

Determination of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) hardness by an experimental milling method

Determinación de la dureza de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) por un método experimental de molienda integral

Francisco de Jesús Hernández-Hernández¹;
María Ofelia Buendía-González^{1*}; Agustín de Jesús López-Herrera²

Universidad Autónoma Chapingo¹, Departamento de Ingeniería Agroindustrial y ²Departamento de Fitotecnia. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO. ofeliabg@hotmail.com, tel.: (+52) 01595 11 03 243 (*Corresponding author)

Abstract

The hardness of grains can help determine the optimal harvest time and their postharvest handling. This study was conducted with the objective of developing an experimental methodology to indirectly determine the hardness of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed. Five quinoa samples (Blanca Canadá, BT, RT, Ontifor and NT) were evaluated in terms of moisture (%), hectoliter weight (kg·hL⁻¹) and hardness (breaking resistance). In order to determine the last-mentioned variable, 200 g of seed were sieved in No. 10, 14 and 18 meshes with a retention tray underneath; this was done in order to homogenize the size. Quinoa retained on each sieve was weighed. From mesh 14, which was the one with the highest retention (80 %), 30 g were ground for 2 s and sieved in No. 14, 18, 20, 24 and 30 meshes, with a retention tray underneath. The fractions obtained were weighed and the retention percentages of each sieve were obtained. To classify the hardness of the grain, a hedonic scale was developed. RT, BT and Ontifor were categorized as slightly hard, and Blanca Canadá and NT as slightly soft. The Ontifor sample showed the highest moisture and hectoliter weight, while NT had the lowest moisture percentage and the softest grain. The methodology used to determine hardness is easy to use both in the field and industry and may be useful in other small grains.

Keywords: pseudocereal, seiving, yield, hectoliter weight, hedonic scale.

Resumen

La dureza de los granos puede ayudar a determinar el momento óptimo de cosecha y su manejo poscosecha. El presente estudio se realizó con el objetivo de desarrollar una metodología experimental para determinar indirectamente la dureza de la semilla de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Se evaluaron cinco muestras de quinua (Blanca Canadá, BT, RT, Ontifor y NT), a las cuales se les determinó humedad (%), peso hectolítrico (kg·hL⁻¹) y dureza (resistencia a la fracturación). Para determinar la tercera variable se tamizaron 200 g de semilla en mallas núm. 10, 14, 18 y charola de retención; esto con la finalidad de homogenizar el tamaño. Se pesó la quinua retenida en cada tamiz. De la malla 14, que fue la que presentó retención mayor (80 %), se molieron 30 g durante 2 s y se cribaron en mallas núm. 14, 18, 20, 24, 30 y charola de retención. Las fracciones obtenidas se pesaron y se obtuvieron los porcentajes de retención de cada tamiz. Para clasificar la dureza del grano se desarrolló una escala hedónica. RT, BT y Ontifor se catalogaron como ligeramente duras, y Blanca Canadá y NT como ligeramente suave. La muestra Ontifor fue la que presentó mayor humedad y peso hectolítrico; mientras que NT mostró el menor porcentaje de humedad y el grano más suave. La metodología aplicada para determinar la dureza es fácil de usar tanto en campo como industria y puede ser de utilidad en otros granos pequeños.

Palabras clave: pseudocereal, cribado, rendimiento, peso hectolítrico, escala hedónica.

Please cite this article as follows (APA 6): Hernández-Hernández, F. J., Buendía-González, M. O., & López-Herrera, A. J. (2016). Determination of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) hardness by an experimental milling method. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 8(2), 61-69. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2016.10.005>

Received: October 27, 2016 / Accepted: December 20, 2016.



Ingeniería Agrícola
y Biosistemas

www.chapingo.mx/revistas/inagbi

Introduction

The quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Is native to Andean countries and was domesticated about 3,000 to 5,000 years ago (Mujica, Izquierdo, & Marathee, 2001). It is considered as a pseudocereal or pseudo grain, since its morphology and chemical composition is similar to cereals (Bazile, Bertero, & Nieto, 2014). The importance of this grain lies in its quality as food, the use of the complete plant and its adaptation to agroecological conditions (Mujica & Jacobsen, 2006). It is an important source of protein, amino acids, minerals and vitamins; in addition, it contains polyphenols, phytosterols and flavonoids with possible nutraceutical benefits (Abugoch-James, 2009; Bergesse et al., 2015).

