

Análisis del perfil de textura de panes sin gluten a base de harinas de arroz y quinoa modificada

Yamila Gisela Sánchez^{1,2}, Inés Bodmer¹, Eunice Valentina Contigiani^{1,2}, María Ana Loubes^{1,2*}

1. Departamento de Industrias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires, Intendente Güiraldes 2160, Ciudad Universitaria, C1428EGA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
2. Instituto de Tecnología de Alimentos y Procesos Químicos, CONICET - UBA, Intendente Güiraldes 2160, Ciudad Universitaria, C1428EGA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

*E-mail: maeelar@yahoo.com.ar

PALABRAS CLAVES

TPA
Pseudocereal
Harina modificada
Molienda de alta energía

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue desarrollar una formulación de pan sin gluten con buena calidad tecnológica y nutricional, incorporando harina de quinoa modificada como sustituto parcial de harina de arroz. Para ello, se utilizó quinoa roja desaponificada, procesada en un molino planetario de bolas para obtener una fracción rica en proteínas y grasas. Se elaboraron panes con sustituciones del 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de harina de arroz por harina de quinoa, junto con un control sin quinoa. Se realizó un análisis del perfil de textura de la migra (TPA) en una máquina universal de ensayos, obteniendo parámetros como dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad. Se observaron diferencias significativas en todos los parámetros. La adhesividad no se registró en ninguna formulación. El 15% de sustitución generó la migra más blanda, mientras que las formulaciones con 10% y 25% presentaron buena cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad. La formulación con 30% presentó los valores más bajos de estos parámetros, indicando una textura menos deseable. Se concluye que la formulación con 25% de harina de quinoa modificada resulta la más adecuada, por su equilibrio entre textura y valor nutricional, contribuyendo al desarrollo de productos sin gluten más saludables y funcionales.

Texture profile analysis of gluten-free breads formulated with rice flour and modified quinoa flour

KEYWORDS

TPA
Pseudocereal
Modified flour
High-energy milling

ABSTRACT

The aim of this study was to develop a gluten-free bread formulation with good technological and nutritional quality by incorporating modified quinoa flour as a partial substitute for rice flour. For this purpose, dehulled red quinoa was processed in a planetary ball mill to obtain a fraction rich in proteins and fats. Breads were formulated by replacing 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% of rice flour with quinoa flour, along with a control without quinoa. A texture profile analysis (TPA) of the crumb was performed using a universal testing machine to obtain parameters such as hardness, cohesiveness, springiness, gumminess, and chewiness. Significant differences were observed in all parameters. Adhesiveness was not detected in any formulation. The 15% substitution resulted in the softest crumb, while the 10% and 25% formulations showed good cohesiveness, springiness, gumminess, and chewiness. The 30% formulation had the lowest values for these parameters, indicating a less desirable texture. It is concluded that the formulation with 25% modified quinoa flour is the most suitable, due to its balance between texture and nutritional value, contributing to the development of healthier and more functional gluten-free products.

1. Introducción

La enfermedad celíaca y otras condiciones que requieren dietas sin gluten han impulsado el desarrollo de productos panificados libres de esta proteína. Sin embargo, la ausencia de la red viscoelástica que el gluten provee representa un desafío tecnológico, ya que afecta negativamente la textura, el volumen, la elasticidad y la aceptabilidad sensorial de dichos productos (Foschia et al., 2016). Para mitigar estas limitaciones, se ha recurrido al uso de materias primas alternativas, como pseudocereales, fibras y proteínas vegetales, que aportan propiedades funcionales y valor nutricional (Alvarez-Jubete et al., 2009; Alvarez-Jubete et al., 2010). Entre estas alternativas, la incorporación de hidrocoloides y almidones modificados también ha mostrado mejoras en la estructura y la retención de humedad en panes sin gluten (Sabanis y Tzia, 2011; Ziobro et al., 2012).

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un pseudocereal andino de alto valor nutricional, que contiene todos los aminoácidos esenciales, presenta buena digestibilidad y posee propiedades funcionales destacadas, como la capacidad de retención de agua y formación de espuma (Repo-Carrasco y Serna, 2011; Repo-Carrasco et al., 2003). La inclusión de su harina en formulaciones sin gluten ha demostrado efectos positivos sobre la calidad nutricional y, en ciertos casos, sobre parámetros tecnológicos como el volumen específico o la textura (Sciarini et al., 2010). No obstante, niveles elevados de sustitución pueden inducir defectos estructurales y sensoriales, como una textura más densa o un sabor amargo no deseado (Burešová et al., 2017).

