



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE  
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para  
el Desarrollo

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

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ciencia e Ingeniería de los Alimentos

AUTOR/A: Martín Herrero, Ana

Tutor/a: Albors Sorolla, Ana María

Cotutor/a: Martín Esparza, M<sup>a</sup> Eugenia

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## *PROPIEDADES FÍSICAS, FUNCIONALES Y QUÍMICAS DE HARINA OBTENIDA A PARTIR DE SEMILLAS DE AMARANTO*

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

ALUMNA: ANA MARTÍN HERRERO  
TUTORA ACADEMICA: ANA ALBORS SOROLLA  
COTUTORA: EUGENIA MARTÍN ESPARZA

*Curso Académico: 2021-2022*

VALENCIA, 2 JULIO 2022

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

A. Martín Herrero, M. E. Martín Esparza<sup>1</sup>, A. M. Albors Sorolla<sup>1</sup>

## RESUMEN

Actualmente, existe un renovado interés en el uso de amaranto, así como otros pseudocereales, debido a su excelente composición nutricional, rico en carbohidratos, proteínas de buena calidad, vitaminas y minerales, siendo especialmente adecuado para personas celíacas. Debido a ello, resulta de interés su introducción en la formulación de productos alimenticios saludables, sin gluten y con un valor nutricional mejorado, ya sea para su consumo como grano o para su uso como harina, incorporándolo en la elaboración de productos sin gluten.

En el presente trabajo se ha estudiado la composición química, propiedades físicas y funcionales de harina obtenida a partir de semillas de amaranto ecológicas. Así mismo, se han obtenido y caracterizado los geles acuosos obtenidos a partir de ella. Los resultados obtenidos han sido comparados con los resultados de otros autores. Se ha podido concluir que la harina de amaranto analizada puede ser útil para la retención del sabor, mejora de la palatabilidad y como ingrediente para la elaboración de masas y productos horneados sin gluten. Sin embargo, no ha mostrado buenas propiedades espumantes y no puede ser presentada como alternativa al empleo de proteínas en aplicaciones alimentarias que requieran una alta espumabilidad y estabilidad de espuma, tales como pasteles, batidos o helados.

**PALABRAS CLAVE:** harina; amaranto; tamaño de partícula; capacidad de retención de agua; capacidad de retención de aceite; capacidad espumante; geles.

## RESUM

Actualment existeix un renovat interès en l'ús d'amarant, així com uns altres pseudo-cereals, a causa de la seua excel·lent composició nutricional, ric en carbohidrats, proteïnes de bona qualitat, vitamines i minerals, sent especialment adequat per a persones celíaques. A causa d'això, resulta d'interès la seua introducció en la formulació de productes alimenticios saludables, sense glúten i amb un valor nutricional millorat, ja siga per al seu consum com a gra o per al seu ús com a farina, incorporant-ho en l'elaboració de productes sense glúten.

---

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

En el present treball s'ha estudiat la composició química, propietats físiques i funcionals de farina obtinguda a partir de llavors d'amarant ecològiques. Així mateix, s'han obtingut i caracteritzat els gels aquosos obtinguts a partir d'ella. Els resultats obtinguts han sigut comparats amb els resultats d'altres autors. S'ha pogut concloure que la farina d'amarant analitzada pot ser útil per a la retenció del sabor, millora de la palatabilitat i com a ingredient per a l'elaboració masses i productes enforats sense glúten. No obstant això, no ha mostrat bones propietats espumejants i no es deu presentar com a alternativa a l'ús de proteïnes en aplicacions alimentàries que requerisquen molta capacitat espumejant i una bona estabilitat de espuma como en la elaboració de pastissos, batuts o gelats.

PARAULES CLAU: farina; amarant; grandària de partícula; capacitat de retenció d'aigua; capacitat de retenció d'oli; capacitat espumejant; gels.

## **ABSTRACT**

There is a renewed interest in the use of amaranth, as well as other pseudocereals, due to its excellent nutritional composition. High in carbohydrates, good quality proteins, vitamins and minerals, which makes it especially suitable for the people with celiac disease. Because of this, its introduction in the formulation of healthy, gluten-free food products with an improved nutritional value is of interest, either for consumption as a grain or for use as a flour, incorporating it in the preparation of gluten-free products. The objective of this work has studied the chemical composition, physical and functional properties of the flour obtained from seeds of ecological amaranth. Likewise, aqueous gels were obtained and characterised. Results have been compared with studies from several authors. It can be concluded that the assessed amaranth flour can be useful for making flavour retention, palatability improvement and as an ingredient for making gluten-free doughs and baked products. However, it has not showed good foam properties, which reveals that it can't be presented as an alternative for protein replacement in food applications that require high foamability and stability, such likes cakes, shakes or ice cream.

KEYWORDS: flour; amaranth; particle size; water retention capacity; oil absorption capacity; foaming capacity; gels.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha producido un considerable aumento de la incidencia de la enfermedad celíaca (EC) (Bressi et al. 2017), una intolerancia a las proteínas del gluten presentes en la mayoría de los cereales. En estos individuos, el consumo de cereales que contienen gluten provoca un proceso inflamatorio crónico que conduce a lesiones en el intestino delgado y una disfunción en la absorción de nutrientes. Esto ha provocado un aumento de la demanda de productos sin gluten, dado que el único tratamiento eficaz para las personas que padecen EC es mantener una dieta estricta libre de gluten durante toda la vida del paciente (Lamacchia et al., 2014).

Los pseudocereales son plantas dicotiledóneas productoras de semillas que se consumen como granos y están presentes en algunas familias, como la *Amaranthaceae* (amaranto, cañihua y quinoa) (Sindhu y Khatkar, 2019). También se definen como frutos o semillas de plantas no gramíneas o no cereales que se consumen del mismo modo que los granos de cereales. No contienen gluten y son ricos en carbohidratos, proteínas de buena calidad, lípidos, vitaminas y minerales (USDA, 2020). Debido a esto, existe un interés creciente en su utilización para la formulación de productos alimenticios saludables, sin gluten y con un valor nutricional mejorado (Pérez y Antezana, 2018).

Los pseudocereales andinos como el amaranto (*Amaranthus sp.*) son de gran importancia debido al buen contenido nutricional y efectos beneficiosos sobre la salud (Matías et al., 2018). El grano de amaranto se puede tostar, reventar, extruir o moler en harina y, por lo tanto, puede ser consumido como tal o incluido en otros productos como pan, pasteles, magdalenas, panqueques, galletas, albóndigas, fideos y/o galletas saladas.