In 1996, quinoa was classified by the Food and Agriculture Organization (FAO) as one of mankind's most promising crops, not only because of its great beneficial properties and multiple uses, but also by considering it as an alternative to solve the serious problems of human nutrition (FAO, 2011).

The degree of relationship between protein, starch and other components deposited in perisperm cells (Figure 1) varies among quinoa varieties (Apaza, Cáceres, Estrada, & Pinedo, 2013). These relationships define how hard or soft the perisperm is between one seed and another. Differences in grain hardness are of great importance as they significantly influence the determination of physiological maturity at harvest time (Bazile et al., 2014), the physical properties of the seed, its milling and industrialization (Bergesse et al., 2015; Salinas-Moreno & Aguilar-Modesto, 2010). In this

Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es originaria de los países andinos y fue domesticada hace aproximadamente 3,000 a 5,000 años (Mujica, Izquierdo, & Marathee, 2001). Es considerada como un pseudocereal o pseudo grano, ya que su morfología y composición química es parecida a los cereales (Bazile, Bertero, & Nieto, 2014). La importancia de este grano radica en su calidad como alimento, el uso de la planta completa y su adaptación a condiciones agroecológicas (Mujica & Jacobsen, 2006). Es una importante fuente de proteínas, aminoácidos, minerales y vitaminas; además, contienen polifenoles, fitosteroles y flavonoides con posibles beneficios nutraceuticos (Abugoch-James, 2009; Bergesse et al., 2015).

En 1996 la quinua fue catalogada por la (FAO), como uno de los cultivos más promisorios de la humanidad, no sólo por sus grandes propiedades benéficas y usos múltiples, sino también por considerarla como una alternativa para solucionar los graves problemas de nutrición humana (FAO, 2011).

El grado de relación entre la proteína, el almidón y otros componentes depositados en las células del perisperma (Figura 1) varía entre las variedades de quinua (Apaza, Cáceres, Estrada, & Pinedo, 2013). Estas relaciones definen que tan duro o suave es el perisperma entre una semilla y otra. Las diferencias en la dureza del grano son de gran importancia ya que influyen de manera significativa en la determinación de la madurez fisiológica al momento de la cosecha (Bazile et al., 2014), las propiedades físicas de la semilla,

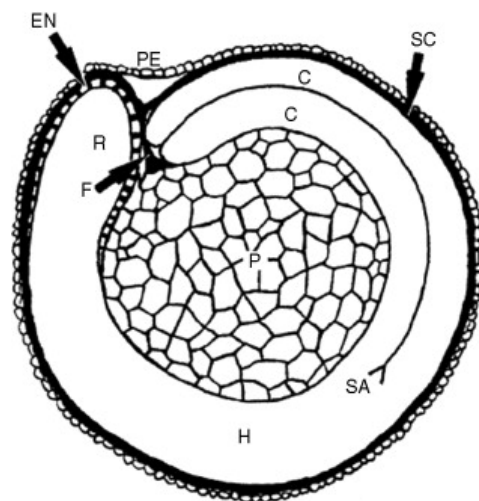


Figure 1. Median longitudinal section of quinoa seeds showing the specific parts of the grain: pericarp (PE), seed cover (SC), hypocotylradical axis (H), cotyledons (C), endosperm (EN), radicle (R), funicle (F), shoot apex (SA) and perisperm (P) (Source: Prego, Maldonado, & Otegui, 1998).

Figura 1. Sección media longitudinal de las semillas de quinua que muestra las partes específicas del grano: pericarpio (PE), cubierta de la semilla (SC), eje hipocótilo-radical (H), cotiledones (C), endospermo (EN), radícula (R), funículo (F), brote del apéndice (SA) y perisperma (P) (Fuente: Prego, Maldonado, & Otegui, 1998).

regard, Taverna, Leonel, and Mischan (2012) reported that there is a close relationship between the hardness and the quality of the flour in quinoa.

