighi *et al.*, 2011).

$$\text{Ecuación (4)} \quad \phi = \frac{D_g}{L}$$

Donde:

ϕ : Esfericidad, adimensional

Densidad aparente (ρ_b) y real (ρ_t)

Para la aparente se usó la metodología propuesta por Olajide y Ade-Omowaye (1999) y Amin *et al.* (2004); y para la real, la metodología utilizada por Singh y Goswami (1996).

Porosidad

Se calculó utilizando la ecuación siguiente (Koocheki *et al.*, 2007; Ordóñez *et al.*, 2012; Önen *et al.*, 2014).

$$\text{Ecuación (5)} \quad \varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \times 100$$

Donde:

ε : porosidad, %

ρ_b : densidad aparente, g/cm³

ρ_t : densidad real, g/cm³

Ángulo de reposo

Se determinó utilizando la siguiente expresión (Jha, 1999; Razavi y Fathi, 2009; Damian, 2014).

$$\text{Ecuación (6)} \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{2H}{D} \right)$$

Donde:

θ : ángulo de reposo

H : altura del montón o cono, mm

D : diámetro de la base del montón o cono, mm

Color

Se obtuvo a partir de imágenes digitales de una porción abundante de granos enteros y otra de harina (granos parcialmente molidos) de quinua. Se utilizó el software Photoshop CS6, siguiendo el procedimiento de Padrón-Pereira (2009) para determinar las coordenadas rectangulares L^* , a^* y b^* . Las coordenadas polares, croma (C^*) y ángulo de tono (h°) se calcularon con las siguientes ecuaciones: croma (C^*) = $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$, tono (h°) = $\arctan(b^*/a^*)$ para valores a^* y b^* positivos.

Análisis estadístico

A los valores de las dimensiones de los granos de quinua de M1 se les realizó análisis de varianza general para establecer diferencias entre los granos de la submuestra (G1, G2, G3, G4 y G5) y entre los programas (PHOTO-PAINT, SmartGrain y GrainScan); a los valores se agregó +0,01 y -0,01 mm a cada dato para obtener más valores en razón de la precisión en la medición con PHOTO-PAINT que no amerita repetición; para la comparación de medias se utilizó el método de Diferencia Significativa Honesta de Tukey, y el software empleado fue Statistix for Windows, versión 10 (Analytical Software, Tallahassee, FL, USA). A los valores obtenidos de las características

físicas de los granos de quinua de M2, se les calculó la media y la desviación estándar utilizando el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), versión 15.0 para Windows (SPSS Inc. Chicago, IL, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Procesamiento de las imágenes digitales

En las Figs. 5, 6 y 7 se aprecia la factibilidad de las mediciones de largo y ancho de los 5 granos (G1, G2, G3, G4 y G5) de M1 con los programas PHOTO-PAINT X5 (PP), SmartGrain (SG) y GrainScan (GS), respectivamente.

Los valores obtenidos en las mediciones de los granos de quinua de M1 se presentan en el Cuadro 1 y los promedios de las dimensiones diferenciados por programa en el Cuadro 2.

Entre los granos de la submuestra, hubo diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) en las variables largo y ancho (Cuadro 1). Los grupos homogéneos o sin diferencias estadísticas ($p > 0,05$) en las medidas fueron: en PP, G4 y G5 para largo y ancho; en SG, G2 y G4 para largo y G1 y G2 para ancho; en GS, G1 y G2 para largo y ancho. Con PP la semilla más larga y ancha fue G1, mientras que SG y GS reconocieron fue a G5. Esto fue debido a que con PP las medidas se efectuaron solo de manera vertical y horizontal (pudiendo quedar excluida la mayor dimensión, o la menor, por la posición del grano), y no de otras formas posibles (diagonal) como ocurre con SG y GS. El largo de G1, G2 y G3 fue mayor y el ancho menor con SG al comparar con GS. Esta variación se debió al grado de precisión en la asignación de valores en GS para llevar a cabo la segmentación de las imágenes con la pretensión de excluir la radícula; la disminución del área redujo el largo y no toda la radícula logró excluirse. Hubo coincidencia en que la semilla menos larga y ancha fue G3.

