



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Propiedades físicas, funcionales y químicas de harina obtenida a partir de semillas de quinua

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E
INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNA: NATALIA VILLAR LOZANO

TUTORA ACADÉMICA: M^a EUGENIA MARTÍN ESPARZA
COTUTORA: ANA M^a ALBORS SOROLLA

Curso Académico: 2020/2021

VALENCIA, SEPTIEMBRE de 2021

PROPIEDADES FÍSICAS, FUNCIONALES Y QUÍMICAS DE HARINA OBTENIDA A PARTIR DE SEMILLAS DE QUINUA

N. Villar Lozano, M. E. Martín Esparza¹, A. M. Albors Sorolla¹

RESUMEN

En estos últimos años ha ido aumentando el consumo de quinua, un pseudocereal que ha ganado una elevada importancia como cultivo alternativo a los cereales debido a su reconocimiento como alimento completo por su excelente perfil nutricional y por ejercer efectos beneficiosos en consumidores de grupos de alto riesgo. Por otro lado, el grano de quinua puede ser molido para así elaborar harina, la cual puede ser incorporada como ingrediente para obtener alimentos fortalecidos nutricional o funcionalmente, o incluso para llegar a desarrollar a partir de ella formulaciones destinadas a grupos específicos como la población celíaca o diabética. Para ello primeramente es necesario llevar a cabo la caracterización de la materia prima, por lo que con el presente trabajo se ha pretendido estudiar la composición química, propiedades físicas y funcionales de harina obtenida a partir de semillas de quinua real de cultivo ecológico y origen boliviano, así como el estudio de sus geles en cuanto a su textura, pH y color. De los resultados obtenidos, se puede concluir que la harina de quinua estudiada puede llegar a ser útil en la retención del sabor del alimento, mejorando su palatabilidad, en productos horneados como galletas, pan, tortitas, entre otros, o derivados cárnicos. Es adecuada en aplicaciones alimentarias que requieran de una elevada formación y estabilidad de espuma, como helados, batidos o pasteles, y para una correcta gelificación, se recomienda reducir el pH hasta valores cercanos al punto isoeléctrico de las proteínas de la quinua.

PALABRAS CLAVE: harina de quinua, proteína, tamaño de partícula, color, densidad aparente, pH, textura, gluten, diabetes.

RESUM

En aquests últims anys ha augmentat el consum de quinoa, un pseudocereal que ha guanyat importància com a cultiu alternatiu a altres cereals. Açò és a causa del seu reconeixement com aliment complet per l'excel·lent perfil nutricional que conté i, per tant, perquè pot exercir efectes beneficiosos en consumidors de grups d'alt risc. Per una altra banda, el gra de quinoa pot ser molt per a l'elaboració de farina, que es pot incorporar com a ingredient per a obtenir aliments enfortits nutricionalment o funcionalment, o que es pot utilitzar per a desenvolupar formulacions destinades a grups de població específics, com la població celíaca o diabètica. Per això, en primer

¹ Dpto. Tecnología de Alimentos. Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n 46022.

lloc és necessari fer la caracterització de la matèria primera. Així, en aquest treball s'han estudiat diversos paràmetres, com són la composició química, les propietats físiques i funcionals de farines obtingudes a partir de llavors reials de cultiu ecològic i d'origen bolivià, així com l'estudi dels seus gels quant a la textura, pH i color. Dels resultats obtinguts es pot concloure que la farina de quinoa estudiada pot arribar a ser útil en la retenció del sabor de l'aliment, ja que millora la palatabilitat en productes fornejats, com són galletes, pa, coquetes o derivats carnis. El seu ús és adequat en aplicacions alimentàries que requereixen d'una elevada formació i estabilitat d'escuma, com gelats, batuts o pastissos; i per a una correcta gelificació, es recomana reduir el pH fins a uns valors propers al punt isoelèctric de les proteïnes presents en la quinoa.

PARAULES CLAU: farina de quinoa, proteïna, grandària de partícula, color, densitat aparent, pH, textura, gluten, diabetis.

ABSTRACT

The consumption of quinoa has been increasing in last years, is a pseudocereal that has gained high importance as an alternative crop to cereals due to its recognition as a complete food with an excellent nutritional profile and for its beneficial effects in high-risk group consumers. On the other hand, the quinoa grain can be milled to produce flour, which can be incorporated as an ingredient to obtain nutritionally or functionally fortified foods, or even to develop formulations from it for specific groups such as celiac or diabetic population. To do this, first of all it's necessary to carry out a characterisation of the raw material, so this work has aimed to study chemical composition, physical and functional properties of flour obtained from organically grown real quinoa seeds of Bolivian origin, as well as the study of their gels in terms of texture, pH and colour. From the results obtained, it can be concluded that the quinoa flour studied can be useful in retaining the flavour of the food, improving its palatability, in baked products such as biscuits, bread, pancakes, among others, or meat derivatives. It is suitable in food applications requiring high foam formation and stability, such as ice cream, milkshakes or cakes, and for correct gelation, it is recommended to reduce the pH to values close to the isoelectric point of quinoa proteins.

KEYWORDS: quinoa flour, protein, particle size, colour, bulk density, pH, texture, gluten, diabetes.

1. INTRODUCCIÓN

La planta de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es un cultivo tradicional de América del Sur (destacando Perú, Bolivia y Ecuador), que posee una gran variabilidad genética la cual permite su adaptación y crecimiento en condiciones ambientales adversas como la sequía, el granizo o las heladas, es tolerante al frío y se puede cultivar a gran altura en zonas montañosas. Su gran potencial para resistir diferentes tipos de estrés abiótico podría permitir cultivarla incluso en tierras marginales no adecuadas para los cereales.

Por otra parte, se caracteriza por ser un grano sin gluten y fácil de digerir, con un elevado valor nutricional que es relativamente superior en comparación con los cereales, y así mismo también destaca por su capacidad de aportar efectos beneficiosos en consumidores de grupos de alto riesgo como niños, ancianos, intolerantes a la lactosa, y personas con anemia, diabetes, obesidad, dislipidemia y enfermedad celíaca (Vilcacundo y Hernández-Ledesma, 2017), previniendo de igual forma enfermedades degenerativas como las cardiovasculares, cánceres y la enfermedad de Alzheimer (Hemalatha et al., 2016). Estos beneficios se han relacionado con su buen perfil nutricional y la presencia de determinados compuestos bioactivos. Su elevado contenido en proteínas (9,1 – 16,7%, Martínez-Villaluenga et al., 2020), representadas fundamentalmente por albúminas (37%) y globulinas (35%), es superior al del arroz, la cebada, el maíz y el centeno. Además, presentan un alto valor biológico en cuanto a su composición de aminoácidos esenciales, destacando la lisina (entre 2,4 y 7,8 g/100 g de proteína), metionina (0,3 a 9,1 g/100 g de proteína) y treonina (2,1 a 8,9 g/100 g de proteína), que son los aminoácidos limitantes en cereales convencionales como el trigo y el maíz (Vilcacundo y Hernández-Ledesma, 2017). Los lípidos presentes en la quinua, del orden de 4 – 7,6% (mayor contenido que en el trigo con un 1,7% o el arroz con un 0,7%), son ricos en ácidos grasos insaturados (linoleico y α -linoleico, con baja relación ω -6/ ω -3). La fibra dietética (7,0 – 26,5%, con un 78% insoluble) puede llegar a ser muy superior a la del trigo (del orden del 12,2%). Entre las vitaminas destacan la riboflavina, ácido fólico, vitamina C y vitamina E, en concentraciones superiores a la de granos como el trigo, arroz, cebada y maíz. Asimismo, el contenido mineral de la quinua también es de gran interés, por su alto contenido de potasio, fósforo, calcio, hierro y magnesio (Martínez-Villaluenga et al., 2020), además de que el calcio, magnesio y potasio se encuentran de forma biodisponible (Vilcacundo y Hernández-Ledesma, 2017), y también cabe recalcar su elevada capacidad antioxidante total por su alto contenido fenólico (Abderrahim et al., 2015). Por todo ello este pseudocereal está llamando la atención a nivel mundial como alimento funcional (Vilcacundo y Hernández-Ledesma, 2017) y su consumo está aumentando en los países desarrollados, aunque todavía es bajo en comparación con los principales países productores.