Grain hardness refers to the resistance of grain to a mechanical force, or to the energy required to reduce the structures of the grain into flour or semolinas (Ballón & Coca-Cadena, 1989). There are several methods to determine grain hardness, and depending on the characteristics of the grain some are more suitable than others.

Some researchers have used scales based on milling time (Ballón & Coca-Cadena, 1989); others, using a texturometer, measured the force required to break the material (Bergesse et al., 2015; Taverna et al., 2012). López, Guzmán, Santos, Prieto, and Román (2005) indicate that the texturometer measures only the hardness of the grain surface, while other procedures can measure it in a more comprehensive way.

Salinas, Martínez, and Gómez (1992) analyzed seven methods to obtain hardness in maize grains, namely endosperm texture, pearling index, flotation index, density, infrared reflectance, hectoliter weight and milling time, and they determined that the most appropriate was the flotation index. The hectoliter weight of a sample is an indirect way of determining its hardness. Salinas-Moreno and Aguilar-Modesto (2010) reported in maize that the greater the grain hardness the greater the hectoliter weight and the lower the flotation index. Peña (2003) determined that wheat grain hardness is related to the amount of insoluble protein, this being of great influence in wheat processing.

There is little research on the physical characteristics of quinoa seed; therefore, the aim of this study is to develop an experimental methodology to indirectly determine the hardness of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed. In addition, moisture and hectoliter weight were evaluated, since these characteristics are directly related to hardness.

Materials and methods

The research was conducted in the Department of Agroindustrial Engineering's Cereals Workshop at Autonomous Chapingo University. The samples analyzed were: Blanca Canadá, Blanca de Tlachichuca (BT), Roja de Tlachichuca (RT), Negra de Tlachichuca (NT) and Ontifor, all grown in Mexico, the first in Tula, Hidalgo and the rest in Chapingo and Puebla. The variables evaluated were moisture (%), hectoliter weight ($\text{kg}\cdot\text{hL}^{-1}$) and hardness (%). The tests were performed in triplicate, except for the moisture one that was made in duplicate.

su molienda e industrialización (Bergesse et al., 2015; Salinas-Moreno & Aguilar-Modesto, 2010). En este sentido, Taverna, Leonel, y Mischan (2012) reportaron que hay una relación estrecha entre la dureza y la calidad de la harina en quinua.

La dureza del grano es frecuentemente referida a la resistencia que opone el grano a una fuerza mecánica, o bien, a la energía requerida para reducir las estructuras del grano en harina o semólas (Ballón & Coca-Cadena, 1989). Existen diversos métodos para determinar la dureza de un grano, y dependiendo de las características de éste algunos son más idóneos que otros.

Algunos investigadores han usado escalas con base en el tiempo de molido (Ballón & Coca-Cadena, 1989); otros, con ayuda de un texturómetro midieron la fuerza requerida para romper el material (Bergesse et al., 2015; Taverna et al., 2012). López, Guzmán, Santos, Prieto, y Román (2005) indican que el texturómetro mide únicamente la dureza de la superficie del grano, mientras que otros procedimientos la pueden medir de manera integral.

Salinas, Martínez, y Gómez (1992) analizaron siete métodos para obtener la dureza en granos de maíz: textura de endospermo, índice de perlado, índice de flotación, densidad, reflectancia en el infrarrojo, peso hectolítrico y tiempo de molienda, y determinaron que el más adecuado fue el índice de flotación. El peso hectolítrico de una muestra es una manera indirecta de determinar su dureza. Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto (2010) reportaron en maíz que a mayor dureza del grano mayor peso hectolítrico y menor índice de flotación. Por su parte, Peña (2003) determinó que la dureza del grano de trigo está relacionada con la cantidad de proteína insoluble, siendo de gran influencia en el procesamiento del trigo.