Al analizar todas las medidas de las variables largo y ancho por programa, no hubo

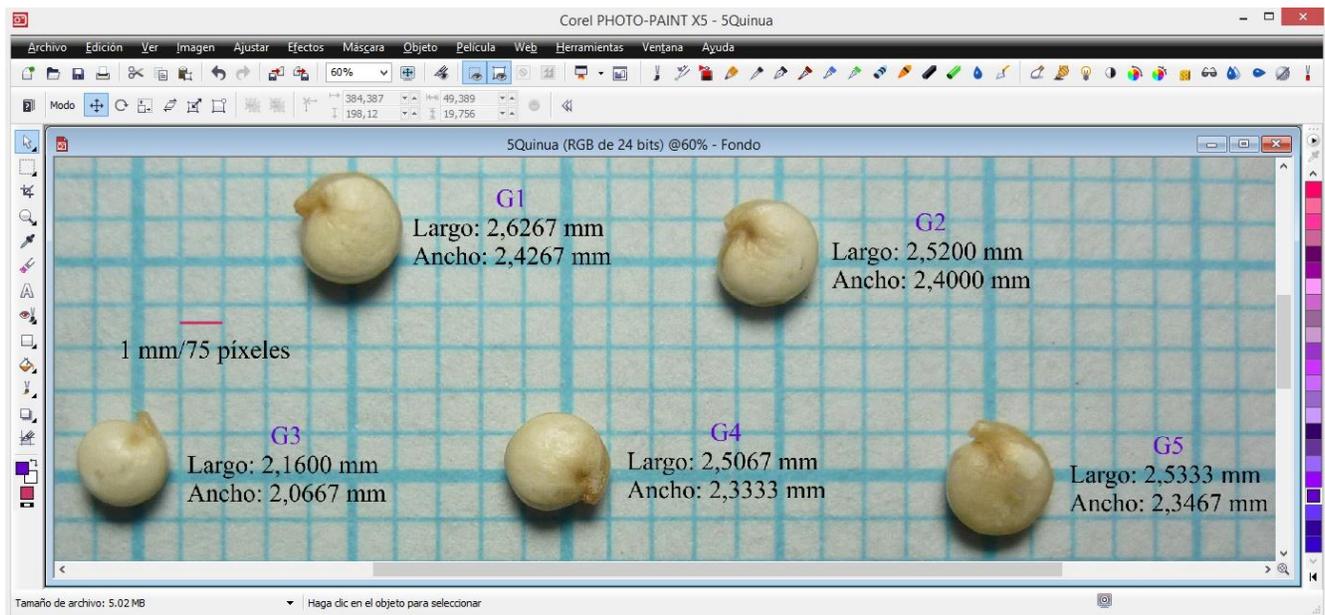


Figura 5.- Dimensiones en granos de quinua obtenidas con Corel® PHOTO-PAINT™ X5.