La modificación física de materias primas mediante tecnologías como la molienda de alta energía permite obtener fracciones enriquecidas en componentes específicos (proteínas, lípidos) y modificar sus propiedades funcionales, facilitando su incorporación en matrices panificables sin gluten (Gómez y Martínez, 2016; Sánchez et al., 2024). Estas técnicas pueden mejorar la capacidad de la harina de quinoa para interactuar con otros ingredientes, optimizando la estructura del pan. Sin embargo, existen escasos antecedentes sobre el impacto textural de la incorporación de harina de quinoa modificada en panes sin gluten elaborados a base de harina de arroz.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar una formulación de pan sin gluten con adecuada calidad tecnológica y nutricional, evaluando el efecto de la sustitución parcial de harina de arroz por harina de quinoa modificada sobre el perfil de textura de la migra. Se planteó como hipótesis que niveles moderados de sustitución (10–25 %) mejorarían los atributos texturales sin comprometer la integridad estructural del producto, en comparación con formulaciones sin quinoa o con niveles más altos de sustitución.

2. Materiales y métodos

Materias Primas

Los panes fueron elaborados a base de harinas de arroz y quinoa. Se utilizó una harina de arroz comercial (Kapac Alimentos Específicos S.A., Argentina) con 10,2% de humedad, 4,2% de proteínas, 82% de carbohidratos, 1,6% de grasa, 0,45% de cenizas y 1,6% de fibra (AACC, 2000). Esta harina presentó una distribución multimodal del tamaño de partícula (determinada por tamizado), con un valor medio de $220 \pm 22 \mu\text{m}$ y un índice de dispersión de $1,37 \pm 0,2$.

La harina modificada de quinoa se obtuvo a partir de semillas desaponificadas de quinoa roja (Naccato, Buenos Aires), molidas en un molino planetario de bolas Retsch PM100 (Retsch GmbH, Haan, Alemania) a 350 rpm durante 30 minutos (Sánchez et al., 2024). Se utilizó una fracción de molienda con un tamaño de partícula medio de $185 \pm 37 \mu\text{m}$ y un índice de dispersión de $1,83 \pm 0,3$. Esta fracción presentó 10,6% de humedad, 55,8% de carbohidratos, 8,3% de fibra, 2,4% de cenizas, 14,9% de proteínas y 7,9% de grasa (AACC, 2000).

Las formulaciones también incluyeron almidón de mandioca (Dimax Alimentos, Argentina), leche en polvo (La Serenísima, Argentina), huevo en polvo (Ovofull, Argentina), aceite de girasol (Natura, AGD Alimentos Naturales, Argentina), levadura seca (Calsa, Argentina), goma xántica (Onza de Oro, Condiment S.A., Argentina), sal (Dos Anclas, Argentina) y azúcar (Ledesma, Argentina).

Formulación y elaboración de los panes

La formulación control incluyó: harina de arroz (384 g), almidón de mandioca (16 g), leche en polvo (84 g), azúcar (12 g), huevo en polvo (10 g), sal (8 g),

levadura seca (8 g), goma xántica (8 g), agua bidestilada (468 g) y aceite de girasol (40 ml). Las demás formulaciones se prepararon reemplazando parcialmente la harina de arroz por harina de quinoa modificada en proporciones del 10 %, 15 %, 20 %, 25 % y 30 %.

La elaboración de los panes se realizó utilizando una panificadora (Liliana SRL, Argentina). El proceso incluyó las siguientes etapas: mezclado (31 rpm durante 25 minutos), fermentación (25 °C durante 20 minutos, 32 °C durante 25 minutos y 38 °C durante 45 minutos) y horneado (121 °C durante 65 minutos). En la Figura 1 se presenta un esquema general del proceso, que abarca desde el procesamiento de las semillas de quinoa hasta la elaboración de los panes, y en la Figura 2 se muestran los productos obtenidos para cada formulación. Se elaboraron al menos dos réplicas por cada una de ellas.

Análisis del Perfil de Textura

Los panes recién horneados se dejaron estabilizar a temperatura ambiente, y las pruebas se realizaron dentro de las 24 horas posteriores a la cocción. El análisis del perfil de textura (TPA) del pan sin gluten se llevó a cabo utilizando una máquina de ensayos universal Instron, modelo 3345 (Canton, Massachusetts, Estados Unidos), equipada con una celda de carga de 50 N. Se empleó una sonda cilíndrica de 30 mm de diámetro para comprimir, dos veces, cilindros de miga (diámetro: 20 mm, espesor: 15 mm) a una velocidad de 50 mm/min, alcanzando una deformación del 70 % (Figura 3). Los parámetros de textura analizados incluyeron dureza (D), adhesividad (A), cohesividad (C), elasticidad (E), gomosidad (G) y masticabilidad (M), calculados mediante el software provisto por el fabricante. Los valores reportados corresponden al promedio de al menos 12 repeticiones por formulación.