Existe poca investigación sobre las características físicas de la semilla de quinua; por ello, el objetivo del presente estudio es desarrollar una metodología experimental para determinar indirectamente la dureza de la semilla de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Adicionalmente, se evaluó la humedad y peso hectolítrico, ya que estas características están directamente relacionadas con la dureza.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el Taller de Cereales del Departamento de Ingeniería Agroindustrial, perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo, México. Las muestras analizadas fueron: Blanca Canadá, Blanca de Tlachichuca (BT), Roja de Tlachichuca (RT), Negra de Tlachichuca (NT) y Ontifor; todas cultivadas en México, la primera en Tula, Hidalgo y el resto en

Moisture

Moisture was determined using a Sartorius™ model MA37 electronic moisture analyzer, with 7 g of quinoa seed placed on each dish. Once the initial weight condition was met, the measurement was started. The approximate analysis time varied from 20 to 25 min. The result was expressed as a percentage.

Hectoliter weight

A Seedburo Equipment Co. scale was used for hectoliter weight. The sample was dropped into the upper cone (285 mL) of the apparatus. Subsequently, the sample was scraped with a wooden ruler with rounded edges to level off the container in three zigzag movements. The container with the sample was weighed and the result was expressed in kg·hL⁻¹.

Hardness

In order to have seed of homogeneous size, several tests were carried out to select the appropriate sieves for the application of the methodology to be proposed.

The initial test to standardize seed size was performed with 200 g of quinoa and No. 10 (2 mm opening), 14 (1.41 mm opening) and 18 (1 mm opening) mesh sieves, and a retention tray. The sieving was conducted mechanically with a Montinox® sieving machine, performing circular movements (homogeneous) for 3 min. Subsequently, on an Adventurer™ Pro model AV2101 analytical balance, the quinoa retained on each sieve was weighed. From the mesh with the highest retention percentage, 30 g were weighed and processed in a Mr. Coffee® coffee bean grinder for 2 s. The ground sample was sieved in No. 14, 18, 20, 24 and 30 meshes, with a tray underneath, for 3 min using the same Montinox® sieving machine. Finally, the retention percentage of each sieve was obtained.

To determine grain hardness, a hedonic scale was generated (Table 1) with as many categories as possible.

Statistical analysis

Analysis of variance was conducted using a completely randomized design, Tukey's range test ($P \leq 0.05$) was performed using the Statistical Analysis System package (SAS, 1994) and the Pearson correlation coefficient was obtained with the factors hectoliter weight and sieve retention percentage.

Results and discussion

From the initial seed selection, 80 % retention was obtained in 14 mesh (from 1.41 to 2mm), this being the grain size used to perform the analyses.

Chapingo y Puebla. Las variables evaluadas fueron humedad (%), peso hectolitro (kg·hL⁻¹) y dureza (%). Las pruebas se realizaron por triplicado, a excepción de la humedad que se hizo por duplicado.

Humedad

La determinación de humedad se realizó con ayuda de un analizador de humedad electrónico marca Sartorius™, modelo MA37. Se colocaron 7 g de semilla de quinua por plato. Una vez cumplido con la condición de peso inicial, inició la medición. El tiempo aproximado de análisis vario de 20 a 25 min. El resultado se expresó en porcentaje.

Peso hectolítrico

Se utilizó una balanza para peso hectolítrico marca Seedburo Equipment Co. La muestra se dejó caer en el cono superior (285 mL) del aparato. Posteriormente, la muestra se rasó con una regla de madera con bordes redondeados para efectuar el rasado del recipiente en tres movimientos en forma de zigzag. Se pesó el recipiente con la muestra y el resultado se expresó en kg·hL⁻¹.

Dureza

Para contar con semilla de tamaño homogéneo, se realizaron varias pruebas para seleccionar las cribas adecuadas para la aplicación de la metodología a proponer.

La prueba inicial para estandarizar el tamaño de semilla se hizo con 200 g de quinua y tamices de malla núm. 10 (2 mm de apertura), 14 (1.41 mm de apertura), 18 (1 mm de apertura) y charola de retención. El cribado se realizó de forma mecánica con un cernidor marca Montinox®, ejecutando movimientos circulares (homogéneos) durante 3 min. Posteriormente, en una balanza analítica marca Adventurer™ Pro modelo AV2101, se pesó la quinua retenida en cada tamiz. De la malla con mayor porcentaje de retención, se pesaron 30 g y se procesaron en un molino de grano de café marca Mr. Coffee® durante 2 s. La muestra molida se cribó en mallas núm. 14, 18, 20, 24, 30 y charola, durante 3 min, utilizando el mismo cernidor marca Montinox®. Finalmente, se obtuvo el porcentaje de retención de cada tamiz.