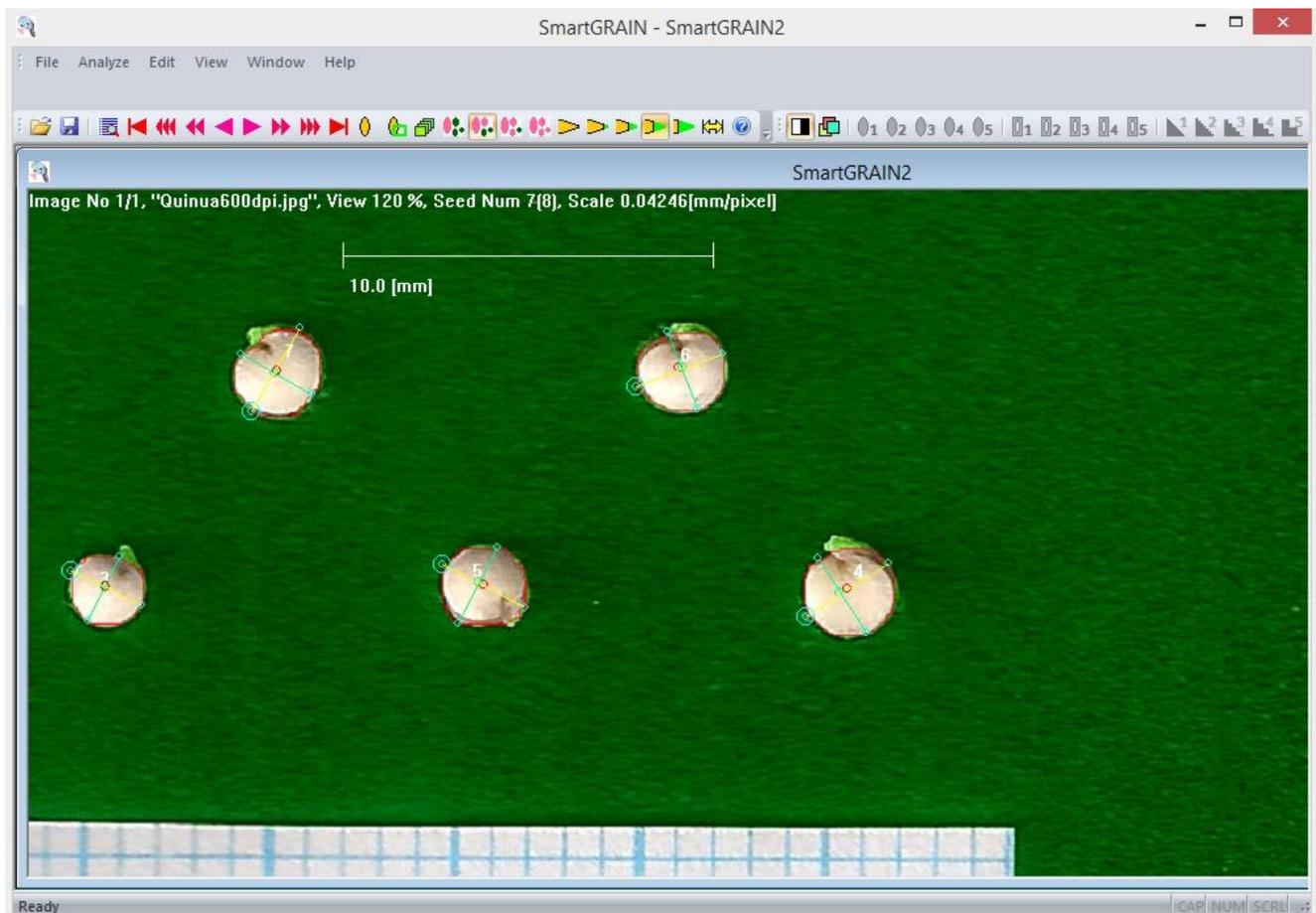


Figura 6.- Medición de dimensiones en granos de quinua con SmartGrain.

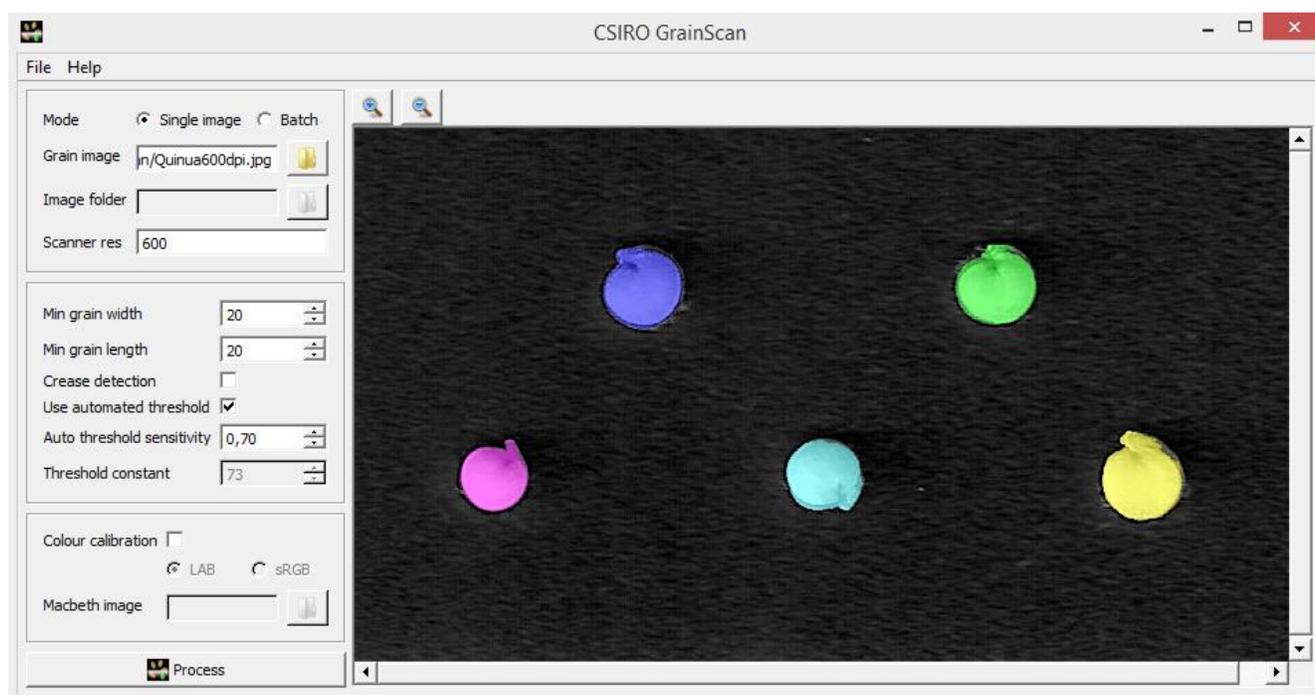


Figura 7.- Medición de dimensiones en granos de quinua con GrainScan.