Figura 1. Esquema del proceso de obtención de los panes sin gluten enriquecidos con harina de quinoa modificada.

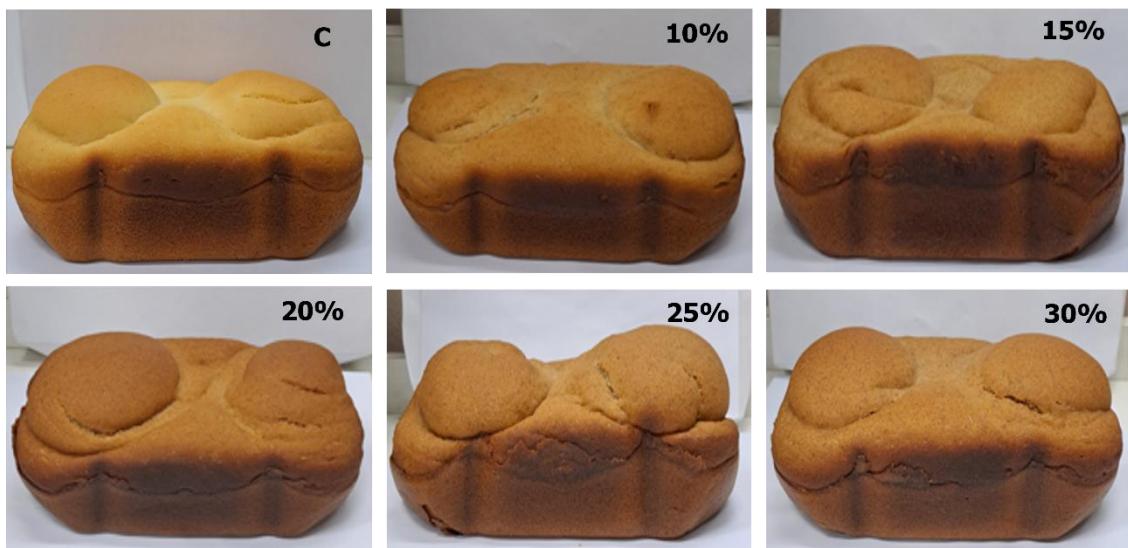


Figura 2. Panes sin gluten elaborados con diferentes niveles de sustitución de harina de arroz por harina de quinoa modificada (0 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % y 30 %).

Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como media \pm desviación estándar (DS). Para evaluar el efecto del porcentaje de sustitución de la harina de quinoa modificada sobre el perfil textural de los panes sin gluten, se realizó un análisis multivariado de la varianza (MANOVA) de una vía, considerando simultáneamente las siguientes variables dependientes: dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad.

Cuando se observaron efectos multivariados significativos ($p < 0,05$), se realizaron análisis univariados posteriores (ANOVA de una vía) para cada parámetro, seguidos por comparaciones múltiples mediante la prueba LSD (Least Significant Difference), dado que el análisis multivariado previo permitió controlar el error global de tipo I.

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software Statgraphics Centurion versión XVI (Statistical Graphics Corporation, USA), con un nivel de significancia del 5 %.



Figura 3. Ensayo de perfil de textura (TPA) de la miga de pan sin gluten mediante compresión con sonda cilíndrica.

3. Resultados y Discusión

Perfil de textura de la miga del pan

La textura de la miga es un atributo crítico de calidad en el pan, especialmente en productos sin gluten, donde lograr características texturales deseables sigue siendo un desafío debido a la ausencia de gluten. Por ello, su evaluación es esencial para la optimización del producto y la aceptación del

consumidor (Matos & Rosell, 2015). En la Figura 4 se presentan los perfiles promedio de fuerza-tiempo obtenidos durante el análisis TPA, los cuales ilustran las diferencias mecánicas entre formulaciones en cuanto a resistencia inicial y comportamiento tras la compresión.

Como se muestra en la Tabla 1, se observó un efecto significativo del nivel de sustitución de harina de quinoa sobre el perfil de textura de la migra. Todos los parámetros analizados presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), con excepción de la adhesividad, que no se detectó en ninguna formulación.