En la Tabla 1 se muestra la composición nutricional del amaranto según distintos estudios. Tiene un mayor contenido de proteínas que la mayoría de los cereales de consumo habitual, como son el trigo (12-14%), el arroz (7-10%) o el maíz (9-10%) (Singh y Punia, 2020). La mayoría de las proteínas del amaranto (14-18%) se corresponden con globulinas ricas en lisina y aminoácidos azufrados, los cuales son esenciales para una óptima nutrición. Además, contiene diversos compuestos como péptidos antimicrobianos, inhibidores de proteasas, lecitinas y compuestos antioxidantes (Matías et al., 2018).

**TABLA 1.** Composición química de la harina de amaranto (g/100g), según diferentes autores.

Humedad	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Fibra	Cenizas	Fuente
7,94 (0,07)	14,7 (0,17)	5,83 (0,03)	50,8 (por diferencia)	13,2 (0,13)	2,26 (0,02)	Entero Ramesh
8,43 (0,07)	16,5 (0,18)	7,82 (0,06)	39,8 (por diferencia)	16,8 (0,96)	2,9 (0,05)	Molido Prakash,
8,92 (0,06)	10,4 (0,17)	5,18 (0,04)	58,8 (por diferencia)	10,6 (0,36)	1,87 (0,01)	Grueso Singh
10,33 (0,30)	14,69 (0,50)	5,8 (0,11)	61,43 (0,52)	4,91 (0,02)	2,84 (0,02)	y Punia, 2020

11,2	15,54	7,31	65,95 (por diferencia)	5,21	3,61	<i>Bedón-Miranda, 2020</i>
11,2	13,3	6,5	69 (por diferencia)	6,5	2,9	<i>Srichuwong et al., 2017</i>

El grano de amaranto también contiene una mayor cantidad de grasa que la mayoría de los cereales de consumo habitual, como son el trigo (1,70%), arroz (2,20%) o maíz (5,00%) (Bedón, 2020). Los ácidos grasos presentes en el amaranto están caracterizados por un alto grado de insaturación, lo cual es deseable desde un punto de vista nutricional (Singh y Punia, 2020). Además, el escualeno es un ácido graso poliinsaturado abundante entre estos lípidos, el cual posee una gran capacidad antioxidante y fortalece el sistema inmune (Matías et al., 2018).

Además, también es una fuente de fibra dietética, vitaminas y minerales. Así mismo, contiene polifenoles (flavonoides) con una actividad antioxidante relativamente alta (Huamanchumo et al., 2020).

Debido a su excelente composición nutricional, existe un renovado interés en el cultivo del amaranto, ya sea para su consumo como grano o para su uso como harina, especialmente en la elaboración de productos sin gluten (Álvarez et al., 2010). Y también se encuentra en auge el estudio de la incorporación de la harina de amaranto para el desarrollo de diversos productos, y no solamente sin gluten, como es el caso del realizado por Bedón (2020), que estudió el efecto de sustituir parcial o totalmente la harina de trigo por harina de amaranto en una torta libre de azúcar, para la elaboración de alimentos aptos para diabéticos.

Su uso depende en gran medida de sus propiedades funcionales que, a su vez, se relacionan con sus características intrínsecas (composición química, tamaño de partícula, densidad, etc.). La mayoría de estas propiedades funcionales dependen de las proteínas del grano (cantidad y tipo), y de su interacción con otros componentes como agua, lípidos o carbohidratos durante el procesado. El conocimiento de estas propiedades y de las variaciones estructurales de dichas proteínas permiten plantear diversos tratamientos tecnológicos que tengan por finalidad lograr cambios estructurales favorables para el mejoramiento de las propiedades funcionales de las proteínas. Estas opciones se plantean para poder obtener nuevos ingredientes de fuentes alternativas con una funcionalidad específica y un buen valor nutricional para su utilización en la formulación de alimentos (Ventureira et al., 2010). Por otra parte, su conocimiento es esencial para la toma de decisiones relativa a las condiciones de procesado más adecuadas para el desarrollo de nuevos productos.

En el presente trabajo, se pretende caracterizar algunas propiedades físicas, funcionales y químicas de la harina obtenida a partir de semillas de amaranto ecológicas, así como la textura, pH y color de los geles acuosos elaborados con esta harina. También se caracterizarán las semillas de partida en términos de densidad aparente, color y humedad.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materias primas

Las semillas de amaranto procedentes de agricultura ecológica se obtuvieron en un establecimiento especializado (Herbolario Navarro, Valencia, España). Para la obtención de la harina, las semillas fueron molturadas en un molino Retsch GrindoMix-200 (RETSCH GmbH, Hann, Alemania), a 10000 rpm durante 20 segundos (3 ciclos). Posteriormente, la harina obtenida se pasó por un tamiz de 500  $\mu\text{m}$  (N.º R-84, CISA, Barcelona, España). La harina obtenida fue almacenada en bolsas plásticas herméticas a temperatura ambiente hasta su utilización.

### 2.2. Propiedades de las semillas de amaranto

#### 2.2.1. DENSIDAD APARENTE Y HUMEDAD

La densidad aparente de las semillas se determinó mediante el método descrito por Adebowale et al. (2005). Se transfirió una cantidad especificada de semillas de amaranto a una probeta de 50 mL hasta una altura de 15 mL. Se golpeó suavemente 50 veces la muestra para eliminar espacios entre las semillas y se anotó el volumen ocupado por las semillas. La medida se realizó por triplicado. La densidad aparente se calculó mediante la ecuación 1.

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

donde:  $\rho_a$  = densidad aparente de las semillas ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $w_1$  = peso de la probeta vacía (g);  $w_2$  = peso de la probeta con la muestra (g);  $V_m$  = volumen de las semillas tras el golpeado ( $\text{cm}^3$ ).

La humedad de las semillas de amaranto se determinó, por triplicado, de acuerdo a los métodos del American Association of Cereal Chemist approved methods (AACC, 2000).

#### 2.2.2. COLOR

El color se determinó según Bressi et al. (2017), introduciendo las semillas en un crisol transparente. Se midió en un espectrocolorímetro (Konica Minolta, Inc., modelo CM-3600d, Tokio, Japón) entre 400 y 700 nm, iluminante D65 y 10º de observador estándar. 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). Las mediciones se realizaron por quintuplicado.

### 2.3. Propiedades de la harina de amaranto

#### 2.3.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La harina de amaranto fue analizada en cuanto a su contenido en humedad, grasa, proteína y cenizas, de acuerdo a los métodos del American Association of Cereal Chemist approved methods (AACC, 2000). Todas las medidas se realizaron por triplicado. El contenido en carbohidratos digeribles se determinó por diferencia de peso.