Cuadro 1.- Dimensiones de los granos de quinua diferenciadas por muestra.*

Muestras	PHOTO-PAINT		SmartGrain		GrainScan	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho
G1	2,63 ^a	2,43 ^a	2,59 ^b	2,21 ^c	2,47 ^b	2,36 ^b
G2	2,52 ^b	2,40 ^b	2,50 ^c	2,23 ^c	2,45 ^b	2,34 ^b
G3	2,16 ^c	2,07 ^d	2,13 ^d	1,94 ^d	2,10 ^d	2,03 ^d
G4	2,51 ^b	2,33 ^c	2,49 ^c	2,30 ^b	2,39 ^c	2,16 ^c
G5	2,53 ^b	2,35 ^c	2,64 ^a	2,39 ^a	2,65 ^a	2,39 ^a

Los valores son promedio de 3 datos y están expresados en mm.

* Letras diferentes en superíndices en una misma columna indican que hubo diferencias significativas ($p < 0,05$).

diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre los programas (Cuadro 2). Es decir, a pesar de las variaciones en las cifras, la medición para ambas variables estadísticamente no fue diferente. Los 3 programas, bajo los criterios y parámetros fijados ofrecieron un mismo resultado con relación al valor promedio

del largo y el ancho de los 5 granos y/o semillas. Whan *et al.* (2014) compararon valores promedios de largo y ancho de semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) medidos en milímetros con los programas SmartGrain, GrainScan, SeedCount y encontraron que fueron similares.

Cuadro 2.- Promedios de las dimensiones de los granos de quinua diferenciados por programa.*

Programa	Largo	Ancho
PHOTO-PAINT	2,4700 ^a	2,3160 ^a
SmartGrain	2,4700 ^a	2,2140 ^a
GrainScan	2,4120 ^a	2,2560 ^a

$n = 5$. Los valores están expresados en mm.

* Letras iguales en superíndices en una misma columna indican que no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$).

Determinación de la humedad y características físicas de los granos de quinua

Contenido de humedad

El valor de humedad obtenido para los granos de quinua (M2) fue 10,0 %. Reyes-García *et al.* (2009) en las Tablas Peruanas de Composición de Alimentos tabularon un valor de 11,1 % y Tömösközi *et al.* (2011) un valor de 11,23 %. El requisito bromatológico de los granos de quinua en Perú es de un valor máximo de 13,5 % en base seca (INDECOPI, 2009). En la composición de la semilla de quinua se puede encontrar amplia variación en el contenido de agua. De 6,8 a 20,7 % de humedad informan Jacobsen y Sherwood (2002) para quinua de Ecuador.

Varias propiedades físicas de las semillas son dependientes de su contenido de humedad y parece ser importante en el diseño de equipos para la siembra, cosecha, operaciones de manejo, transporte, almacenamiento y procesamiento (Coşkuner y Karababa, 2007). Por otra parte, el contenido de humedad del grano de quinua es un parámetro de calidad que se utiliza para determinar el precio (Arapa-Carcasi, 2009). Vilche *et al.* (2003) evaluaron propiedades físicas de

semillas de quinua determinadas en función del contenido de humedad en un intervalo de 4,6-25,8 % (base seca), entre ellas, la esfericidad, la porosidad y el ángulo de reposo mostraron dependencia de la humedad acorde a una relación lineal con coeficientes de correlación mayores a 0,90.

Características físicas de los granos de quinua

En el Cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos de las características físicas evaluadas de los granos de quinua de M2 (cosecha del 2014, Distrito de Cabana, Provincia de San Román, Departamento de Puno, Perú).

La dimensión en largo fue mayor, y en ancho y espesor menor (respectivamente), a las mediciones realizadas en cosecha del 2007 por Cervilla *et al.* (2012) en granos de quinua con humedad 10,1 % provenientes del Departamento Molinos en la Provincia de Salta (Argentina) (2,06; 2,06 y 1,12 mm) y en cosecha del 2011 en granos de humedad 8,85 % provenientes del Departamento La Poma en la misma provincia (2,15; 2,14 y 1,11 mm); cabe destacar que para el departamento anterior los autores publican para la cosecha del 2009 en granos con humedad 7,93 % valores muy diferentes al resto (2,44; 2,37 y 1,35 mm), mayores en dimensiones a los obtenidos en este trabajo, y en contraposición, menores medidas han sido informadas para quinua: 1,889; 1,885 y 0,98 mm (Vilche *et al.*, 2003; Mujica *et al.*, 2006). En base a un diámetro promedio, se obtendría un valor mayor a 2 mm por lo que el tamaño de los granos de M2 se clasificaría como “extra grande” (INDECOPI, 2009). Para una muestra de semillas de una misma cosecha de un cultivo, las 3 dimensiones ortogonales pueden incrementarse cuando el contenido de humedad aumenta y de igual forma los diámetros medios aritmético y geométrico, y el área superficial (Koochki *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2007; Rojas-Barahona y Aristizábal-Torres,

Cuadro 3.- Características físicas de granos de quinua.