Las migas más firmes correspondieron al control y a la formulación con 20 % de sustitución de harina de quinoa ($D_{control} = 18,91 \pm 1,29$ N; $D_{20\%} = 18,35 \pm 2,57$ N), mientras que la migra más blanda se observó en la muestra con 15 % de sustitución ($D_{15\%} = 11,80 \pm 1,60$ N).

Estos resultados coinciden parcialmente con los reportados por Wang et al. (2015), quienes señalaron que un mayor contenido de quinoa tiende a incrementar la firmeza y masticabilidad de panes a base de trigo, aunque el efecto depende del tipo de producto.

La cohesividad y la elasticidad siguieron tendencias similares, con los valores más altos en las muestras con 10 % y 25 % de sustitución ($C_{10\%} = 0,11 \pm 0,02$; $E_{10\%} = 0,59 \pm 0,05$; $C_{25\%} = 0,10 \pm 0,02$; $E_{25\%} = 0,54 \pm 0,05$).

Estos resultados sugieren una textura más elástica y menos quebradiza, característica deseable en panes sin gluten. Mejoras comparables en parámetros texturales con sustituciones moderadas de quinoa (hasta 25 %) también fueron reportadas por Elgeti et

al. (2014), quienes lo atribuyen a la alta capacidad de retención de agua y formación de espuma del almidón y proteínas de la quinoa.

La mayor gomosidad se registró en el pan control, seguida por las formulaciones con 10 % y 25 % de sustitución ($G_{control} = 1,54 \pm 0,22$ N; $G_{10\%} = 1,37 \pm 0,14$ N; $G_{25\%} = 1,32 \pm 0,19$ N).

La masticabilidad no presentó diferencias significativas entre estas tres formulaciones, aunque mostraron los valores más altos dentro del estudio ($M_{control} = 0,82 \pm 0,17$ N; $M_{10\%} = 0,81 \pm 0,12$ N; $M_{25\%} = 0,71 \pm 0,15$ N).

Estos resultados indican que niveles bajos a moderados de sustitución no comprometen la integridad estructural ni el esfuerzo de masticación, en concordancia con los hallazgos de Turkut et al. (2016), quienes observaron que panes con hasta 25 % de harina de quinoa mantenían buenas propiedades sensoriales y texturales.

Por el contrario, el nivel de sustitución del 30 % resultó en una textura notablemente inferior, con valores significativamente más bajos de cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad ($C_{30\%} = 0,02 \pm 0,01$; $E_{30\%} = 0,25 \pm 0,08$; $G_{30\%} = 0,31 \pm 0,13$ N; $M_{30\%} = 0,08 \pm 0,05$ N).

Estos resultados sugieren que niveles elevados de harina de quinoa modificada pueden alterar negativamente la matriz de la migra, posiblemente debido a la dilución de la red de almidón de la harina de arroz y a la presencia predominante de componentes de quinoa con comportamiento de gelatinización distinto, como proponen Wang y Zhu (2016).

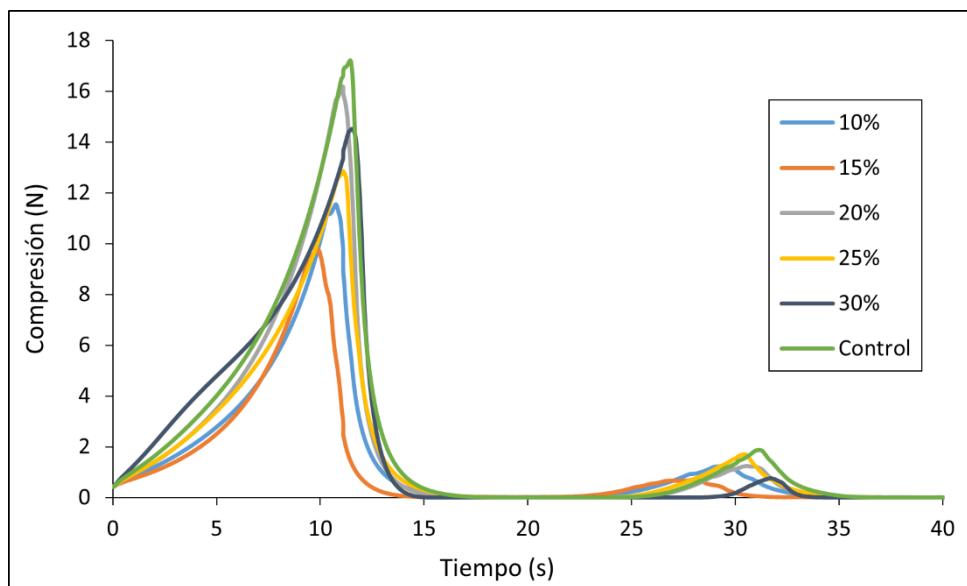


Figura 4. Perfiles promedio de fuerza-tiempo obtenidos en el análisis de textura (TPA) de las distintas formulaciones de pan sin gluten.