El grano de quinua puede ser molturado y la harina así obtenida, por ser rica en almidón (58,1 – 64,2% según Martínez-Villaluenga et al. (2020)), similar a la del trigo o el arroz, puede ser utilizada para elaborar productos similares a los derivados de cereales, tales como productos tostados y

horneados (pan, galletas), masas batidas como bizcochos, tortitas, fideos y pastas, entre otros (Vilcacundo y Hernández-Ledesma, 2017). Por otra parte, tiene un especial interés al tratarse de una harina libre de gluten con un perfil nutricional y nutracéutico excelente (Martínez-Villaluenga et al., 2020). Por tanto, el uso de la quinua, al igual que ocurre con otros pseudocereales, podría ayudar a mejorar considerablemente la calidad nutricional de los productos libres de gluten a base de arroz o maíz (con deficiencia de vitaminas, minerales y fibra, y peor calidad proteica), e incluso reducir el índice glicémico. Esto es interesante teniendo en cuenta la creciente demanda actual de harinas alternativas sin gluten ocasionada no sólo por la población afectada por algún tipo de desorden relacionado con la ingesta de gluten (estimada en un 5% de la población mundial según Elli et al. (2015)), sino también por aquella decidida a adoptar una dieta libre de gluten.

Con el objetivo de reformular alimentos para fortalecer su perfil nutricional utilizando nuevas harinas, como es el caso de la harina de quinua, es importante tener en cuenta sus propiedades funcionales y de esta manera poder asegurar un comportamiento adecuado durante el procesado y la obtención y mantenimiento de la textura-estructura deseada en el producto final. Así, por ejemplo, la capacidad de retención de agua es muy importante para conservar una textura suave, mientras que la capacidad de absorción de grasa afecta a la sensación en boca, el aroma y el sabor. También es interesante conocer su capacidad espumante, emulsionante o gelificante para determinar las aplicaciones más adecuadas de esta harina en la industria alimentaria. La composición química (fundamentalmente contenido y tipo de proteínas y carbohidratos), el pH o el tamaño de partícula influyen en estas propiedades funcionales.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la composición química (humedad, grasa, proteínas y cenizas) de harina obtenida a partir de semillas de quinua real de cultivo ecológico, así como sus propiedades físicas (tamaño de partícula, color, densidad aparente y pH) y funcionales (capacidad de retención de agua, capacidad de absorción de grasa, capacidad espumante y estabilidad de la espuma, capacidad de hinchamiento y concentración mínima de gelificación). También se analizaron geles elaborados a partir de esta harina de quinua en cuanto a su textura, pH y color, y las semillas fueron caracterizadas en cuanto a su humedad, color y densidad aparente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materias primas

La harina fue obtenida a partir de semillas de quinua real de cultivo ecológico y de origen boliviano, adquiridas en el comercio local Herbolario Navarro (Valencia, España) y se sometieron a un proceso de molturación en un molino de cuchillas Grindomix GM 200 (RETSCH GmbH, Hann, Alemania), a 10000 rpm y durante 20 segundos, unas dos o tres veces hasta obtener harina bien molturada. Acto seguido la harina fue tamizada utilizando una luz de malla de 0,5 mm (C.I.S.A. Nº R-84, Barcelona, España).

2.2. Propiedades de las semillas de quinua

2.2.1. DENSIDAD APARENTE Y HUMEDAD

La densidad aparente de las semillas de quinua fue determinada según el método descrito por Adebawale et al. (2005). Una cantidad determinada de muestra (hasta 15 mL) fue transferida a una probeta de 25 mL prepesada. Posteriormente esta se golpeó suavemente contra una superficie plana para eliminar así los espacios que pudiera haber entre las semillas. Se anota el nivel que es el volumen ocupado por la muestra y finalmente se pesa. La medida se llevó a cabo por nonuplicado (tres réplicas en tres días diferentes) y se calculó por medio de la ecuación 1.

$$\rho_a = \frac{(w_2 - w_1)}{V_m} \quad (1)$$

donde: ρ_a = densidad aparente (g/cm^3); w_1 = peso de la probeta vacía (g); w_2 = peso de la probeta con la muestra (g); V_m = volumen de muestra tras el golpeo (cm^3).

Por otra parte, en cuanto a la humedad de las semillas de quinua, esta se determinó por quintuplicado y de acuerdo con el método No. 109/1 establecido por la Asociación Internacional de Ciencia y Tecnología de los Cereales (ICC, 2008).

2.2.2. ANÁLISIS DE COLOR

El color en las semillas de quinua se midió en una cubeta de cuarzo y en un espectrocolorímetro (Konica Minolta, Inc., modelo CM-3600d, Tokio, Japón) entre 400 y 700 nm, iluminante D65 y 10° observador estándar, con fondo blanco. Con el espectro de reflexión se obtuvo la escala de color en coordenadas CIEL*a*b*. Los parámetros determinados fueron la luminosidad L^* ($L^* = 0$ [negro] y $L^* = 100$ [blanco]), la coordenada a^* ($-a^* =$ verde; y $+a^* =$ rojo), la coordenada b^* ($-b^* =$ azul; y $+b^* =$ amarillo), la pureza C^*_{ab} y tonalidad (parámetro h^*_{ab}). Se realizó por octuplicado (días diferentes).

2.3. Propiedades de la harina de quinua

2.3.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LA HARINA DE QUINUA

La harina de quinua se caracterizó en cuanto a su contenido en agua de acuerdo con el método No. 109/1 (ICC, 2008), y a su contenido en proteína, grasa y cenizas de acuerdo a los métodos No. 46-10.01, 30-20.01 y 08-01.01, respectivamente (AACC, 2005). La proteína total se calculó como $N \times 6,25$ y el contenido de carbohidratos por diferencia. La determinación de grasa se realizó por triplicado, mientras que el contenido proteico se analizó por cuadruplicado, y la humedad y cenizas por quintuplicado. Todos los resultados se expresaron en base seca.