### 2.3.2. TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula se determinó según el método descrito por Bressi et al. (2017), empleando un difractómetro láser Mastersizer® 2000 (Malvern Instruments Ltd., Malvern, Reino Unido). Se consideró un índice de refracción de 1,52 y un índice de absorción de 0,1. Las medidas se llevaron a cabo empleando en cada medida 10-20 g de muestra. Como dispersante se usó aire (vía seca) y agua con un índice de refracción de 1,03 (vía húmeda). El tamaño medio de las partículas fue expresado en términos del parámetro D[4,3], según la ecuación 2. Así mismo, se consideró el parámetro "span" o medida de la anchura de la distribución del tamaño de partícula. Por último, se consideró el tamaño de partícula por debajo del cual se encuentra el 10% (d(0,1)), 50% (d(0,5)) y 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 ( $\mu\text{m}$ ); n = cantidad de partículas de tamaño d; d = tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ ).

### 2.3.3. DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente de las harinas se determinó tal y como se ha descrito en el apartado 2.2.1. para las semillas.

### 2.3.4. pH

El pH de la harina de amaranto se determinó mediante el método de Onuma y Bello (1988), realizando una dispersión al 10% p/v de cada muestra en agua destilada. Cada suspensión se mezcló durante 1 minuto en el Ultraturrax y el pH se midió mediante un pHmetro SevenEasy (Mettler Toledo GmbH, Suiza). Las mediciones se realizaron por triplicado.

### 2.3.5. COLOR

El color en harinas se determinó tal y como se ha descrito en el apartado 2.2.2. para las semillas.

### 2.3.6. PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA

Todas las medidas se realizaron por triplicado.



#### A. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (WHC)

Se determinó utilizando el método modificado de Heywood et al. (2002). En un tubo de centrífuga de 50 mL, se pesaron 1,5 g de harina que se disolvieron en 285 mL de agua destilada. Se agitaron en el Vórtex a 900 rpm durante 10 segundos y se centrifugaron a 3000 rpm durante 30 min. Tras decantar el sobrenadante, se pesó el tubo. Se expresó la WHC como gramos de agua absorbida por gramo de harina.

#### B. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ACEITE (FAC)

Se determinó utilizando el método descrito por Ahn et al. (2005), en el cual se pesan 1 g de harina y 10 mL de aceite vegetal (refinado de girasol) en un tubo de centrífuga de 50 mL. Se agita en el Vórtex a 900 rpm durante 15 segundos y se centrifuga a 3000 rpm durante 5 min. Tras decantar el sobrenadante, se pesó el tubo. Se expresó la FAC como gramos de aceite absorbidos por gramo de harina.

#### C. CAPACIDAD ESPUMANTE (FC) Y ESTABILIDAD DE LA ESPUMA (FS)

Se determinaron ambas medidas con el método descrito por Alu'datt et al. (2012), por el que se mezclaron 2 g de muestra de harina con 40 mL de agua destilada utilizando un Ultraturrax en una probeta de 100 mL. La suspensión se agitó durante 5 minutos a 10000 rpm para producir espuma. El volumen de espuma a los 30 segundos tras el batido se expresó como capacidad de espuma, y se calculó mediante la ecuación 3, y la estabilidad de la espuma se expresó como el volumen de espuma durante un periodo de tiempo de 0 a 60 minutos y se calculó mediante la ecuación 4.

$$FC = \frac{AW - BW}{BW} * 100 \quad (3)$$

donde: FC = capacidad de formación de espuma (%); AW = volumen después de batir tras 30 segundos (mL); BW = volumen antes de batir (mL).

$$FS = \frac{CW - BW}{AW - BW} * 100 \quad (4)$$

donde: FS = estabilidad de la espuma (%); AW = volumen después de batir tras 30 segundos (mL); BW = volumen antes de batir (mL); CW = volumen después de batir tras 60 minutos (mL).

#### D. CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (SC)

Se determinó mediante el método descrito por Okaka y Potter (1997). Se llenó una probeta graduada de 100 mL con muestra 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 se cubrió con parafilm y se mezcló invirtiendo el cilindro. La suspensión se invirtió de nuevo tras 2 minutos, se dejó reposar durante 30

minutos y se tomó el volumen ocupado por la muestra tras ese tiempo. La capacidad de hinchamiento se calculó como los mL ocupados por la muestra por gramo de muestra seca.

#### **E. CONCENTRACIÓN MÍNIMA DE GELIFICACIÓN (LGC)**

Se utilizó el método de Coffman y García (1977) con ligeras modificaciones. Se prepararon tubos de ensayo con suspensiones de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 y 30% (p/v) de harina en 5 mL de agua destilada. Se llevaron a 90°C en un baño con agua y se mantuvieron a esa temperatura durante 1 hora, seguido de enfriamiento con agua del grifo y enfriamiento adicional durante 2 horas a 4°C. La LGC fue aquella a la que la muestra no se cayó ni resbaló al invertir el tubo de ensayo.

### **2.4. Propiedades de los geles de harina de amaranto**

Los geles de amaranto se obtuvieron a la concentración mínima de gelificación obtenida previamente según el apartado 2.3.6.F. Para la obtención de los geles se pesaron 130 g de harina para 500 mL de gel y se dispersó en agua destilada, para a continuación llevar la mezcla a calentamiento con agitación a 90°C durante 10 minutos. La mezcla se vertió en 5 recipientes herméticos con unos 100 mL de gel, se taparon y se enfriaron a temperatura de 4°C durante 24 horas. Todas las medidas de los geles se realizaron por quintuplicado.

#### **2.4.1. TEXTURA**

Se realizaron ensayos de compresión en un texturómetro Analizador Universal de Textura TA.XT2 (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK). Se realizó 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 1mm/s y de subida de 10 mm/s.

#### **2.4.2. pH**

El pH de los geles de harina de amaranto se midió usando un pHmetro (SevenEasy Metter Toledo GmbH, Metter Toledo GmbH, Suiza).

#### **2.4.3. COLOR**

El color de los geles de amaranto se determinó tal y como se ha descrito en el apartado 2.2.2.

### **2.5. Análisis estadístico**

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un análisis de la varianza (ANOVA) usando el programa Statgraphics Centurion XVIII

(StatgraphicsTechnologies, Inc., Warrenton, VA).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Composición proximal de harina de amaranto

La humedad determinada en semillas de amaranto fue de 10,821% (0,001). Dicho valor es coherente con los resultados de Matías et al. (2018), y se encuentra por debajo del requisito marcado para la comercialización de cereales y semillas según la legislación (CAE, 2020).

Los resultados sobre la composición proximal de la harina de amaranto se representan en la Tabla 2.