Para determinar la dureza del grano, se generó una escala hedónica (Cuadro 1) con la mayor cantidad de categorías posibles.

Análisis estadístico de los datos

Se realizó un análisis de varianza utilizando un diseño completamente al azar, comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), mediante el paquete *Statistical Analysis System* (SAS, 1994) y se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson con los factores peso hectolítrico y porcentaje de retención en tamiz.

Table 1. Hardness classification based on the retention percentage in No. 14 mesh.**Cuadro 1. Clasificación de dureza de acuerdo con el porcentaje de retención en la malla núm. 14.**

Retention percentage / Porcentaje de retención	Classification / Clasificación
91-100	Extremely hard / Extremadamente duro
81-90	Very hard / Muy duro
71-80	Moderately hard / Moderadamente duro
61-70	Hard / Duro
51-60	Slightly hard / Ligeramente duro
41-50	Slightly soft / Ligeramente suave
31-40	Soft / Suave
21-30	Moderately soft / Moderadamente suave
11-20	Very soft / Muy suave
0-10	Extremely soft / Extremadamente suave

Source: Author-made

Fuente: Elaboración propia

Moisture

The average moisture obtained was 8.88 ± 0.27 %. Table 2 shows that Ontifor had the highest moisture content (9.15 %), while NT showed the lowest (8.72 %). Considering that the maximum moisture content should be 12 % (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 1988), the results show that the varieties used comply with the standard.

Low moisture content gives seeds longer shelf life and helps prevent insect attack (Bazile et al., 2014).

Resultados y discusión

De la selección inicial de semilla, se obtuvo 80 % de retención en la malla 14 (de 1.41 a 2mm), siendo este el tamaño de grano usado para realizar los análisis.

Humedad

El porcentaje bajo de humedad brinda a las semillas mayor vida de anaquel y ayuda a evitar el ataque de insectos (Bazile et al., 2014).

Table 2. Moisture percentage of quinoa.**Cuadro 2. Porcentaje de humedad de quinua.**

Variety / Variedad	Measurement 1 / Medición 1	Measurement 2 / Medición 2	Average / Promedio
Blanca Canadá	8.48	9.35	8.915
BT	8.76	8.79	8.775
RT	8.76	8.95	8.855
Ontifor	9.23	9.08	9.155
NT	8.76	8.69	8.725

Hectoliter weight

The mean value of this variable was 66.17 ± 4.07 kg·hL⁻¹. Table 3 shows that Ontifor had the highest hectoliter weight (70.63 kg·hL⁻¹), coinciding with that reported in moisture. For its part, the BT sample had the lowest value (62.60 kg·hL⁻¹). According to Ecuadorian technical standard INEN 1 673 (INEN, 1988), the minimum hectoliter weight should be 62 kg·hL⁻¹ to be considered as a first quality grain. The analyzed samples meet this requirement.

The great variability in the results could be due to the extensive genetic diversity conserved by producers.

La humedad promedio obtenida fue de 8.88 ± 0.27 %. En el Cuadro 2 se observa que Ontifor presentó el mayor contenido de humedad (9.15 %), mientras que NT mostró el más bajo (8.72 %). Considerando que el contenido máximo de humedad debe ser de 12 % (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 1988), los resultados muestran que las variedades empleadas cumplen con la norma.

Peso hectolítrico

El valor promedio de esta variable fue de 66.17 ± 4.07 kg·hL⁻¹. En el Cuadro 3 se observa que Ontifor tuvo el mayor

Table 3. Hectoliter weight of five quinoa varieties (kg·hL⁻¹).

Cuadro 3. Peso hectolítrico de las cinco variedades de quinua (kg·hL⁻¹).

Variety/Variiedad	HW ¹ 1/PH ¹ 1	HW 2/PH 2	HW 3/PH 3	Average/Promedio
Blanca Canadá	66.25	66.63	66.91	66.60
BT	62.21	62.67	62.91	62.60
RT	65.75	65.82	65.51	65.70
Ontifor	70.67	70.63	70.6	70.63
NT	65.19	65.37	65.37	65.31

¹HW = hectoliter weight.