2.3.2. DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula de la harina de quinua fue determinado a través de un difractómetro láser Mastersizer® 2000 (Malvern Instruments Ltd., Malvern, Reino Unido), considerando un índice de refracción de 1,52 y un índice de absorción de 0,1. La medida se llevó a cabo empleando de 10 a 20 g de muestra. Como dispersante se utilizó aire con un índice de refracción de 1,03. El tamaño medio de las partículas fue expresado en términos del parámetro D [4,3] (ecuación 2), el cual es más sensible a partículas grandes y mide la distribución del tamaño de partícula en volumen. Asimismo, se consideró también el parámetro span o medida de la anchura de la distribución del tamaño de partícula y el tamaño de partícula por debajo del cual se encuentra el 10% (d (0,1)), el 50% (d (0,5)) y el 90% (d (0,9)) de la muestra.

$$D[4,3] = \frac{\sum_{i=1}^n nd_i^4}{\sum_{i=1}^n nd_i^3} \quad (2)$$

donde: D [4,3] = tamaño medio de las partículas (μm); n = número de partículas de diámetro d, d = diámetro de partícula (μm).

2.3.3. DENSIDAD APARENTE

Se determinó tal y como se ha descrito en el apartado 2.2.1. para la determinación de la densidad aparente en semillas de quinua.

2.3.4. pH DE LA HARINA DE QUINUA

El pH de la harina fue determinado siguiendo el método descrito por Okezie y Bello (1988). Se realizó una dispersión al 10% p/v de muestra en agua desionizada, es decir, en un vaso de precipitado se añadieron 10 g de harina más agua desionizada, y cada suspensión fue mezclada en un ultraturrax a 3400 rpm durante 1 minuto. Posteriormente la mezcla se traspasó a un matraz aforado de 100 mL y se enrasó con agua desionizada. Finalmente, la mezcla fue transferida a un tubo de ensayo y se midió el pH en un pHmetro SevenEasy™ (Mettler Toledo GmbH, Suiza). La medida se realizó por nonuplicado (tres réplicas en tres días diferentes).

2.3.5. ANÁLISIS DE COLOR

Para la determinación de color de la harina de quinua se siguió el método descrito anteriormente en el apartado 2.2.2. para las semillas.

2.3.6. PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE QUINUA

Cada una de las medidas fue determinada por nonuplicado (tres réplicas en tres días diferentes).

2.3.6.1. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (WHC)

Se determinó según Traynham et al. (2007) con ligeras modificaciones, y para ello se pesaron 1,5 g de harina en un tubo de centrífuga de 50 mL prepesado junto con 28,5 mL de agua destilada. La mezcla se agitó durante unos 10 segundos en el vórtex a 900 rpm y se centrifugó 30 minutos a 3000 rpm. Finalmente, se eliminó el sobrenadante, se pesó el tubo y el resultado (ecuación 3) fue expresado en g de agua / g de harina.

$$WHC \left(\frac{g \text{ agua}}{g \text{ harina}} \right) = \frac{(P_1 - P_0) - P_m}{P_m} \quad (3)$$

donde: WHC = capacidad de retención de agua (g de agua / g de harina); P_m = peso muestra de harina seca (g); P_0 = peso tubo de centrífuga seco (g); P_1 = peso tubo de centrífuga con residuo (g).

2.3.6.2. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE GRASA (FAC)

Se determinó siguiendo el método descrito por Ahn et al. (2005), para lo cual se pesó 1 g de muestra de harina en un tubo de centrífuga prepesado de 50 mL y se mezcló con 10 mL de aceite de girasol, añadiendo este poco a poco y agitando durante unos 30 segundos en el vórtex a 900 rpm. Acto seguido se centrifugó a 3360 rpm durante 5 minutos y posteriormente se decantó el sobrenadante, se pesó el tubo de centrífuga y el resultado (ecuación 4) fue expresado en g de aceite / g de harina.

$$FAC \left(\frac{g \text{ aceite}}{g \text{ harina}} \right) = \frac{(P_1 - P_0)}{P_m} \quad (4)$$

donde: FAC = capacidad de absorción de grasa (g de aceite / g de harina); P_m = peso muestra de harina seca (g); P_0 = peso tubo de centrífuga más muestra seca (g); P_1 = peso tubo de centrífuga más sedimento (g).

2.3.6.3. CAPACIDAD ESPUMANTE (FC) Y SU ESTABILIDAD (FS)

Se determinaron según lo descrito por Alu'datt et al. (2012), con algunas modificaciones, para lo cual se pesaron 2 g de harina en un vaso de precipitados y se mezclaron, en una placa de agitación, con 40 mL de agua destilada. Posteriormente la muestra fue transferida a una probeta de 100 ml y dicha suspensión se agitó durante 5 minutos en un ultraturrax y a 10000 rpm para llegar a formar espuma. Transcurridos 30 segundos después del batido, se registró el volumen final, y así mediante la ecuación 5 se expresó como porcentaje la capacidad de formación de espuma (FC), mientras que para la estabilidad de la espuma (FS) se registró el volumen de espuma durante un período de tiempo de 0 a 60 minutos tras el batido y se expresó como porcentaje por medio de la ecuación 6.

$$FC (\%) = \frac{AW - BW}{BW} \times 100 \quad (5)$$

donde: FC = capacidad de formación de espuma (%); AW = volumen final a los 30 segundos tras el batido (mL); BW = volumen antes de batir (mL).

$$FS (\%) = \left(\frac{V_{60}}{V_0} \right) \times 100 \quad (6)$$

donde: FS = estabilidad de la espuma (%); V_{60} = volumen de espuma a los 60 minutos después de batir (mL); V_0 = volumen de espuma a los 0 minutos tras el batido (mL).

2.3.6.4. CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (SC)

Se realizó según el método descrito por Chandra et al. (2015) y con ligeras modificaciones. Se llenó una probeta graduada de 100 mL con muestra de harina hasta la marca de 10 mL y se añadió agua destilada hasta alcanzar un volumen total de 50 mL. La parte superior de la probeta fue cubierta herméticamente con parafilm para mezclar invirtiendo la probeta. La suspensión se invirtió de nuevo después de 2 minutos y se dejó reposar durante 8 minutos más. Transcurrido ese tiempo se registró el volumen ocupado por la suspensión y a los 30 minutos se volvió a tomar la medida de volumen registrado, y así poder ver si este ha variado en ese tiempo. El resultado (ecuación 7) fue expresado en mL de volumen ocupado por gramo de muestra.

$$SC \left(\frac{mL}{g} \right) = \frac{V_{30}}{P_m} \quad (7)$$

donde: SC = capacidad de hinchamiento (mL/g); V_{30} = volumen de muestra ocupado a los 30 minutos (mL); P_m = peso de muestra de harina (g).

2.3.6.5. CONCENTRACIÓN MÍNIMA DE GELIFICACIÓN (LGC)

Según Chandra et al. (2015) y con ligeras modificaciones, se prepararon tubos de ensayo de 15 mL con suspensiones de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34 y 36% (p/v) de harina en 5 mL de agua destilada y se calentaron en un baño con agua a 90°C durante 1 hora, seguido de un enfriamiento en agua de grifo y un enfriamiento adicional a 4°C durante 2 horas. La concentración mínima de gelificación es aquella a la que al invertir el tubo de ensayo ni se resbala ni se cae muestra.