**TABLA 2.** Valores medios (y desviación estándar) de la composición química de la harina de amaranto (g/100 g).

Agua	Proteína	Grasa	Cenizas	Carbohidratos*
10,623 (0,001)	21,91 (0,37)	9,03 (0,44)	4,31 (0,07)	54,13

\*Calculados por diferencia

En cuanto a la composición química de la harina de amaranto, la humedad en torno al 10,6% es coherente con los resultados descritos por otros autores, como los de Singh y Punia (2020) de 10,33% o Srichuwong et al. (2017) de 11,2%. Los contenidos en proteína fueron superiores a los descritos por otros autores, como los de Ramesh y Prakas (2020), Singh y Punia (2020) (Tabla 1). En cuanto a la grasa, que se encuentra en torno al 9%, también fue superior a los descritos por otros autores (Tabla 1). El contenido en cenizas ascendió en torno al 4%, algo superior al obtenido por otros autores (Tabla 1), y similar al encontrado por Bedón (2020). El amaranto, al igual que la mayoría de los cereales, contiene altas cantidades de carbohidratos, representando un 54% de la harina obtenida.

En general, la composición química de la harina de amaranto depende de la variabilidad genética y en menor medida de las condiciones ambientales y prácticas de cultivo (Singh y Punia, 2020), al igual que también está influenciada por el tamaño de partícula (Cotovanu y Mironeasa, 2021), lo cual puede justificar las diferencias encontradas.

#### 3.2. Distribución del tamaño de partícula de las harinas de amaranto

La distribución del tamaño de partícula proporciona información acerca de la dispersabilidad, la capacidad (velocidad) y uniformidad de absorción de agua de la harina. 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 et al., 2017). Y, en consecuencia, a características sensoriales como el aspecto, el sabor y la textura. La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos para la harina de amaranto analizada en este trabajo.

**TABLA 3.** Valores medios (y desviación estándar) del tamaño medio de partícula (D[4,3]) ( $\mu\text{m}$ ), del tamaño máximo de partículas para el 10%, 50% o 90% de la muestra (d(0,1), d(0,5) y d(0,9)) ( $\mu\text{m}$ ), y el número Span para la harina de amaranto seca (A) e hidratada (A<sub>h</sub>).

Muestra	Span	D[4,3]	d(0,1)	d(0,5)	d(0,9)
<b>A</b>	1,577 (0,008) <sup>b</sup>	297,562 (2,589) <sup>a</sup>	89,830 (0,878) <sup>a</sup>	278,893 (2,848) <sup>a</sup>	529,524 (4,415) <sup>a</sup>
<b>A<sub>h</sub></b>	2,403 (0,028) <sup>a</sup>	244,805 (4,958) <sup>b</sup>	10,595 (2,050) <sup>b</sup>	214,474 (4,903) <sup>b</sup>	525,958 (8,748) <sup>a</sup>

En una misma columna, valores con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95%. 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.

El tamaño de partícula obtenido por vía húmeda está muy relacionado con la composición de la muestra, sobre todo con la presencia de proteína (Siwatch et al., 2019), de fibra y almidón, componentes con una cierta capacidad de absorción y retención de agua. También la cantidad y morfología de los gránulos de almidón influye en la absorción de agua y, por lo tanto, en el tamaño de partícula obtenido por vía húmeda. Cuanto más redondeados y pequeños sean los gránulos de almidón de dicha harina, tendrán una mayor solubilidad (Bressi et al., 2017). En el caso del amaranto, los gránulos de almidón son de forma poligonal y muy pequeños, del orden de 0,5-2,5  $\mu\text{m}$  de diámetro (Srichuwong et al., 2017), por lo que aumenta la capacidad de retención de agua por el gránulo.

Así, se esperaba que el tamaño medio de partícula (D [4,3]) y de los valores del tamaño máximo de partículas para el 10, 50 o 90% de la muestra fueran significativamente superiores ( $p < 0,05$ ) para la harina de amaranto húmeda. Sin embargo, no ha sido así, lo que podría deberse a la tendencia al apelmazamiento detectada en la harina empleada, lo que impediría el correcto acceso del agua a dichos componentes. De hecho, esto podría ser responsable a su vez de la mayor heterogeneidad en la distribución de tamaños observada en el análisis por vía húmeda (valor significativamente mayor del span,  $p < 0,05$ ).

### 3.3. Densidad aparente de la semilla y harina de amaranto

La densidad aparente de las semillas de amaranto fue de 0,808 (0,008)  $\text{g}/\text{cm}^3$ , valor similar al obtenido por Malik et al. (2021). El valor para la harina de amaranto fue de 0,641 (0,011)  $\text{g}/\text{cm}^3$ , en concordancia con los resultados de Jain y Grewal (2015).

### 3.4. pH de la harina de amaranto

El valor de pH de las muestras es importante, ya que puede inducir cambios conformacionales en las proteínas. Según Janssen et al. (2017), a

pH entre 8 y 11 se puede producir desnaturalización de las proteínas, y a pH entre 9 y 11, agregación de proteínas. La solubilidad de las proteínas depende del pH de la muestra, por lo que el pH condiciona sus propiedades funcionales (emulsionantes, gelificantes y espumantes), ya que dependen de su solubilidad debido a que sólo las fracciones solubles de las proteínas se encuentran involucradas en éstas. Dichas propiedades aumentan sustancialmente cuando el pH se encuentra entre 5 y 7 (Janssen et al., 2017).

En el caso de las proteínas de amaranto, a pH inferior a 6,1 se produce hidrólisis proteica; cuanto más ácido sea el pH, ésta se dará en mayor medida, dando lugar a fragmentos pequeños de proteína y poco estables, viéndose disminuida su capacidad de difusión a la interfase aire-agua o aceite-agua, ya que son demasiado pequeños para formar espumas o emulsiones estables. La máxima solubilidad de las proteínas del amaranto se sitúa a un pH a partir de 6,1, ya que disminuye la hidrofobicidad de la superficie de la proteína, aumentando su solubilidad (Janssen et al., 2017).

El valor obtenido para la harina de amaranto evaluada en este trabajo ascendió a 6,71 (0,04). Por tanto, nos encontramos dentro del rango de solubilidad máxima de las proteínas, aumentando las posibilidades de uso en la industria alimentaria al tener previsiblemente buenas propiedades emulsionantes, gelificantes y espumantes.

### 3.5. Propiedades funcionales de la harina de amaranto

Los resultados de las propiedades funcionales de la harina de amaranto se presentan en la Tabla 4.

**TABLA 4.** Valores medios (y desviaciones estándar) de las propiedades funcionales de la harina de amaranto.

WHC (g agua/g harina)	FAC (g aceite/g harina)	FC (%)	FS (%)	SC (mL/g)	LGC (%)
1,83 (0,06)	1,56 (0,20)	18,39 (1,39)	76,39 (5,13)	3,13 (0,103)	26,22 (0,67)

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.