¹PH = peso hectolítrico.

The varieties with the highest hectoliter weight were the same ones that had the highest moisture, coinciding with the results reported by Coşkuner and Karababa (2007) and Vilche, Gely, and Santalla (2003) who found a linear relationship between moisture and hectoliter weight.

Hardness

The retention percentage in each sieve showed significant statistical differences ($P \leq 0.05$). No. 14 mesh presented 55.24 % retention (Table 4), thus being the most important to evaluate hardness.

peso hectolítrico (70.63 kg·hL⁻¹), coincidiendo con lo reportado en humedad. Por su parte, la muestra BT presentó el valor menor (62.60 kg·hL⁻¹). De acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1 673 (INEN, 1988), el peso hectolítrico mínimo debe ser de 62 kg·hL⁻¹ para ser considerado como grano de primera calidad. Las muestras analizadas cumplen con este requisito.

La gran variabilidad de los resultados podría deberse a la amplia diversidad genética conservada por productores.

Table 4. Retention percentage averages in meshes.

Cuadro 4. Medias de porcentaje de retención en mallas.

Sieve Number/Número de Tamiz	Retention (%)/Retención (%)
14	50.24 a ²
18	11.57 c
30	8.70 d
20	3.34 e
24	1.75 f
Retention tray/Charola de retención	22.17 b

²Means with the same letter do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

²Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Table 5 shows the retention percentage of each sample per mesh. The sieve with the greatest amount of sample was the 14, conserving, on average, more than 50 %; therefore, the determination of hardness was focused on this sieve.

Las variedades con mayor peso hectolítrico fueron las mismas que presentaron la humedad más alta; lo que concuerda con lo reportado por Coşkuner y Karababa (2007) y Vilche, Gely, y Santalla (2003) quienes encontraron una relación lineal entre la humedad y el peso hectolítrico.

Table 5. Sample retention percentage in each mesh.

Cuadro 5. Porcentaje de retención de muestra en cada malla.

Mesh number/ Número de malla	Blanca Canadá	BT	RT	Ontifor	NT
14	47.67	54.89	55.22	51.11	42.33
18	12.56	7.22	12.61	12.58	15.89
20	9.89	7.22	13.61	11.75	10.11
24	1.67	2.00	13.00	7.33	1.56
30	3.89	4.22	17.11	10.50	3.00
Tray/Charola	22.89	23.22	23.22	23.06	24.00
Total	98.56	98.78	98.78	98.67	96.89

With the selected sieve (No. 14), a hedonic scale relating retention percentage (non-fractured seed) to grain hardness was created. Table 1 shows the category assigned to each retention percentage range.

According to the results, Blanca Canadá (47.67 %) and NT (42.33 %) are slightly soft grain, while BT (54.89 %), RT (55.22 %) and Ontifor (51.11 %) are slightly hard (Table 5). The BT, RT and Ontifor samples do not present significant statistical differences ($P \leq 0.05$), being those of greater hardness, that is, a higher retention percentage in 14 mesh (Table 6).

Dureza

El porcentaje de retención en cada tamiz mostró diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$). La malla núm. 14 presentó 55.24 % de retención (Cuadro 4), siendo así la más importante para evaluar la dureza.

El Cuadro 5 muestra el porcentaje de retención de cada muestra por malla. El tamiz con mayor cantidad de muestra fue el 14, conservando, en promedio, más de 50 %; por ello, la determinación de dureza se enfocó en dicho tamiz.

Table 6. Results of retention percentage means in No. 14 mesh.

Cuadro 6. Resultados de medias de porcentaje de retención en la malla núm. 14.