2.4. Propiedades de los geles de harina de quinua

Para la elaboración de geles de harina de quinua hay que tener en cuenta la concentración mínima de gelificación de dicha harina determinada según el apartado anterior ($\approx 26\%$ (p/v)) y con ello se mezclaron 130 g de harina

disueltos en 500 mL de agua destilada. Posteriormente se sometió a un calentamiento en un baño termostático digital Optima S GR150 (GRANT®, I.C.T, S.L., Lardero, España) a 90°C durante 10 minutos y la mezcla fue dividida en 5 frascos de 150 mL y de cierre hermético, los cuales fueron enfriados durante 24 horas a una temperatura de 4°C. Cada una de las distintas propiedades de los geles se midieron por quintuplicado.

2.4.1. ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA

Los geles fueron atemperados a temperatura ambiente durante 1 hora y acto seguido se realizaron ensayos de compresión en un Texturómetro Analizador Universal de Textura TA.XT2 (Stable MicroSystems, Godalming, Surrey, UK) conectado a un ordenador, donde es posible visualizar los resultados obtenidos en el ensayo mediante el software Texture Exponent Version 6.1.7 (Stable MicroSystems). Se llevó a cabo un ensayo de compresión del 25% respecto a la altura inicial del gel, utilizando un émbolo con un disco de compresión de 35 mm y una velocidad de bajada de 1 mm/s, de compresión de 1 mm/s y de subida de 10 mm/s.

2.4.2. pH DE LOS GELES DE HARINA

Se midió en un pHmetro SevenEasy™ (Mettler Toledo GmbH, Suiza).

2.4.3. ANÁLISIS DE COLOR

El color de los geles de harina de quinua se determinó de la misma forma descrita anteriormente en el apartado 2.2.2. para las semillas.

2.5. Análisis estadístico

El análisis de varianza (ANOVA) se llevó a cabo utilizando el software estadístico Statgraphics Centurion XVIII Versión 18.1.13 (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA) con un nivel de significación de $p = 0,05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Composición química proximal

La humedad determinada en semillas de quinua fue de $11,9430 \pm 0,0004$ g/100 g. Dicho valor es similar al obtenido por Milovanović et al. (2014).

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en cuanto a la composición química de la harina de quinua.

TABLA 1. Valor medio (y desviación estándar) de la composición proximal de la harina de quinua (g/100g).

Agua	Proteína	Grasa	Cenizas	HC*
11,2989 (0,0015)	22,3 (0,6)	5 (2)	2,549 (0,113)	58,901

*Carbohidratos calculados por diferencia.

Se han encontrado resultados similares en el contenido de agua obtenido por Valdez-Arana et al. (2020) que osciló, según la variedad, entre 10,09 y 12,23%, y en el estudio de Contreras-Jiménez et al. (2019) donde se obtuvo un valor de 11,64%. Sin embargo, en cuanto al contenido de proteína, el valor registrado es superior al de la bibliografía contrastada (entre 17,42 y 19,59% según Valdez-Arana et al. (2020), de 14,1 a 15,4% según Ghumman et al. (2021) y 13,46% según Contreras-Jiménez et al. (2019)). Por su parte, el contenido en grasa obtenido es del orden del reportado en trabajos recientes (4,87 – 6,06% según Pellegrini et al. (2018), y 5,47% según Contreras-Jiménez et al. (2019)), si bien otros autores obtuvieron valores superiores entre 7,5 y 8,7% (Ghumman et al., 2021). El contenido de cenizas varía según las fuentes consultadas, debido a la influencia de la variedad y del método de obtención de la harina, pues los minerales se encuentran fundamentalmente en las capas externas del grano del pseudocereal. Así, para las distintas variedades de quinua estudiadas por Valdez-Arana et al. (2020), los valores obtenidos se encuentran en el rango de 2,12 a 5,21%, mientras que para Ghumman et al. (2021) se sitúan entre 3,66 y 4,41% (aunque también hace mención que en estudios anteriores se reporta un contenido de cenizas en el rango de 2 a 3,7%). Por otro lado, según Pellegrini et al. (2018) los valores oscilan entre 1,74 y 2,63, y según Ahmed et al. (2019) varían entre 0,41 y 3,16% dependiendo de las diferentes fracciones de tamaño de partícula. Por último, referente a la composición de carbohidratos, el valor obtenido por diferencia es algo inferior si se compara con los obtenidos por Valdez-Arana et al. (2020) y por Contreras-Jiménez et al. (2019), que oscilan entre 66,63 y 72,84%.

En general, la composición química de la harina de quinua depende de la variabilidad genética y las condiciones ambientales (Valdez-Arana et al., 2020), al igual que también está influenciada por el tamaño de partícula (Ahmed et al., 2019).

3.2. Distribución del tamaño de partícula de la harina de quinua

La distribución del tamaño de partícula proporciona información acerca del comportamiento de flujo y durante la manipulación a granel de la harina, así como de su capacidad (velocidad) y uniformidad de absorción de agua. El tamaño de partícula afectará, por lo tanto, al comportamiento de las formulaciones que se desarrollen a partir de esta harina y a la uniformidad de la masa del producto final en que se utilice (Bressi, 2017). Y, en consecuencia, a características sensoriales como el aspecto, el sabor y la textura. También influirá en la susceptibilidad a la cohesión durante su transporte y manipulación.

En la Figura 1 se muestra la distribución de tamaño de partícula obtenida para la harina de quinua estudiada (valores medios). Se puede apreciar una distribución con una población a la izquierda, más pequeña, de partículas de menor tamaño y a la derecha otra de mayor tamaño, lo cual indica una cierta heterogeneidad. Esto es lógico dado que no se pretendía eliminar toda la cubierta exterior del grano.

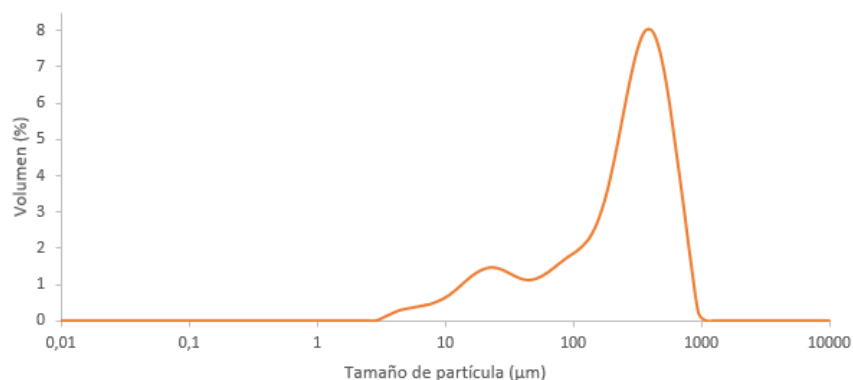


FIGURA 1. Distribución del tamaño de partícula (valores medios) obtenida para la harina de quinua.

El tamaño de partícula medio, expresado como diámetro medio del volumen equivalente (D [4,3]), ha sido de 273 µm (Tabla 2).

TABLA 2. Valor medio (y desviación estándar) de la distribución del tamaño de partícula de la harina de quinua.

D [4,3] (µm)	d (0,1) (µm)	d (0,5) (µm)	d (0,9) (µm)	span
273 (4)	22,1 (0,5)	259 (4)	547 (4)	2,03 (0,02)

D [4,3], d (0,1), d (0,5), d (0,9) y el valor de span representan, respectivamente, el diámetro medio del volumen equivalente de partícula, el 10%, el 50% y el 90% de todas las partículas más finas que este tamaño, y la medida de la anchura de la distribución de tamaño.