Característica física	Media \pm Desviación estándar
Largo (mm)	2,3638 \pm 0,00189
Ancho (mm)	2,0129 \pm 0,00124
Espesor (mm)	1,0605 \pm 0,00078
Diámetro medio aritmético (mm)	1,8125 \pm 0,00078
Diámetro medio geométrico (mm)	1,6563 \pm 0,00112
Área superficial (mm ²)	8,2509 \pm 0,00864
Esfericidad	0,8225 \pm 0,00078
Densidad aparente (g/mL)	0,6993 \pm 0,00828
Densidad real (g/mL)	1,0273 \pm 0,01680
Porosidad (%)	32,0641 \pm 1,38743
Ángulo de reposo (°)	31,6 \pm 1,5

2011; Bashar *et al.*, 2014). El área superficial de una semilla reviste interés en el diseño de tolvas y cámaras de procesamiento (Bande *et al.*, 2012).

El valor de esfericidad obtenido fue de 0,8225. La esfericidad es el grado de aproximación de una semilla a una esfera y en cualquier semilla es una función de sus dimensiones básicas (largo, ancho y espesor). Esta característica describe la capacidad de rodar de una semilla durante el procesamiento. Un valor de esfericidad de 0,7 a 0,8 es considerado esférico para una semilla (Bande *et al.*, 2012). La esfericidad en semillas aumenta con el incremento de la humedad (Işık y Unal, 2011; Tarighi *et al.*, 2011). En semillas de quinua, Vilche *et al.* (2003) determinaron valores de 0,77 a 0,88 en función del incremento de humedad, no obstante, para otro género de semilla ha sido documentado disminución de la esfericidad al aumentar la humedad (Çalışır *et al.*, 2005). Los valores de densidad aparente (0,6993 g/mL) y real (1,0273 g/mL) obtenidos en la muestra de humedad

10,0 % fueron, respectivamente, similares a los determinados por Cervilla *et al.* (2012) de 0,69 y 1,19 g/mL en granos de quinua de humedad 10,1 %. Estos autores comentan que los valores de densidad aparente aportan información útil para el análisis de la transferencia de calor a través de los granos, en el control de calidad, en la evaluación, cálculo y diseño de sistemas de transporte, limpieza y clasificación; y los de densidad real en el diseño de sistemas de almacenamiento, empaque, deshidratación y transporte. Cabe destacar que Vilche *et al.* (2003), en la evaluación de propiedades físicas de semillas de quinua determinadas en función del contenido de humedad en base seca (intervalo de 4,6 a 25,8 %), apreciaron que con el incremento de la humedad la densidad aparente disminuyó de 0,747 a 0,667 g/mL. La porosidad de los granos de quinua, expresada como una función de las densidades aparente y real, y definida como la relación entre el espacio “vacío” entre semillas y el volumen total de estas (Bande *et al.*, 2012), arrojó un valor de 32,0641 % que se ubicó en el intervalo

de 19 a 44 % publicado por Vilche *et al.* (2003) para granos de quinua. El ángulo de reposo es un indicador para conocer la fluidez del material y es influenciado por el tamaño, forma, volumen, superficie del grano, contenido de humedad y orientación de las partículas que conforman la masa del grano (Ospina-Machado, 2001); el valor determinado fue de $31,6^\circ$ y se ubicó fuera del intervalo señalado por Vilche *et al.* (2003) de 18 a 25° .

En el Cuadro 4 se presentan características del color de una muestra de semillas y otra de harina de quinua proveniente de granos parcialmente molidos de M1. Las coordenadas colorimétricas rectangulares determinadas en la muestra de semillas de quinua fueron $L^* 70$, $a^* 8$ y $b^* 44$ y en la harina o muestra parcialmente molida $L^* 71$, $a^* 3$ y $b^* 34$. Las coordenadas colorimétricas L , a y b indican: L , la luminosidad (0 = negro a 100 = blanco); a , el color rojo (valores positivos) o verde (valores negativos); y b , el color amarillo (valores positivos) o azul (valores negativos) (Valero-Muñoz, 2012). Lo anterior aplica para el espacio de color HunterLab y también para el

espacio CIE- $L^*a^*b^*$, con coordenadas L^* , a^* y b^* . Gearhart y Rosentrater (2014) trabajaron con muestras de granos quinua, sin moler y molidas con partículas promedio de 1 y 2 mm a las que le agregaron suficiente agua hasta alcanzar humedad de 20 y 40 % en base seca. El propósito del trabajo fue producir un alimento extruido libre de gluten. Entre las muestras de ≈ 20 % de humedad, en una de granos blancos de quinua sin moler determinaron valores de coordenadas colorimétricas $L^* 76,16$; $a^* 3,79$ y $b^* 25,99$; para otra de granos molidos de 2 mm $L^* 84,65$; $a^* 2,29$ y $b^* 19,47$; y en granos molidos de 1 mm $L^* 85,62$; $a^* 1,85$ y $b^* 18,6$. En los valores citados es notable que la coordenada L^* aumentó y las coordenadas a^* y b^* disminuyeron cuando disminuyó el tamaño del grano, como ocurrió en las muestras de este trabajo. Cabe destacar, que en las muestras de los autores citados el valor de L^* disminuyó cuando se incrementó la humedad de 20 a 40 %. A mayor humedad las muestras fueron más oscuras.