Samples/Muestras	Retention (%)/Retención (%)	Classification/Clasificación
RT	55.22 a ^z	Slightly hard/Ligeramente duro
BT	54.88 a	Slightly hard/Ligeramente duro
Ontifor	51.11 ab	Slightly hard/Ligeramente duro
Blanca Canadá	47.67 bc	Slightly soft/Ligeramente suave
NT	42.33 c	Slightly soft/Ligeramente suave

^zMeans with the same letter do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

^zMedias con letras iguales no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

It was expected that the variety with the greatest hectoliter weight and moisture percentage would also present the greatest hardness; however, although Ontifor was classified as “slightly hard” it was not the hardest. On the other hand, the NT variety was the softest, coinciding with the moisture result but not with that of the hectoliter weight.

To determine the hardness of quinoa grain, Ballón and Coca-Cadena (1989) created five categories (soft, semi-soft, semi-hard, hard and very hard) based on the time required to mill the grain. Their results show that most of the varieties used were soft, followed by hard and semi-soft. The variation in the results is due to the different varieties used.

The correlation between hectoliter weight and sieve retention percentage was 0.638. This analysis allowed deducing the proportion at which an increase in the hectoliter weight of the grain will increase the retention percentage in the sieve, thereby resulting in a harder grain.

Conclusions

The methodology used is an efficient way to indirectly quantify the hardness parameter. In the case of quinoa, the recommended sieve size is No. 14, since it was the one that presented the greatest particle retention. This procedure may also be viable in other small grains (such as amaranth, quiwicha and chia, among others), although further testing is recommended to standardize and obtain better results. The fact that the hardness of the samples was different was to be expected, since, as in other grains, each variety has its own characteristics and can therefore be used for different purposes. The correlation between hectoliter weight and the mesh retention percentage (grain hardness) is not very high ($r^2 = 0.6384$), which may influence the moisture of the grain.

End of English version

References / Referencias

- Abugoch-James, L. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, chemistry, nutritional, and functional properties. In: Abugoch-James, L. (Ed.), *Advances in food and nutrition research* (pp. 1-31). Amsterdam, The Netherlands: Academic Press. doi: 10.1016/S1043-4526(09)58001-1
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en Perú*. Lima, Perú: Food and Agriculture Organization. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-as890s.pdf>

Con el tamiz seleccionado (núm. 14), se realizó una escala hedónica relacionando el porcentaje de retención (semilla no fracturada) con la dureza del grano. En el Cuadro 1 se observa la categoría asignada en cada porcentaje.

De acuerdo a los resultados obtenidos, Blanca Canadá (47.67 %) y NT (42.33 %) son de grano ligeramente suave; mientras que BT (54.89 %), RT (55.22 %) y Ontifor (51.11 %) son ligeramente duros (Cuadro 5). Las muestras BT, RT y Ontifor no presentan diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$), siendo éstas las de mayor dureza; es decir, mayor porcentaje de retención en la malla 14 (Cuadro 6).

Se esperaba que la variedad con mayor peso hectolítrico y porcentaje de humedad presentara mayor dureza; sin embargo, aunque Ontifor quedó en la clasificación “ligeramente duros” no fue el más duro. Por otra parte, la variedad NT fue la más suave, coincidiendo con el resultado de humedad pero no con el de peso hectolítrico.

Para determinar la dureza del grano de quinua, Ballón y Coca-Cadena (1989) crearon cinco categorías (blando, semi-blando, semi-duro, duro y muy duro) con base en el tiempo requerido para moler el grano. Sus resultados muestran que la mayoría de las variedades empleadas fueron blandas, seguidas de duras y semi-blandas. La variación en los resultados se debe a las distintas variedades empeladas.

La correlación entre peso hectolítrico y porcentaje de retención de tamiz fue de 0.638. Con este análisis se dedujo que la proporción en la que al aumentar el peso hectolítrico del grano aumentará el porcentaje de retención en el tamiz, resultando en un grano más duro.

Conclusiones

La metodología empleada presenta una forma eficaz para cuantificar indirectamente el parámetro de dureza. En el caso de quinua, el tamiz recomendado es el núm. 14, ya que fue el que presentó mayor retención de partículas. Este procedimiento también puede ser viable en otros granos pequeños (como amaranto, quiwicha y chia, entre otros), aunque se recomienda hacer más pruebas para estandarizarse y obtener mejores resultados. El que la dureza de las muestras haya sido diferente era de esperarse, ya que, como en otros granos, cada variedad tiene sus características y gracias a ello pueden usarse para fines distintos. La correlación entre peso hectolítrico y el porcentaje de retención de malla (dureza del grano) no es muy alta ($r^2 = 0.6384$), pudiendo influir en ello la humedad del grano.