Tabla 1. Parámetros texturales de la miga del pan según el porcentaje de sustitución con harina de quinoa.

Muestra	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad (cm)	Gomosidad (N)	Masticabilidad (J)
Control	$18,9 \pm 1,3^d$	$0,08 \pm 0,01^{c,d}$	$0,53 \pm 0,05^c$	$1,54 \pm 0,22^e$	$0,82 \pm 0,17^d$
10%	$13,3 \pm 2,4^b$	$0,11 \pm 0,02^e$	$0,59 \pm 0,05^d$	$1,37 \pm 0,14^d$	$0,81 \pm 0,12^d$
15%	$11,8 \pm 1,6^a$	$0,07 \pm 0,02^{b,c}$	$0,48 \pm 0,08^b$	$0,85 \pm 0,14^b$	$0,41 \pm 0,13^b$
20%	$18,4 \pm 2,6^d$	$0,07 \pm 0,02^b$	$0,47 \pm 0,08^b$	$1,16 \pm 0,24^c$	$0,56 \pm 0,19^c$
25%	$13,9 \pm 1,5^{b,c}$	$0,10 \pm 0,02^{d,e}$	$0,54 \pm 0,05^{c,d}$	$1,32 \pm 0,19^d$	$0,71 \pm 0,15^d$
30%	$15,0 \pm 1,5^c$	$0,02 \pm 0,01^a$	$0,25 \pm 0,08^a$	$0,31 \pm 0,13^a$	$0,08 \pm 0,05^a$

Media \pm DS. Valores en la misma columna con la misma letra no difieren significativamente ($p < 0,05$).

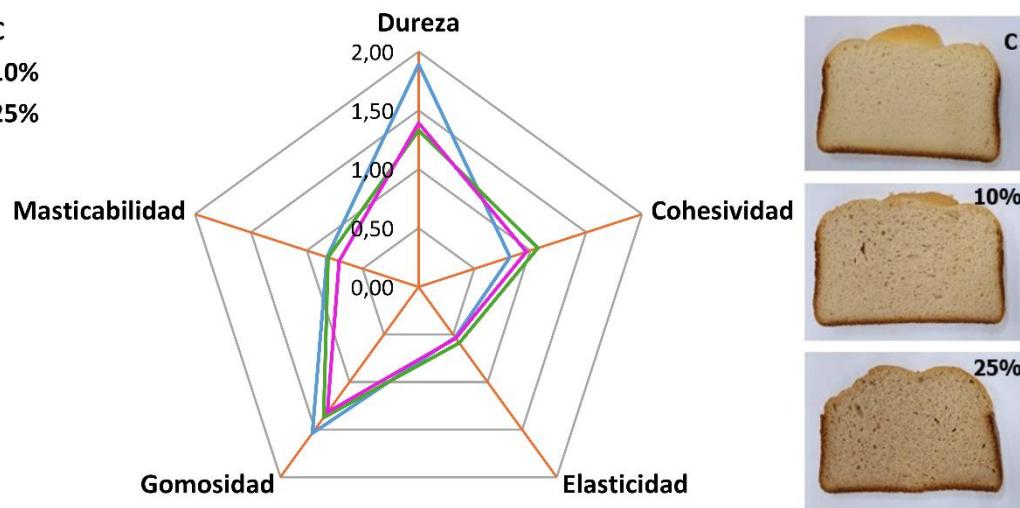


Figura 5. Diagrama comparativo del perfil de textura de las muestras seleccionadas (control, 10 % y 25 % de harina de quinoa modificada).

Considerando los factores tecnológicos y nutricionales, las formulaciones con 10 % y 25 % de harina de quinoa modificada mostraron la mejor textura de miga.

En la Figura 5 se muestra un diagrama comparativo de los principales parámetros texturales (dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad) para las formulaciones seleccionadas (control, 10 % y 25 %), lo cual permite visualizar de forma integral el impacto de la sustitución sobre la calidad del producto.