Cuadro 4.- Imágenes en zona paraxial, coordenadas colorimétricas y color promedio de muestras de semillas y harina de quinua.

Muestras	Imagen en zona paraxial	Coordenadas colorimétricas					Color promedio
		L^*	a^*	b^*	C^*	h°	
Semillas		70	8	44	44,7	79,7	
Harina		71	3	34	34,1	85,0	

Las coordenadas polares C^* y h° combinan a las coordenadas rectangulares a^* y b^* . En el espacio cromático cilíndrico o esférico CIE-L*C*h°, el croma, para determinado ángulo de tono, indica cuan puro o intenso es el color en una escala de 0 (no saturado; acromático) a 100 (saturado de un color), donde este último valor expresa la mayor pureza, es decir, cuan intenso es el color; y en relación al ángulo de tono, valores de 0° a 90° indican una tendencia que va del color rojo cambiando paulatinamente por combinación con el amarillo hasta definirse este último (Padrón-Pereira *et al.*, 2012). En base a lo anterior, el color en la harina fue menos intenso que el de las semillas, aunque incrementó en amarillo.

CONCLUSIONES

- Para la primera muestra, hubo diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre submuestra de cinco granos para las variables largo, ancho, y no hubo diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre los programas PHOTO-PAINT, SmartGrain y GrainScan.
- Los valores de las coordenadas colorimétricas en la muestra de semillas de quinua fueron $L^* 70$, $a^* 8$ y $b^* 44$ y en la harina $L^* 71$, $a^* 3$ y $b^* 34$.
- La segunda muestra presentó valores promedios de 2,3638; 2,0129 y 1,0605 mm para el largo, ancho y espesor, respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amin, M.N.; Hossain, M.A. and Roy, K.C. 2004. Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. *Journal of Food Engineering*. 65(1):83-87.
- Arapa-Carcasi, Percy. 2009. Ciencia y tecnología de la quinua. Puno, Perú. ISBN: 978-612-00-0128-8.
- Ávila, Manuel; Graterol, Eduardo; Alezones, Jesús; Criollo, Beisy; Castillo, Dámaso; Kuri, Victoria; Oviedo, Norman; Moquete, César; Romero, Marbella; Hanley, Zaida y Taylor; Margie. 2012. Concordancia entre analistas de laboratorios de Latinoamérica para la determinación de la apariencia de grano de arroz pulido mediante el uso de imágenes digitales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 62(2):179-184.
- Bande, Y.M.; Adam, N.M.; Azmi, Y. and Jamarie, O. 2012. A review of methodologies for determination of physical properties of seeds. In *Engineering research methods*. (Chapter 3). Raleigh, North Carolina, USA: Lulu Press, Inc.
- Bashar, Zubairu Usman; Wayayok, Aimrun and Soom Mohd, Amin Mohd. 2014. Determination of some physical properties of common Malaysian rice MR219 seeds. *Australian Journal of Crop Science*. 8(3):332-337.
- Çalışır, Sedat; Marakoğlu, Tamer; Ögüt, Hüseyin and Öztürk, Özden. 2005. Physical properties of rapeseed (*Brassica napus oleifera* L.). *Journal of Food Engineering*. 69(1):61-66.
- Camelo-Méndez, G.A.; Vanegas-Espinoza, P.E.; Jiménez-Aparicio, A.R.; Bello-Pérez, L.A. and Del Villar-Martínez, A.A. 2013. Morphometric characterization of chalkiness in mexican rice varieties by digital image analysis and multivariate discrimination. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 12(3):371-378.
- Campos, E.; Bravo, R.; Valdivia, R. y Soto, J. 2012. Plagas insectiles en áreas de intensificación de quinua en Puno. *CienciAgro*. 2(3):379-390.
- Cervilla, N.S.; Mufari, J.R.; Calandri, E. y Guzmán, C.A. 2012. Propiedades físicas de semillas y análisis proximal de harinas