Los valores obtenidos difieren de los reportados por Alonso-Miravalles et al. (2020) para harina de quinua obtenida a partir de la semilla. En dicho trabajo el tamaño de partícula registrado fue inferior, pero con una mayor heterogeneidad en la distribución (span). Tanto la variedad como el método de molturación y acondicionamiento de la harina obtenida (información no aportada en dicha investigación) podrían influir en dichas diferencias. La harina caracterizada en este trabajo ha sido obtenida tras un tamizado por una luz de malla de 0,5 mm, por lo que el mayor tamaño de partícula, y por tanto menor área superficial disponible para la formación de fuerzas de cohesión, podría evitar la formación de grumos durante su manipulación (mejor fluidez). Sin embargo, también puede ser responsable de una peor hidratación.

3.3. Densidad aparente en semillas y harina de quinua

La densidad aparente de harina de quinua obtenida es igual a $0,646 \pm 0,008 \text{ g/cm}^3$, valor similar al alcanzado por Beniwal et al. (2019) y Ghumman et al. (2021); mientras que las semillas de quinua adquieren una densidad aparente con un valor de $0,761 \pm 0,003 \text{ g/cm}^3$, semejante al conseguido por Beniwal et al. (2019) y Contreras-Jiménez et al. (2019) en sus respectivos estudios. Dicho parámetro afecta a la capacidad de almacenamiento y depende de su humedad, ya que según Contreras-Jiménez et al. (2019) la densidad aparente en semillas de quinua disminuye con el contenido de humedad.

3.4. pH de la harina de quinua

En este caso el pH registrado es igual a $6,22 \pm 0,03$, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Pellegrini et al. (2018) y cuyos valores varían dependiendo de la variedad de quinua. Según Shi et al. (2019), la capacidad espumante de la harina de quinua mejora a pH entre 5 y 7, mientras que la capacidad emulsionante aumenta con el pH en el rango 3 a 5/7. Por otra parte, es conocida la dependencia de la solubilidad proteica con el pH, siendo mínima cuando el pH es cercano a su punto isoeléctrico (pI) y aumentando tanto a pH mayores como menores de este valor. Se ha documentado una solubilidad mínima alrededor de un pH igual a 4 para las proteínas de quinua blanca boliviana (López-Castejón et al., 2019) y máxima para un pH igual a 10 para harina de quinua de origen no especificado (Collar, 2015). Por lo tanto, el pH obtenido para la muestra objeto de estudio parece ser suficientemente alto para facilitar cierta solubilización proteica, y también conseguir un cierto grado de capacidad espumante y emulsionante.

3.5. Propiedades funcionales de la harina de quinua

En la Tabla 3 se puede apreciar una tabla resumen con los valores promedio y sus desviaciones estándar para las distintas propiedades funcionales estudiadas. Estas propiedades están muy afectadas por la composición de la harina y están relacionadas con las interacciones existentes entre sus componentes.

TABLA 3. Valor medio (y desviación estándar) de las propiedades funcionales de la harina de quinua.

WHC (g/g)	FAC (g/g)	FC (%)	FS (%)	SC (mL/g)	LGC (%)
1,70 (0,15)	1,4 (0,3)	16,6 (1,2)	77 (8)	2,82 (0,15)	25,8 (0,7)

WHC – capacidad de retención de agua, FAC – capacidad de absorción de grasa, FC – capacidad de formación de espuma, FS – estabilidad de la espuma, SC – capacidad de hinchamiento, LGC – concentración mínima de gelificación.

La capacidad de retención de agua (WHC) permite evaluar la capacidad de la harina para retener agua bajo una fuerza de gravedad centrífuga, y macromoléculas como los carbohidratos y proteínas, al ofrecer cadenas

laterales hidrófilas, aumentan dicha retención (Pellegrini et al., 2018; Ghumman et al., 2021). Autores como Shi et al. (2019) informan de un valor medio similar al obtenido en el presente estudio, y otros como Ahmed et al. (2019) también alcanzaron valores comparables y estudiaron cómo la WHC aumenta con la reducción del tamaño de partícula (debido al aumento en la relación superficie-volumen) y a medida que aumenta la temperatura de 25 a 70°C (como consecuencia de la gelatinización del almidón y desnaturalización proteica). Así, la quinua analizada, con un contenido de almidón cercano al 60% y de proteína también alto (22,3%), posee un WHC alto, superior al encontrado para cereales como el trigo ($0,84 \pm 0,06$) (Collar, 2016). Cabe señalar que la amilopectina que se encuentra en el almidón de la quinua tiene cadenas cortas y proporciona una mayor viscosidad, capacidad de retención de agua y propiedades de hinchamiento a este pseudocereal en comparación con otros cereales como el trigo, la cebada o el maíz (Valdez-Arana et al., 2020). En resumen, la harina de quinua analizada podría ser un buen candidato para la formulación de sopas, salsas, masas, fermentadas o no, y productos horneados, al aportar viscosidad y ayudar a lograr una textura suave (Ogungbenle, 2003).

Por otro lado, la capacidad de absorción de grasa (FAC) da información acerca de la interacción entre los lípidos y la cadena lateral no polar de los aminoácidos presentes en la harina, y por tanto de la capacidad para ligar el aceite, lo cual determinará la sensación en boca y retención de sabor del producto (Beniwal et al., 2019; Ghumman et al., 2021; Pellegrini et al., 2018). El resultado conseguido en el presente trabajo concuerda con el obtenido por otros autores (Ghumman et al., 2021) pero es algo inferior al reportado por Di Cairano et al. (2020), aunque el aceite empleado en este caso fue de soja. En cualquier caso, es prometedor, al ser del orden de los registrados para algunos cereales como el arroz (Di Cairano et al., 2020), tan empleado en productos destinados a población con intolerancia al gluten donde la absorción de grasa es deseable, como productos de panadería o derivados cárnicos.

La capacidad de formación de espuma (FC) es la propiedad que poseen las proteínas de formar una película delgada y resistente en una interfase líquido-gas por medio de fuerza y movimientos de agitación mecánica. La proteína debe migrar a la interfase, adsorberse y reorganizarse, para así formar un film rígido y viscoelástico estable que rodee a la burbuja de gas. Una distribución homogénea de burbujas pequeñas aporta suavidad y ligereza, así como un incremento de la dispersión y perceptibilidad de los aromas. Así, las proteínas con una elevada capacidad espumante se utilizan en panificación y repostería, donde se busca una determinada esponjosidad en el producto final (García et al., 2019), y en la elaboración de otros productos como helados o batidos. En dicha propiedad influirá no solo la cantidad de proteína presente, sino la solubilidad de esta, dependiente del pH (tal como se ha comentado en el apartado 3.4.) y el grado de desnaturalización proteica que pueda tener lugar durante el procesado. Los resultados obtenidos son superiores a los alcanzados por Ogungbenle (2003) para harina de quinua (9,0% para la FC y 2,0% para la FS), y a los reportados por Chandra y Samsher (2013) para harina de trigo (tomada como referencia para productos

de panadería y repostería), y harina de arroz (sin gluten y elevado contenido de almidón, como la quinua) con un 12,9% y 3,5% para FC y 1,9% y 0,98% para FS, respectivamente. La cantidad de proteína (mayor en la quinua) y un pH algo inferior (6 frente a 7 en dichos trabajos), podrían justificar dichas diferencias. Por otra parte, también la estabilidad de la espuma resultó ser elevada. En resumen, la harina de quinua estudiada parece ser una buena candidata para ser empleada en panificación y repostería, helados o batidos, donde se busca una determinada esponjosidad en el producto final (García et al., 2019). Cabe recordar que las espumas muestran estabilidad cerca del punto isoeléctrico, ya que la carencia de interacciones de repulsión favorece las interacciones proteína-proteína y por lo tanto la formación de una película viscosa en la interfase. Y en este sentido, se podrían mejorar aún más las propiedades espumantes acidificando el medio hasta llegar a valores de pH cercanos a 4.