Dado que el presente estudio busca desarrollar panes sin gluten estructuralmente adecuados y nutricionalmente enriquecidos mediante la incorporación de harina de quinoa modificada, el nivel de sustitución del 25 % se perfila como la formulación óptima. Esto concuerda con la literatura previa, que indica que la incorporación moderada de quinoa mejora la calidad del producto sin afectar negativamente la textura ni el sabor (Wang & Zhu, 2016; Elgeti et al., 2014).

4. Conclusiones

Los panes elaborados con 10 % y 25 % de sustitución de harina de arroz por harina de quinoa modificada presentaron el mejor perfil de textura, destacándose

en parámetros como cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad. Estos resultados permiten confirmar la hipótesis inicial de que niveles moderados de sustitución mejoran los atributos texturales sin comprometer la integridad del producto.

Teniendo en cuenta que este estudio busca contribuir al desarrollo de alimentos saludables y adaptados a requerimientos específicos como la dieta libre de gluten, y considerando además las propiedades nutricionales y funcionales de la quinoa, la formulación con 25 % de sustitución se perfila como la más adecuada.

Estos hallazgos respaldan el uso de quinoa modificada como ingrediente funcional en productos de panificación sin gluten, y sugieren la necesidad de futuras investigaciones orientadas a evaluar su estabilidad durante el almacenamiento, sus propiedades sensoriales y su aceptación por parte de los consumidores.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Buenos Aires por el financiamiento a través de los Proyecto UBACYT 20020220100189BA y 20020220400124BA, al CONICET por el apoyo mediante el programa

PIBAA 28720210100578CO, y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) por la financiación otorgada bajo el proyecto PICT-2018-01619.

6. Referencias

- AACC (2000). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (10th ed.). AACC International, St. Paul, MN, USA.
- Alvarez-Jubete, L.; Arendt, E. K.; Gallagher, E. (2009). Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients, *International journal of food sciences and nutrition* 60 (4), 240-257.
- Alvarez-Jubete, L.; Arendt, E. K.; Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients, *Trends in Food Science & Technology* 21 (2), 106-113.
- Burešová, I.; Tokár, M.; Mareček, J.; Hřívna, L.; Faměra, O.; Šottníková, V. (2017). The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread, *Journal of Cereal Science* 75, 158-164.
- Elgeti, D.; Nordlohne, S.D.; Föste, M.; Besl, M.; Linden, M. H.; Heinz, V.; Jekle, M.; Becker, T. (2014). Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour, *Journal of Cereal Science* 59 (1), 41-47.
- Foschia, M.; Horstmann, S.; Arendt, E.K.; Zannini, E. (2016). Nutritional therapy – Facing the gap between coeliac disease and gluten-free food, *International Journal of Food Microbiology* 239, 113-124.
- Gómez M.; Martínez M.M. (2016). Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods, *Journal of Cereal Science* 67, 68-74.
- Matos, M.E.; Rosell, C.M. (2015). Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95 (4), 653-661.
- Repo-Carrasco, R.; Espinoza, C.; Jacobsen, S.E. (2003). Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*), *Food Reviews International* 19 (1-2), 179-189.
- Repo-Carrasco-Valencia, R.; Serna, L.A. (2011). Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components, *Food Sci. Technol* 31 (1), 201-210.
- Sabanis D; Tzia C. (2011). Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread, *Food Science and Technology International* 17 (4), 279-291.
- Sánchez, Y.G.; Loubes, M.A., González, L.C.; Tolaba, M.P. (2024). Energy-size relationship and starch modification in planetary ball milling of quinoa, *Journal of Cereal Science* 119, 104004.
- Sciarini, L.S.; Ribotta, P.D.; León, A.E. y otros tres autores, (2010). Influence of Gluten-free Flours and their Mixtures on Batter Properties and Bread Quality. *Food Bioprocess Technol* 3, 577-585.
- Turkut, G.M.; Cakmak, H.; Kumcuoglu, S.; Tavman, S. (2016). Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality, *Journal of Cereal Science* 69, 174-181.
- Wang, S.; Opassathavorn, A.; Zhu, F. (2015). Influence of quinoa flour on quality characteristics of cookie, bread and Chinese steamed bread, *Journal of Texture Studies* 46 (4), 281-292.
- Wang, S.; Zhu, F. (2016). Formulation and quality attributes of quinoa food products, *Food and Bioprocess Technology* 9 (1), 49-68.
- Ziobro, R.; Korus, J.; Witczak, M.; Juszczak, L. (2012). Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread, *Food Hydrocolloids* 29 (1), 68-74.