#### 3.3.1. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (WHC) Y DE GRASA (FAC)

La capacidad de retención de agua es una propiedad esencial para productos en los que se requiera una buena viscosidad, como masas panarias, pastas, galletas, etc., pues permite agregar mayor cantidad de agua a la receta para mejorar las características de manipulación de la masa (Shevkani et al., 2014). También es importante en productos cárnicos, sopas o salsas pues influirá en sus características organolépticas y rendimientos.

El valor de WHC para la harina de amaranto fue de 1,83, algo superior al obtenido por Ramesh y Prakash (2020), que fue de 1,51 (0,007). Este

parámetro está relacionado con las interacciones entre las proteínas y el agua, ya que cuanto mayor sea la cantidad de proteínas o exista una mayor cantidad de aminoácidos polares, se permite que ocurran más interacciones con el agua (Traynham et al., 2007). En efecto, el contenido proteico en el amaranto evaluado (21,912%) es superior al observado por Ramesh y Prakash (2020) (14,7%). Por otra parte, según Valdez et al. (2020), existe una relación entre el WHC y el contenido en amilosa, de forma que la capacidad de retención decrece cuando se incrementa el contenido de amilosa, por el menor grado de disponibilidad de los sitios de unión con el agua dentro del gránulo de almidón. Por tanto, parece que el contenido de amilosa en la harina de evaluada podría ser menor que en la descrita por estos autores.

En cuanto a la capacidad de absorción de aceite (FAC), el valor obtenido para la harina de amaranto evaluada fue similar al obtenido por Shevkani et al. (2014). El FAC de las harinas se atribuye a la habilidad que tienen las proteínas para ligar lípidos, a las interacciones entre las cadenas laterales de aminoácidos no polares y las cadenas hidrocarbonadas de los lípidos (interacciones hidrófobas). La FAC determina la sensación en la boca y la retención de sabor de los productos.

Así, la harina de amaranto puede ser válida para aplicaciones en embutidos, salchichas, sopas, masas, natillas y productos horneados, donde pueden proporcionar cuerpo, espesamiento y viscosidad (Shevkani et al., 2013).

### 3.3.2.CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (SC)

El resultado obtenido para la capacidad de hinchamiento de la harina de amaranto se muestra en la Tabla 4. El resultado fue de 3,13 mL/g, mayor al comentado por otros autores (2,54 mL/g o 2,48 mL/g según Singh y Punia, 2020 y Mariotti et al., 2009, respectivamente). La capacidad de hinchamiento de las harinas depende del tamaño de las partículas, la composición química y la variedad (Chandra y Samsher, 2013; Traynham et al., 2007), puesto que está directamente relacionado con la capacidad de absorber agua. Así, cuanto menor sea el tamaño de partícula de la harina (mayor relación superficie/volumen), cuanto mayor sea el contenido proteico y menor la proporción de amilosa, más capacidad de hinchamiento tendrá la harina.

### 3.3.3.CAPACIDAD ESPUMANTE (FC) Y ESTABILIDAD DE LA ESPUMA (FS)

La espuma es un coloide de muchas pequeñas burbujas de aire rodeadas por una fina película líquida. La harina produce espuma cuando se bate, principalmente, debido a la presencia de proteínas tensioactivas, que reducen la tensión superficial en la interfaz aire-líquido, evitan la coalescencia de las burbujas y dan espuma estabilizada. La capacidad de formación de espuma está relacionada con la capacidad de las proteínas para difundirse rápidamente a la interfase, reorganizarse y formar una película viscosa sin agregación o coagulación excesivas, mientras que la estabilidad de la espuma se ve influida por la cohesión intermolecular y la viscosidad de esta película interfacial. La FC indica el aumento porcentual de volumen después del

batido, mientras que la FS refleja la capacidad de la proteína para mantener la espuma (Shevkani et al., 2014).

Los resultados de la capacidad espumante y de la estabilidad de la espuma de la harina de amaranto se representan en la Tabla 4. Los valores obtenidos fueron algo inferiores a los descritos por Ramesh y Prakash (2020) (20% para la FC y 90,5% para la FS), si bien la FC concuerda con la descrita por Chandra et al. (2015). Tal como se ha comentado en el apartado 3.4., en el presente estudio el pH de la harina evaluada es de 6,71 (0,04). Según Shevkani et al. (2013), en el caso del amaranto, la FC más alta se registra a un pH de 7, ya que se trata del pH a la que se encuentran disueltas una mayor cantidad de proteínas, y sólo las fracciones de proteínas solubles están involucradas en la formación de espuma. Por lo que el pH no parece ser el responsable de la menor capacidad espumante observada.

Se aprecia una relación inversa entre la capacidad espumante y la estabilidad de la espuma, ya que la harina de amaranto evaluada se trata de una harina con baja capacidad de formación de espuma y alta estabilidad. La baja espumabilidad del amaranto puede estar relacionada con proteínas globulares altamente ordenadas (Chandra et al., 2015) que no forman fácilmente grandes burbujas de aire rodeadas por una película de proteína menos flexible. Sin embargo, estas burbujas de aire podrían colapsar más difícilmente y, en consecuencia, aumentar la estabilidad de la espuma (Chandra et al., 2015).

Por lo tanto, estos resultados indican que la harina de amaranto evaluada no es óptima para su uso como agentes aireadores en alimentos como coberturas batidas, postres helados y bizcochos.

#### 3.3.4. CONCENTRACIÓN MÍNIMA DE GELIFICACIÓN (LGC)

De acuerdo con la Tabla 4, la concentración mínima de gelificación de la harina de amaranto fue del 26,22%. La gelificación consiste en una agregación de moléculas proteicas desnaturalizadas. En el caso del amaranto, las albúminas y globulinas representan sus principales proteínas de almacenamiento, con porcentajes de 44,59% y 43,14%, respectivamente, de la proteína total (Singh y Punia, 2020).

Según Adebowale et al. (2005), existe una correlación directa entre la concentración mínima de gelificación y los niveles de globulina en las semillas, ya que conseguir la desnaturalización de las albúminas es relativamente fácil, pero para conseguir la gelificación de las proteínas de naturaleza globular suele ser requerida una concentración relativamente alta (Okezie y Bello, 1998). Las proteínas globulares tienden a formar estructuras de red de gel tras el calentamiento por encima de una temperatura mínima de despliegue, que debe estar cerca de sus temperaturas de transición endotérmica, que, en el caso del amaranto, se sitúa entre 68,1 y 98,8°C (Shevkani et al., 2013).