En relación con la capacidad de hinchamiento (SC) se refiere a la capacidad de aumento de volumen del producto en presencia de agua, lo cual se relaciona directamente con la capacidad de absorción de agua y se caracteriza también por ser una propiedad funcional propia de las proteínas, fundamental en la preparación de alimentos viscosos como masas y productos horneados, donde se requiere una buena interacción proteína-agua (García et al., 2012). Contrariamente a lo esperado, la harina de quinua estudiada presentó una baja capacidad de hinchamiento en comparación con otros autores (Pellegrini et al., 2018).

Finalmente, la concentración mínima de gelificación (LGC) se define como la concentración de proteína más baja a la que el gel permanece estático estando en el tubo de ensayo invertido (Chandra et al., 2015). Proporciona información acerca de la capacidad de formar una matriz estructural capaz de retener agua, por lo que cuanto menor sea el valor obtenido de LGC, mayor será la capacidad mínima de gelificación (Tafadzwa et al., 2021). Valores bajos de LGC indican que el almidón disponible tiene muchos poros que facilitan la absorción del agua y las proteínas disponibles tienen un mayor porcentaje de solubilidad que ayuda a una mejor gelificación (Tafadzwa et al., 2021). En este caso la harina de quinua ha alcanzado una concentración mínima de gelificación del 25,8% (p/v), que comparada con estudios previos como la obtenida por Ogungbenle (2003) y Tafadzwa et al. (2021), fue mayor. Esta variación de resultados conseguidos para la harina de quinua puede deberse a la variedad de semilla estudiada.

3.6. Propiedades de los geles de harina de quinua

3.6.1. pH

El pH de los geles de harina de quinua a una concentración de 25,8% (p/v) alcanza un valor medio de $5,94 \pm 0,03$; algo inferior al registrado en la harina de quinua ($6,22 \pm 0,03$). Tal como se ha comentado en el apartado 3.4., las proteínas de la quinua presentan una mínima solubilidad a pH alrededor de 4, aumentando tanto para valores superiores como inferiores al mismo, por lo

que se espera conseguir una cierta solubilización de las proteínas de la harina de quinua empleada.

3.6.2. ANÁLISIS DE LA TEXTURA

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de las curvas fuerza-tiempo obtenidas en el ensayo de compresión realizado sobre los geles de quinua a la concentración mínima de gelificación (25,8% (p/v)).

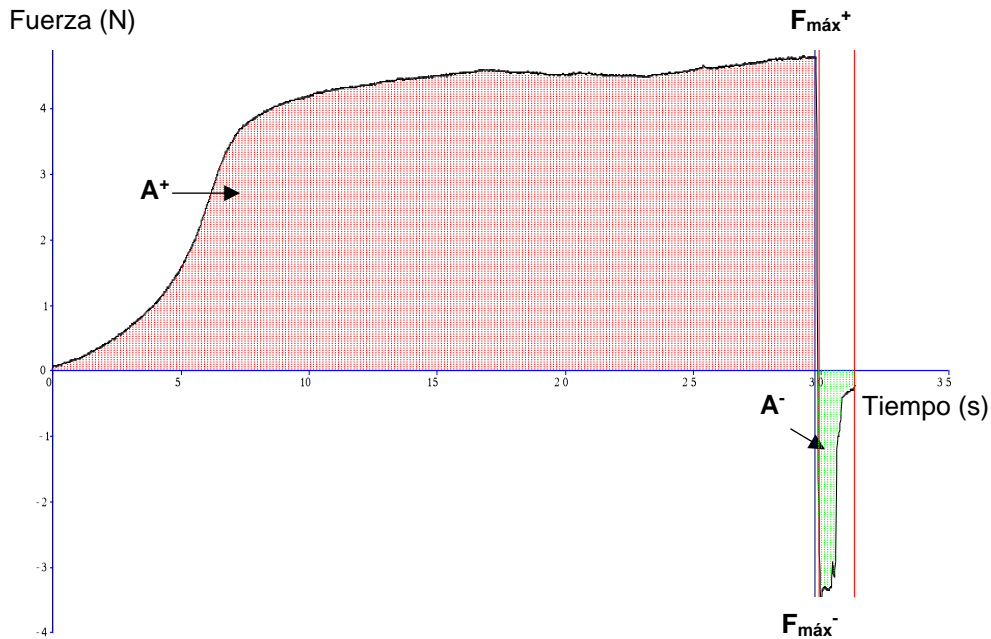


FIGURA 2. Ejemplo de curva obtenida en el ensayo de compresión.

La fuerza máxima alcanzada ($F_{máx}^+$) en la región positiva se corresponde con la firmeza del gel y el área bajo la curva hasta dicho punto (A^+) se corresponde con la consistencia de la muestra. En la región negativa, producida por el retorno de la sonda, la máxima fuerza ($F_{máx}^-$) indica la cohesión del gel, de tal manera que cuanto más negativa, más cohesiva es la muestra. Por último, el área de la región negativa corresponde con el trabajo de cohesión, que aporta resistencia a la extracción, lo cual indica la viscosidad de la muestra. En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos.

TABLA 4. Valor medio (y desviación estándar) del análisis de ensayos de compresión de geles de harina de quinua.

$F_{máx}^+$ (N)	A^+ (N*s ⁻¹)	$F_{máx}^-$ (N)	A^- (N*s ⁻¹)
5,1 (0,2)	115 (7)	-1,19 (0,05)	-1,50 (0,12)

$F_{máx}^+$ – firmeza, A^+ – consistencia, $F_{máx}^-$ - cohesividad, A^- – viscosidad.

El gel formado por la harina de quinua estudiada se caracteriza por ser un gel poco firme y consistente, con una baja cohesividad (con poca resistencia a la extracción de la sonda) y baja viscosidad.

En el proceso de gelificación hay que considerar los cambios que pueden producirse tanto en el almidón como en las proteínas, ambas macromoléculas presentes en elevada cantidad en la harina de quinua. Los gránulos de almidón, al ser sometidos a 90°C en presencia de suficiente agua, se hincharán y perderán su configuración nativa (gelatinización), con el consecuente aumento de la viscosidad y la formación de una pasta. En el enfriamiento posterior, las cadenas de amilosa se acercarán, formándose nuevos puentes de hidrógeno y una red tridimensional capaz de retener agua en su interior (gel). Por otra parte, en la gelificación de proteínas globulares, como son las mayoritarias en la harina de quinua (globulinas y albúminas), se han descrito tres fases (Aguilar et al., 2010): a) cambio en las proteínas desde el estado nativo a un estado desnaturalizado, b) agregación parcial de las proteínas, c) asociación de los agregados proteicos para formar un entramado tridimensional, mediante interacciones de tipo físico, en especial puentes de hidrógeno. Los geles proteicos formados mediante procesado térmico presentan un mejor grado de estructuración en la proximidad del punto isoeléctrico de las proteínas. Cuando nos alejamos del punto isoeléctrico se generan repulsiones electrostáticas debido a la presencia de cargas superficiales en las moléculas de proteína, que tienden a dificultar la formación del entramado estructural y conducen a geles de menor consistencia.