- de *Chenopodium quinoa* Willd. cosechadas en distintos años y provenientes de la Provincia de Salta. En II Jornadas de Investigación en Ingeniería del NEA y Países Limítrofes. 14-15 de Junio. Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional, Resistencia, Chaco, Argentina.
- Cleva, M.S.; Sampallo, G.M.; González-Thomas, A.O. y Acosta, C.A. 2013. Método para la determinación del volumen de una muestra de granos de arroz mediante el procesamiento digital de imágenes. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*. 39(2):185-190.
- Coşkuner, Yalçın and Karababa, Erşan. Physical properties of coriander seeds (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Food Engineering*. 80(2):408-416.
- Damian, Cristina. 2014. Physical properties of mustard seeds (*Sinapis alba* L.). *Lucrări Ştiinţifice, Seria Zootehnie (Scientific Papers, Animal Science Series)*. 61(19):39-44.
- Gearhart, Caitlin M. and Rosentrater, Kurt A. 2014. Extrusion processing of amaranth and quinoa. Paper Number: 141912019. ASABE and CSBE/SCGAB Annual International Meeting. July 13-16. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Montreal, Quebec, Canada.
- Golivets, Marina. 2014. Variation in quantitative seed traits of *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et A. Gray (Cucurbitaceae). *Modern Phytomorphology*. 6:43-44.
- Grillo, O.; Miceli, C. and Venora, G. 2011. Computerised image analysis applied to inspection of vetch seeds for varietal identification. *Seed Science and Technology*. 39(2):490-500.
- GRP. 2013. Gobierno Regional de Puno. Plan de desarrollo regional concertado Puno al 2021. Lince, Lima, Perú: Línea Digital S.A.C. 254 p.
- Ibaraki, Yasuomi and Dutta-Gupta, S. 2015. Image analysis for plants: basic procedures and techniques. In *Plant image analysis. Fundamentals and applications*. (pp. 25-40). Boca Raton, FL, USA: Taylor & Francis Group, LLC.
- INDECOPI. 2009. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Requisitos. Norma Técnica Peruana NTP 205.062:2009.
- INEI. 2012. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Series Nacionales. Sistema de Información Regional para la Toma de Decisiones. Base de Datos. Lima, Perú.
- Işik, Esref and Unal, Halil. 2011. Some engineering properties of white kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *African Journal of Biotechnology*. 10(82):19126-19136.
- Iwata, H. and Ukai, Y. 2002. SHAPE: a computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. *The Journal of Heredity*. 93(5):384-385.
- Jain, R.K. and Bal, S. 1997. Properties of pearl millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 66(2):85-91.
- Jacobsen, Sven Erik y Sherwood, Stephen. 2002. Cultivo de granos andinos en Ecuador. Informe sobre los rubros quinoa, chocho y amaranto. Perú-Ecuador: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)/Centro Internacional de la Papa (CIP)/Catholic Relief Services (CRS).
- Jha, S.N. 1999. Physical and hygroscopic properties of makhana. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 72(2):145-150.
- Koocheki, A.; Razavi, S.M.A.; Milani, E.; Moghadam, T.M.; Abedini, M.; Alamatyan, S and Izadkhah, S. 2007. Physical properties of watermelon seed as

- a function of moisture content and variety. *International Agrophysics*. 21(4):349-359.
- Lobet, Guillaume; Draye, Xavier and Périlleux, Claire. 2013. An online database for plant image analysis software tools. *Plant Methods*. 9:38 (9 October).
- Medina, W.; Skurtys, O. and Aguilera, J.M. 2010. Study on image analysis application for identification quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) geographical provenance. *LWT (Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie) - Food Science and Technology*. 43(2):238-246.
- Milani, E.; Razavi, Seyed M.A.; Koocheki, A.; Nikzadeh, V.; Vahedi, N.; MoeinFard, M. and GholamhosseinPour, A. 2007. Moisture dependent physical properties of cucurbit seeds. *International Agrophysics*. 21(2):157-168.
- Mohsenin, Nuri N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. Structure, physical characteristics and mechanical properties. New York, USA: Gordon and Breach Science Publishers Inc. pp. 87.
- Mujica, Ángel; Ortiz, René; Bonifacio, Alejandro; Saravia, Raúl; Corredor, Guillermo y Romero, Arturo. 2006. Informa final. Proyecto quinua: cultivo multipropósito para los países andinos. Perú - Colombia - Bolivia: PNUD / CONCYTEC / Universidad Nacional del Altiplano (Puno)/Fundación PROINPA (La Paz)/Universidad Nacional de Colombia (Bogotá).
- Olajide, J.O. and Ade-Omowaye, 1999. Some physical properties of locust bean seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 74(2):213-215.
- Önen, Hüseyin; Altuntaş, Ebubekir; ÖzGöz, Engin; Bayram, Mustafa and Selçuk, Özcan. 2014. Moisture effect on physical properties of knotweed (*Polygonum cognatum* Meissn.) seeds. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* (Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University). 31(2):15-24.
- Ordóñez, Matías R.; Gely, María C. y Pagano, Ana M. 2012. Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 3(3):153-171.
- Ospina-Machado, Julio Ernesto. 2001. Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Colombia: Departamento de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Padrón-Pereira, Carlos Alberto. 2009. Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestras de alimentos segmentadas y promediadas en coordenadas CIE-L*a*b*. *Agronomía Costarricense*. 33(2):283-301.
- Padrón-Pereira, Carlos Alberto, Padrón-León, Gisel Marié; Montes-Hernández, Adriana Isabel y Oropeza-González, Rafael Antonio. 2012. Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense*. 36(1):97-111.
- Pozdnyakova, A.V.; Arkhipov, A.N.; Kozlova, O.V, and Ostroumov, L.A. 2014. Composition and microstructure investigation for the modeling and classification of dietary fiber derived from plants. *Foods and Raw Materials*. 2(1):40-46.
- Razavi, Seyed M.A. and Fathi, M. 2009. Moisture-dependent physical properties of grape (*Vitis vinifera* L.) seed. *The Philippine Agricultural Scientist*. 92(2):201-212.
- Reyes-García, María; Gómez-Sánchez Prieto, Iván; Espinoza-Barrientos, Cecilia; Bravo-Rebatta, Fernando y Ganoza-Morón, Lizette. 2009. Tablas peruanas de composición de alimentos. (8va. ed.).