La alta LGC del amaranto también puede ser debida a que el amaranto analizado contiene una alta cantidad de proteínas (21,912%) y de carbohidratos (54,127), y la capacidad de gelificación de las harinas está influenciada por la competencia física por el agua entre la gelificación de las proteínas y la gelatinización del almidón. Además, el alto contenido de

proteínas y lípidos puede afectar a la gelatinización, ya que se pueden formar complejos en la superficie de los gránulos de almidón, actuando como barreras físicas que dificultan el transporte de moléculas de agua al interior del gránulo (García et al., 2021). Por lo tanto, los resultados obtenidos indican que se requiere una cantidad importante de este pseudocereal para gelificar, y por tanto para su uso en la preparación de alimentos tipo púdines y salsas, que requieren espesamiento y gelificación. Sin embargo, su capacidad para gelificar convierte al amaranto en una materia prima interesante para el desarrollo de masas con una relevante proporción de harina en su formulación y/o que vayan a soportar temperaturas suficientes para la gelificación durante su procesado o consumo. Tal es el caso, por ejemplo, de determinados productos horneados, pastas alimenticias o pastas finas.

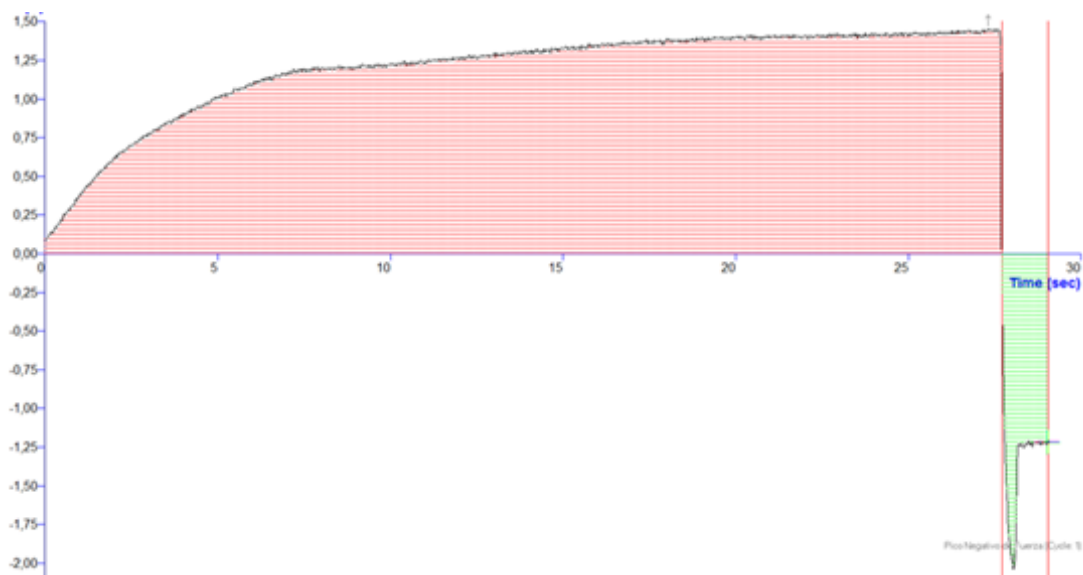
### 3.4. Propiedades de los geles de harina de amaranto

#### 3.4.1. pH

Al igual que en el caso de la harina, el pH determinado en los geles de amaranto, 6,60 (0,04), se situó en valores adecuados para conseguir una correcta solubilización proteica (6,1, Janssen et al., 2017), y por lo tanto una correcta gelificación.

#### 3.4.3. ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA

Los ensayos de compresión realizados según el método descrito en el apartado 2.4.1 dieron lugar al resultado de la figura 1.



**FIGURA 1.** Ejemplo de la curva ensayo de compresión del gel de amaranto y su análisis: Fuerza (N) vs Tiempo (s).

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de compresión realizados sobre los geles de amaranto a una concentración del 26% p/v.



**TABLA 5.** Valores medios (y desviaciones estándar) de los resultados del ensayo de compresión de los geles de amaranto.

$F_{máx}^+$ (N)	$A^+$ (N*s <sup>-1</sup> )	$F_{máx}^-$ (N)	$A^-$ (N*s <sup>-1</sup> )
1,46 (0,03)	33 (1,4)	-2,008 (0,3)	-2,03 (0,4)

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

En la región positiva, la fuerza máxima alcanzada ( $F_{máx}^+$ ) se corresponde con la firmeza del gel, el área bajo la curva hasta dicho punto ( $A^+$ ) se corresponde con la consistencia de la muestra. Sin embargo, la región negativa, producida por el retorno de la sonda, es resultado del peso sobre el disco al regresar, que indica la resistencia a fluir de la sonda. La máxima fuerza negativa ( $F_{máx}^-$ ) 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 ( $A^-$ ) se corresponde con el trabajo de cohesión, que aporta resistencia a la extracción, lo cual indica la viscosidad de la muestra.

Por lo tanto, si nos fijamos en los valores de la Tabla 5, el gel formado por la harina de amaranto se caracteriza por ser un gel poco firme y poco consistente, con una baja cohesividad (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 amaranto analizada. 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). Cabe recordar en este punto que el contenido de amilosa en el almidón de la harina evaluada no parece ser alto, y en este sentido la capacidad de configurar dicha red tridimensional estaría limitada. Por otra parte, en la gelificación de proteínas globulares, como son las mayoritarias en la harina de amaranto (globulinas y albúminas), se han descrito tres fases (Aguilar y Vélez, 2013): 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 procesamiento 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 (Marcone y Yada, 1992), 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 amaranto 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.

#### 3.4.4. ANÁLISIS DE COLOR

Los resultados de las coordenadas de color CIEL\*a\*b\* y los atributos de color para las semillas, la harina y los geles de amaranto se muestran en la Tabla 6.

**TABLA 6.** Valores medios (y desviación estándar) de las coordenadas CIE L\*a\*b\* y atributos de color de las semillas, harina y geles de amaranto obtenidos.