Por lo tanto, teniendo en cuenta que el punto isoeléctrico se encuentra alrededor de un pH igual a 4 (se ha documentado una solubilidad mínima para las proteínas de la quinua blanca boliviana a este pH, López-Castejón et al., 2019), y que el pH de la harina empleada se encuentra alrededor de 6, cabe pensar que no ha sido posible lograr una suficiente asociación de agregados proteicos, con el consecuente debilitamiento de la estructura del gel. Por eso parece que la textura del gel de harina de quinua obtenido puede atribuirse más a los fenómenos de gelatinización y retrogradación del almidón, y de hecho se podía observar un aumento considerable de la viscosidad durante el calentamiento y una cierta rigidez después del enfriamiento posterior. En cualquier caso, habría que realizar un estudio más detallado, analizando la microestructura de los geles obtenidos.

3.6.3. ANÁLISIS DE COLOR

El color es uno de los parámetros más importantes en la aceptación general de un producto alimenticio por los consumidores (Alonso-Miravalles et al., 2020). En la Tabla 5 se pueden observar los valores obtenidos de las coordenadas CIEL*a*b* y los atributos de color para las semillas de quinua, la harina obtenida a partir de estas y para los geles a una concentración de 25,8% (p/v).

TABLA 5. Valor medio (y desviación estándar) de las coordenadas L*a*b* y atributos de color para semillas de quinua, su respectiva harina y geles obtenidos a una concentración de 26% (p/v).

Muestra	L*	a*	b*	C* _{ab}	h* _{ab}
Semilla	76,2 (0,5) ^b	3,45 (0,13) ^c	21,57 (0,25) ^c	21,85 (0,26) ^c	80,91 (0,28) ^a
Harina	87,79 (1,15) ^c	0,7 (0,2) ^a	12,2 (0,3) ^a	12,2 (0,3) ^a	86,8 (0,6) ^c
Geles	68,68 (0,12) ^a	1,07 (0,05) ^b	17,3 (0,2) ^b	17,4 (0,2) ^b	86,48 (0,14) ^b

Dentro de las columnas, valores con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$). L* – luminosidad; a* – coordenada rojo-verde; b* – coordenada amarillo-azul; C*_{ab} – croma/pureza; h*_{ab} – tono.

La molienda de la semilla conlleva un aumento significativo ($p < 0,05$) de la luminosidad y el tono, mientras que la pureza de color se reduce considerablemente, como consecuencia de la reducción de tamaño y la eliminación de parte de la cubierta externa de las semillas, que podría conllevar una menor presencia de pigmentos carotenoides en la harina obtenida. Por otra parte, el proceso de gelificación conlleva una pérdida significativa de la luminosidad (mayor opacidad) acompañada de una pureza de color superior.

Con el fin de comparar los valores obtenidos con los reportados por otros autores, en la Figura 3 se presentan los diagramas L* vs a* y b* vs a* para las muestras analizadas junto a otras harinas de quinua analizadas por Pellegrini et al. (2018).

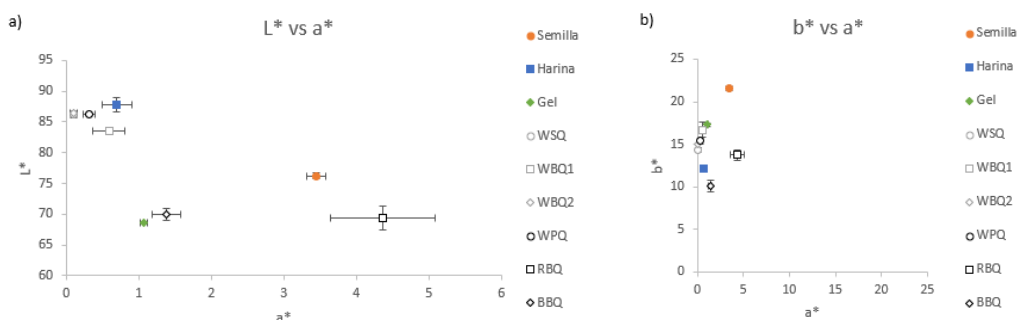


FIGURA 3. (a) Diagrama cromático L* vs a*, y (b) diagrama b* vs a*. Donde: símbolos con relleno y color – muestras de quinua de este trabajo (semillas, harinas y geles); WSQ – quinua blanca española obtenida de agricultura ecológica; WBQ1 y WBQ2 – dos marcas diferentes de quinua blanca real boliviana obtenida de agricultura orgánica; WPQ – quinua blanca peruana; RBQ – quinua real roja boliviana obtenida de la agricultura ecológica; BBQ – quinua negra real boliviana obtenida de agricultura ecológica (Pellegrini et al., 2018).

Como era de esperar, la muestra de harina estudiada en el presente trabajo presenta valores de luminosidad y tonalidades más cercanas a las muestras de harina de quinua blanca española de agricultura ecológica (WSQ), la harina obtenida de dos marcas distintas de quinua blanca real

boliviana de agricultura orgánica (WBQ1 y WBQ2) y con la harina obtenida a partir de quinua blanca peruana (WPQ). Mientras que, si se compara con valores obtenidos en harinas obtenidas a partir de semillas de quinua roja o negra real boliviana de agricultura ecológica (RBQ y BBQ, respectivamente), estas presentan una menor luminosidad y tonalidad diferente.

4. CONCLUSIONES

Tras analizar los resultados obtenidos se puede concluir que la harina de quinua estudiada podría emplearse en la elaboración de alimentos ricos en proteína y libres de gluten. Destaca su buena capacidad de retención de agua que hace que, al aportar viscosidad contribuyendo a una textura suave, llegue a mejorar su potencial en formulaciones de alimentos como salsas, sopas, masas y productos horneados. Además, se puede considerar una harina útil para la retención del sabor y la mejora la palatabilidad del alimento debido a su buena capacidad de absorción de grasa, deseable en panificación y productos derivados cárnicos. Por otra parte, la harina de quinua estudiada puede llegar a emplearse en formulaciones donde se requiera el desarrollo de una determinada esponjosidad, esto es, en productos como batidos y helados, y productos tradicionales de panadería y repostería como pasteles. Sin embargo, es poco útil en alimentos tipo púdines, donde existe gelificación. Para este caso se recomienda rebajar el pH hasta valores cercanos al punto isoelectrónico de las proteínas de la quinua.