Fin de la versión en español

- Ballón, E., & Coca-Cadena, A. (1989). Extracción de harinas de variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista del Instituto Colombiano Agropecuario*, 24(2), 98-104. Retrieved from http://quinua.pe/wp-content/uploads/2014/01/s2dFA82BFE5C3F60D166F66D00E131EA054_1.pdf
- Bazile, D., Bertero, D., & Nieto, C. (2014). *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. Santiago de Chile y Montpellier, Francia: Food and Agriculture Organization. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i4042s.pdf>
- Bergesse, A. E., Boiocchi, P. N., Calandri, E. L., Cervilla, N. S., Gianna, V., Guzmán, C. A., Miranda, P. P., Montoya, P. A., & Mufari, J. R. (2015). *Aprovechamiento integral del grano de quinua. Aspectos tecnológicos, fisicoquímicos, nutricionales y sensoriales*. Córdoba, Argentina: Edgardo Luis Calandri. Retrieved from <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1846/Aprovechamiento%20%20integral%20del%20%20grano%20de%20quinua.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Coşkuner, Y., & Karababa, E. (2007). Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Food Engineering*, 78, 1067-1073. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.12.017
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2011). *La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Bolivia: Author. Retrieved from http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo_quinoa_es.pdf
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1988). Norma técnica Ecuatoriana INEN 1 673. Ecuador: Author. Retrieved from <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1673.1988.pdf>
- López, P., Guzmán, F. A., Santos, E. M., Prieto, F., & Román, A. D. (2005). Evaluación de la calidad física de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum* Jess) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala, México. *Revista Chilena de Nutrición*, 32(3). doi: 10.4067/S0717-75182005000300010
- Mujica, A., Izquierdo, J., & Marathe, J. P. (2001). Origen y descripción de la quinua. In: Mujica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J., & Marathe, J. P. (Eds.), *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro* (pp. 9-29). Santiago de Chile: Food and Agriculture Organization. Retrieved from <http://es.slideshare.net/dioslokis/29879087-libro-quinuaancestralcultivodelosandesrmiranda>
- Mujica, A., & Jacobsen, S. E. (2006). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. In: Moraes, M., Øllgaard, B., Kvist, L. P., Borchsenius, F., & Balslev, H. (Eds.), *Botánica Económica de los Andes Centrales* (pp. 449-457). La paz, Perú: Universidad Mayor de San Andrés. Retrieved from <http://quinua.pe/wp-content/uploads/2013/03/La-quinua-y-sus-parientes.pdf>
- Peña, R. J. (2003). Influencia de la textura del endospermo y la composición de las proteínas del gluten en la calidad panadera del trigo. In: Jobet-Fornazzari, C. (Ed.), *Avances y perspectivas en calidad industrial de trigo* (pp. 23-40). Temuco, Chile: Centro Regional de Investigación Carillanca. Retrieved from <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR29062.pdf>
- Prego, I., Maldonado, S., & Otegui, M. (1998). Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany*, 82(4), 481-488. doi: 10.1006/anbo.1998.0704
- Salinas-Moreno, Y., & Aguilar-Modesto, L. (2010). Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(1), 5-11. doi: dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2010.08.009
- Salinas, Y., Martínez, F., & Gómez, J. (1992). Comparación de métodos para medir la dureza del maíz (*Zea mays* L.). *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 42(1), 59-63.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (1994). *SAS User's Guide*, version 9.0. Cary, N.C., USA: Author.
- Taverna, L. G., Leonel, M., & Mischan, M. M. (2012). Changes in physical properties of extruded sour cassava starch and quinoa flour blend snacks. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 32(4), 826-834. doi: 10.1590/S0101-20612012005000113
- Vilche, C., Gely, M., & Santalla, E. (2003). Physical properties of quinoa seeds. *Biosystems Engineering*, 86(1), 59-65. doi: 10.1016/S1537-5110(03)00114-4