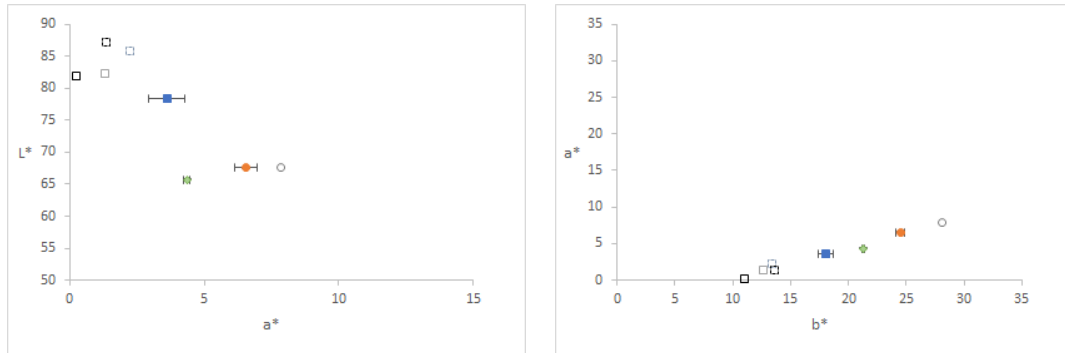
Muestra	L*	a*	b*	C*ab	h*ab
Semillas	67,6 (0,4) <sup>a</sup>	6,61 (0,06) <sup>b</sup>	24,52 (0,07) <sup>b</sup>	25,37 (0,06) <sup>a</sup>	75,02 (0,16) <sup>b</sup>
Harinas	78,4 (0,7) <sup>bb</sup>	3,62 (0,04) <sup>aa</sup>	18,0 (0,3) <sup>aa</sup>	78,67 (0,12) <sup>bb</sup>	18,4 (0,3) <sup>aa</sup>
Geles (26%)	66,4 (0,5) <sup>A</sup>	4,21 (0,13) <sup>A</sup>	21,0 (0,3) <sup>B</sup>	21,4 (0,3) <sup>A</sup>	78,7 (0,2) <sup>B</sup>

En una misma columna, valores con letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95% (letras minúsculas para comparar entre semillas y harinas; letras mayúsculas para comparar entre harinas y geles).

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 significativamente ( $p < 0,05$ ), 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. Los carotenoides son pigmentos liposolubles de origen vegetal, responsables de la gran mayoría de los colores amarillos, anaranjados o rojos presentes en los alimentos vegetales. Por otra parte, el proceso de gelificación conlleva una pérdida significativa ( $p < 0,05$ ) de la luminosidad (mayor opacidad) acompañada de una pureza de color inferior y un tono mayor (debido al aumento en la coordenada  $b^*$ , sin cambios en  $a^*$ ).

Con el fin de comparar los valores obtenidos con los reportados por otros autores, en la Figura 2 se presentan los diagramas  $L^*$  vs  $a^*$  y  $b^*$  vs  $a^*$  para las muestras analizadas junto a otras harinas de amaranto analizadas por Shevkani et al. (2014, 2013). Las diferencias encontradas parecen indicar que la harina de amaranto evaluada en este trabajo contiene mayor cantidad de pigmentos coloreados, con tonalidades rojas y amarillas, que la harina analizada por los otros autores, lo que disminuye la luminosidad a la muestra. Estas diferencias pueden ser debidas a que las muestras que utiliza dicho autor en sus ensayos han sido tamizadas por una luz de malla de 250  $\mu\text{m}$ ,

mientras que para el tamizado de la harina evaluada se ha empleado una luz de malla de 500  $\mu\text{m}$ . Cuanto menor sea la luz del tamiz, mayor es la cantidad de partículas provenientes de la cáscara retenidas, que son las que contienen más pigmentos, por lo que la fracción tamizada de la harina será menos coloreada y con una mayor luminosidad.



**FIGURA 2.** (a) Diagrama cromático  $L^*$  vs  $a^*$ , y (b) diagrama  $b^*$  vs  $a^*$ .

Donde: símbolos con relleno y color = muestras de amaranto analizadas (semillas ●, harinas ■ y geles ◆); símbolos sin relleno = harinas de amaranto de referencias consultadas (Shevkani 2013 (var. □; var. □) y Shevkani, 2014 (var. □; var. □)).

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación ayudan a establecer los usos alimentarios potenciales de los productos de harina de amaranto. Se ha demostrado, a través de la caracterización de las propiedades funcionales, que la harina de amaranto posee una alta capacidad de retención de agua. Por lo tanto, puede ser una harina útil en formulaciones de alimentos como salsas, sopas, masas y productos horneados, al aportar viscosidad contribuyendo a una textura suave. Además, se puede considerar una harina útil para la retención del sabor y mejora de la palatabilidad del alimento debido a su buena capacidad de absorción de grasa, deseable en panificación y productos derivados cárnicos. Sin embargo, la capacidad de formación de espuma es baja. Dado que la espuma contribuye a la suavidad, ligereza y dispersiones de sabor, los resultados obtenidos en el presente estudio indican que la harina de amaranto evaluada no puede ser utilizada como reemplazo de proteínas en aplicaciones alimentarias que requieran una alta espumabilidad y estabilidad (pasteles, batidos, helados, ...). Además, tiene una alta concentración mínima de gelificación, por lo que se trata de una harina poco útil para la elaboración de alimentos tipo púdines y salsas, que requieren espesamiento y gelificación. Para este caso, se recomienda rebajar el pH hasta valores cercanos al punto isoeléctrico de las proteínas del amaranto.