- Lima: Ministerio de Salud - Instituto Nacional de Salud. 64 p.
- Rocha-Amador, Omar Gerardo; Gallegos-Infante, Jose Alberto; Huang, Qingrong; Rocha-Guzman, Nuria Elizabeth; Moreno-Jimenez, Martha Rocio and Gonzalez-Laredo, Ruben F. 2014. Influence of commercial saturated monoglyceride, mono-/diglycerides mixtures, vegetable oil, stirring speed, and temperature on the physical properties of organogels. *International Journal of Food Science*. Article ID 513641. 8 p.
- Rojas-Barahona, Ángel Francisco y Aristizábal-Torres, Iván Darío. 2011. Efecto del contenido de humedad sobre propiedades físicas de la semilla de vitabosa (*Mucuna deeringiana*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* 64(1):5961-5971.
- Shahin, M.A. and Symons, S.J. 2005. Seed sizing from images of non-singulated grain samples. *Canadian Biosystems Engineering*. 47:3.49-3.55.
- Singh, K.K. and Goswami, T.K. 1996. Physical properties of cumin seed. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 64(2):93-98.
- Smykalova, I; Grillo, O; Bjelkova, M.; Hybl, M. and Venora, G. 2011. Morpho-colorimetric traits of *Pisum* seeds measured by an image analysis system. *Seed Science and Technology*. 39(3):612-626.
- Sumathi, S. and Balamurugan, P. 2013. Characterization of oats (*Avena sativa* L.) cultivars using machine vision. *Pakistan Journal of Biological Science*. 16(20):1179-1183.
- Tanabata, Takanari; Shibaya, Taeko; Hori, Kiyosumi; Ebana, Kaworu and Yano, Masahiro. 2012. SmartGrain: high-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. *Plant Physiology*. 160(4):1871-1880.
- Tarighi, Javad; Mahmoudi, Asghar and Rad, Meysam Karami. 2011. Moisture-dependent engineering properties of sunflower (var. Armaviriski). *Australian Journal of Agricultural Engineering*. 2(2):40-44.
- Tömösközi S., Gyenge L., Pelcéder A., Abonyi T., Lásztity R. 2011. The effects of flour and protein preparations from amaranth and quinoa seeds on the rheological properties of wheat-flour dough and bread crumb. *Czech Journal of Food Sciences*. 29(2):109-116.
- Valero-Muñoz, Antonio. 2012. Principios de color y holopintura. Alicante, España: Editorial Club Universitario. pp. 152-153.
- Vilche, C.; Gely, M. and Santalla, E. 2003. Physical properties of quinoa seeds. *Biosystems Engineering*. 86(1):59-65.
- Wang, Bo; Li, Dong; Wang, Li jun; Huang, Zhi gang; Zhang, Lu; Chen, Xiao Dong and Mao, Zhi huai. 2007. Effect of moisture content on the physical properties of fibered flaxseed. *International Journal of Food Engineering*. 3(5):Article 1.13 p.
- Whan, Alex P.; Smith, Alison B.; Cavanagh, Colin R.; Ral, Jean-Philippe F.; Shaw, Lindsay M.; Howitt, Crispin A. and Bischof, Leanne. 2014. GrainScan: a low cost, fast method for grain size and colour measurements. *Plant Methods*. 10:23 (8 July).
- Williams, Keith; Munkvold, Jesse and Sorrells, Mark. 2013. Comparison of digital image analysis using elliptic Fourier descriptors and major dimensions to phenotype seed shape in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*. 190(1):99-116.