5. REFERENCIAS

- AACC. 2005. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (10th edn). St. Paul, MN, USA.
- Abderrahim, F.; Huanatico, E.; Segura, R.; Arribas, S.; Gonzalez, M. C.; Condezo-Hoyos, L. 2015. Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food Chemistry*, **183**:83-90.
- Adebowale, Y. A.; Adeyemi, I. A.; Oshodi, A. A. 2005. Functional and physicochemical properties of flours of six *Mucuna* species. *African Journal of Biotechnology*, **4(12)**:1461-1468.
- Aguilar, J. M.; Jaramillo, F.; Cordobés, F.; Guerrero, A. 2010. Influencia del procesado térmico sobre la reología de geles de albumen de huevo. *Afinidad LXVII*, **545**:28-32.
- Ahmed, J.; Thomas, L.; Arfat, Y. A. 2019. Functional, rheological, microstructural and antioxidant properties of quinoa flour in dispersions as influenced by particle size. *Food Research International*, **116**:302-311.
- Ahn, H. J.; Kim, J. H.; Ng, P. K. W. 2005. Functional and thermal properties of wheat, barley, and soy flours and their blends treated with a microbial transglutaminase. *Journal of Food Science*, **70(6)**:380-386.
- Alonso-Miravalles, L.; Zannini, E.; Bez, J.; Arent, E. K.; O'Mahony, J. A. 2020. Physical and flow properties of pseudocereal-based protein-rich ingredient powders. *Journal of Food Engineering*, **281**:109973.
- Alu'datt, M. H.; Rababah, T.; Ereifej, K.; Alli, I.; Alrababah, M. A.; Almajwal, A.; Masadeh, N.; Alhamad, M. N. 2012. Effects of barley flour and barley protein isolate on chemical,

- functional, nutritional and biological properties of Pita bread. *Food Hydrocolloids*, **26**:135-143.
- Beniwal, S. K.; Devi, A.; Sindhu, R. 2019. Effect of grain processing on nutritional and physico-chemical, functional and pasting properties of amaranth and quinoa flours. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, **18(3)**:500-507.
- Bressi, G. B. 2017. Aspectos tecnológicos y nutricionales de pasta sin gluten a base de harina de garbanzo y harina de chufa. Trabajo Fin de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.
- Chandra, S.; Samsher. 2013. Assessment of functional properties of different flours. *African Journal of Agricultural Research*, **8(38)**: 4849-4852.
- Chandra, S.; Singh, S.; Kumari, D. 2015. Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Journal of Food Science and Technology*, **52(6)**:3681-3688.
- Collar, C. 2015. Quinoa. En: Caballero, B., Finglas, P. M., Toldrá, F. (eds). *Encyclopedia of Food and Health*. Academic Press, Cambridge (Massachusetts), 573-579.
- Contreras-Jiménez, B.; Torres-Vargas, O. L.; Rodríguez-García, M. E. 2019. Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. *Food Chemistry*, **298**:124982.
- Di Cairano, M.; Condelli, N.; Caruso, M. C.; Marti, A.; Cela, N.; Galgano, F. 2020. Functional properties and predicted glycemic index of gluten free cereal, pseudocereal and legume flours. *LWT, Food Science and Technology*, **133**:109860.
- Elli, L.; Branchi, F.; Tomba, C.; Villalta, D.; Norsa, L.; Ferretti, F.; Roncoroni, L.; Bardella, M. T. 2015. Diagnosis of gluten related disorders: celiac disease, wheat allergy and non-celiac gluten sensitivity. *World Journal of Gastroenterology*, **21(23)**:7110-7119.
- García, O.; Aiello Mazzarri, C.; Peña Chirino, M. C.; Ruiz Ramírez, J. L.; Acevedo Pons, I. del C. 2012. Caracterización físico-química y propiedades funcionales de la harina obtenida de granos de quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) sometidos a diferentes procesamientos. *Revista Científica UDO Agrícola*, **12(4)**:919-928.
- García Pacheco, Y.; Cabrera Mercado, D.; Ballestas Santos, J. A.; Campo Arrieta, M. J. 2019. Efecto de diferentes tratamientos térmicos sobre las propiedades tefuncionales de la harina de frijol blanco (*Phaseolus lunatus* L.) y la determinación de su potencial uso agroalimentario. *INGE CUC*, **15(2)**:132-142.
- Ghumman, A.; Mudgal, S.; Singh, N.; Ranjan, B.; Kaur, A.; Rana, J. C. 2021. Physicochemical, functional and structural characteristics of grains, flour and protein isolates of Indian quinoa lines. *Food Research International*, **140**:109982.
- Hemalatha, P.; Bomzan, D. P.; Sathyendra Rao, B. V.; Sreerama, Y. N. 2016. Distribution of phenolic antioxidants in whole and milled fractions of quinoa and their inhibitory effects on α -amylase and α -glucosidase activities. *Food Chemistry*, **199**:330-338.
- ICC. 2008. Approved methods of the International Association for Cereal Science and Technology. Viena, Austria.
- López-Castejón, M. L.; Bengoechea, C.; Díaz-Franco, J.; Carrera, C. 2019. Interfacial and emulsifying properties of quinoa protein concentrates. *Food Biophysics*, **15**:122-132.
- Martínez-Villaluenga, C.; Peñas, E.; Hernández-Ledesma, B. 2020. Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food and Chemical Toxicology*, **137**:111178.
- Milovanović, Mirjana M.; Demin, Mirjana A.; Vucelić-Radović, Biljana V.; Žarković, Branka M.; Stikić, Radmila I. 2014. Evaluation of the nutritional quality of wheat bread prepared with quinoa, buckwheat and pumpkin seed blends. *Journal of Agricultural Sciences*, **59(3)**:319-328.
- Ogungbenle, H. N. 2003. Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **54**:153-158.
- Okezie, B. O.; Bello, A. B. 1988. Physicochemical and functional properties of winged bean flour and isolate compared with soy isolate. *Journal of Food Science*, **53(2)**:450-454.

- Pellegrini, M.; Lucas-Gonzales, R.; Ricci, A.; Fontecha, J.; Fernández-López, J.; Pérez-Álvarez, J. A.; Viuda-Martos, M. 2018. Chemical, fatty acid, polyphenolic profile, techno-functional and antioxidant properties of flours obtained from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds. *Industrial Crops and Products*, **111**:38-46.
- Shi, D.; Fidelis, M.; Ren, Y.; Stone, A. K.; Ai, Y.; Nickerson, M. T. 2019. The functional attributes of Peruvian (*Kankolla* and *Blanca juli* blend) and Northern quinoa (*NQ94PT*) flours and protein isolates, and their protein quality. *Food Research International*, **128**:108799.
- Tafadzwa, M. J.; Zvamaziva, J. T.; Charles, M.; Amiel, M.; Pepukai, M.; Shepherd, M. 2021. Proximate, physico-chemical, functional and sensory properties of quinoa and amaranth flour as potential binders in beef sausages. *Food Chemistry*, 130619.
- Traynham, T. L.; Myers, D. J.; Carriquiry, A. L.; Johnson, L. A. 2007. Evaluation of water-holding capacity for wheat-soy flour blends. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, **84**:151-155.
- Valdez-Arana, J. del C.; Steffolani, M. E.; Repo-Carrasco-Valencia, R.; Pérez, G. T.; Condezo-Hoyos, L. 2020. Physicochemical and functional properties of isolated starch and their correlation with flour from the Andean Peruvian quinoa varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, **147**:997-1007.
- Vilcacundo, R.; Hernández-Ledesma, B. 2017. Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, **14**:1-6.