## 5. REFERENCIAS

- AACC (2000) Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th edn. AAC, St. Paul, Minn.
- Adebowale Y.A., Adeyemi I.A. and Oshodi A.A. 2005. Functional and physicochemical properties of flours of six mucuna species. *African Journal of Biotechnology*, 4 (12): 1461-1468.
- Aguilar-Raymundo V.G. y Vélez-Ruiz J. F. Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) 2013. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7 (2): 25-34.
- Ahn H.J., Kim J.H. and Ng P.K.W. 2005. Functional and thermal properties of wheat, barley and soy flours and their blends treated with a microbial transglutaminase. *Journal Food Science*, 70: 380-386.
- Alu'datt M.H., Rababah T., Ereifeif K., Alli I., Alrababah M.A., Almajwal A., Masadeh N. and 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.
- Álvarez Jubete L., Arendt E.K. and Gallagher E. 2010. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends Food Sci. Technol*, 21: 106–113.
- Bedón Miranda V. y Hernández Carrión M. 2020. Efecto del reemplazamiento parcial de harina de trigo por harina de amaranto en las propiedades fisicoquímicas de una torta sin azúcar. TFG. Universidad de los Andes. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/48962>
- Bressi G.B., Martín Esparza M.E. y Albors Sorolla A.M. 2017. Aspectos tecnológicos y nutricionales de pasta sin gluten a base de harina de garbanzo y harina de chufa. TFM. Universidad Politécnica de Valencia.
- CAE, 2020. Decreto 2484/1967, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el texto del Código Alimentario Español. Actualizado a 10/12/2020. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/d/1967/09/21/2484/con>
- Chandra S. y Samsher. 2013. Evaluación de propiedades funcionales de diferentes harinas. *Revista africana de investigación agrícola*; 8 (38): 4849-4852.
- Chandra S., Singh S. y Kumari D. 2015. Evaluación de las propiedades funcionales de harinas compuestas y atributos sensoriales de galletas de harinas compuestas. *J Food Sci Technol*; 52 (6): 3681-3688.
- Coffmann C.W. and García V.V. 1977. Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. *J. Food Technol. (U.K.)*, 12: 473.
- Cotovanu y Mironeasa. Impacto del nivel de adición de distintos tamaños de partícula de amaranto en la reología de la masa de harina de trigo y las características del pan. *Alimentos*. 2021; 10 (7): 1539.
- García Valle D.E., Agama Acevedo E., Núñez Santiago M.C., Álvarez Ramírez J. y Bello Pérez L.A. 2021. La pregelatinización por extrusión mejora la textura, la viscoelasticidad y la digestibilidad in vitro del almidón de las harinas de mango y amaranto. *Revista de alimentos funcionales*; 80.
- Heywood A.A., Myers D.J., Bailey T.B. and Johnson L.A. 2002. Functional properties of low-fat soy flour produced by an extrusion-expelling system. *JAACS* 79: 12.
- Huamanchumo-Prado W.J., Martín Esparza M.E. y Albors Sorolla A.M. 2020. Pseudocereales andinos: Valor nutritivo y aplicaciones para alimentos libres de gluten. TFM. Universidad Politécnica de Valencia.
- Jain A. and Grewal R.B. 2015. Development and quality evaluation of value added extruded snacks by supplementing Amaranth and Guar gum in mixed cereal flour formulation constituting maize, rice and wheat. *International Journal of Recent Scientific Research*, 6 (9): 6221-6227.
- Janssen F., Pauly A., Rombouts I., Jansens K.J.A., Deleu L.J. and Delcour J.A. 2017. Proteins of amaranth (*Amaranthus* spp.), buckwheat (*Fagopyrum* spp.) and quinoa (*Chenopodium* spp.): A food science and technology perspective. *Food Science and Food Safety*; 16: 39-58.
- Lamacchia C., Camarca A., Picascia S., Di Luccia A. and Ginafrani C. 2014. Cereal based

- gluten-free food: How to reconcile nutritional and technological properties of wheat proteins with safety for celiac disease patients. *Nutrients*, 6: 575-590.
- Malik A., Khamrui K. y Prasad W. 2021. Efecto del tratamiento hidrotérmico sobre las propiedades físicas del amaranto, un pseudocereal subutilizado. *Alimentos futuros*; 3.
- Marcovecchio, M. F., y Yada R. Y. Study of the charge profile and covalent subunit association of the oligomeric seed globulin from *Amaranthus hypochondriacus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1992; 40: 385-389.
- Mariotti M., Lucisano M., Pagani M.A. y Ng P.K.W. El papel del almidón de maíz, la harina de amaranto, el aislado de guisantes y la harina de psyllium en la reología. propiedades y la ultraestructura de masas sin gluten. *Food Research International*. 2009; 42: 963-975.
- Matías-Luis G., Hernández B.R., Peña V., Torres N.G., Espinoza V.A y Ramírez L. 2018. Usos actuales y potenciales del amaranto (*Amaranthus spp.*). *JONNPR*; 3 (6):423-436.
- Okaka J.C. and Potter N.N. 1977. Functional and storage properties of cowpea wheat our blends in bread making. *Journal of Food Science*, 42: 822-833.
- Okezie and Bello. 1998. Physicochemical and functional properties of winged bean flour and isolate compared with soy isolate. *Journal of Food Science*; 53 (2): 450-454.
- Onuma B.O. and Bello A.B. 1988. Physicochemical and Functional Properties of Winged Bean Flour and Isolate Compared with Soy Isolate. *Journal of Food Science*, 53: 2.
- Pérez Rea D. and Antezana Gómez R. 2018. Chapter 12: The Functionality of Pseudocereal Starches. Pag: 509-542. In: *Starch in Food (Second Edition)*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.
- Ramesh D. y Prakash J. 2020. Propiedades nutricionales y funcionales de las fracciones de harina de grano de amaranto obtenidas por tamizado diferencial. *Prog. Chem. Bioche. Res.*; 3 (3): 272-286.
- Shevkani K., Singh N., Rana J.C. y Kaur A. 2013. Relación entre las propiedades fisicoquímicas y funcionales en aislados de proteína del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*; 49: 541-550.
- Shevkani K., Singh N., Kaur A. and Rana J.C. 2014. Physicochemical, Pasting, and functional properties of Amaranth seed flours: effects of lipids removal. *Institute of Food Technologists. Journal of Food Science*; 79 (7).
- Sindhu R. and Khatkar B.S. 2019. Pseudocereals: Nutritional Composition, Functional Properties and Food Applications (edited by S.Deka, D. Seth and N. Hulle). *Food Bioactives: Functionality and Applications in Human Health*; 1: 129-147.
- Singh A. y Punia D. 2020. Caracterización y valores nutritivos de semillas de amaranto. *Revista actual de ciencia y tecnología aplicadas*; 39 (3): 27-33.
- Siwach M., Yadav R., Yadav B. Chemical, physicochemical, pasting and microstructural properties of amarath (*Amaranthus hypochondriacus*) flour as affected by different processing treatments. *Qual. Assur. Saf. Crop. Foods*. 2019; 11: 3-13.
- Srichuwong S., Curti D., Austin S., King R., Lamothe L. y Gloria H. et al. 2017. Propiedades fisicoquímicas y digestibilidad del almidón de sorgos integrales, mijo, quinua y harina de amaranto, afectados por el almidón y los componentes distintos del almidón. *Química de los alimentos*; 233: 1-10.
- Traynham T.L., Myers D.J., Carriquiry A.L. y Johnson L.A. 2007. Evaluación de la capacidad de retención de agua para mezclas de harina de trigo y soja. *J Amer Oil Chem Soc*; 84: 151-155.
- USDA. 2020. NAL Agricultural Glossary. National Agricultural Library. <https://agclass.nal.usda.gov/mtwdk.exe?s=1&n=1&y=0&l=91&k=glossary&t=2&w=ps-eudocerales>
- Valdez-Arana J.C., Steffolani M.E., Carrasco R.R., Pérez G.T. and Condezo-Hoyos L. 2020. Physicochemical and functional properties of isolated starch and their correlation with flour from the Andean Peruvian quinoa varieties. *Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú. International journal of biological macromolecules*, 147: 997-1007.
- Ventureira J. L.; Añón M. C. y Martínez E. N. 2010. Propiedades estructurales y funcionales de preparados proteicos de amaranto modificados y soja-amaranto. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata.