

# Calidad nutricional, evaluación física, sensorial y biológica en panes convencionales y libres de gluten

## Nutritional quality and evaluation physyc, sensory and biological of conventional and gluten-free breads

Fernando GARCÍA-RAMÓN<sup>1</sup>, Hermelinda ALVAREZ<sup>1</sup>, Alejandrina SOTELO-MÉNDEZ<sup>1</sup>, Teresa GONZÁLES HUAMAN<sup>2</sup>, Edgar NORABUENA<sup>3</sup>, Edgar ZARATE SARAPURA<sup>4</sup>, Liliana SUMARRIVA BUSTINZA<sup>5</sup>

1 Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

2 Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

3 Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

4 Universidad Nacional del Callao, Lima, Perú.

5 Universidad Nacional de Educación "Enrique Guzmán y Valle", Lima, Perú.

Recibido: 22/diciembre/2021. Aceptado: 21/febrero/2022.

### RESUMEN

**Introducción:** Los panes libres de gluten disponibles en el mercado se caracterizan por un bajo volumen, una textura desmenuzada y mayor dureza de la miga, el cual puede mejorarse con la inclusión de pseudocereales. La harina de quinoa es una excelente fuente de proteína vegetal de alta calidad y tiene importantes beneficios nutricionales para la salud humana.

**Objetivo:** Evaluar las características nutricionales, físicas y sensoriales de panes libre de gluten y convencionales empacados en un material Coextruído Poliamida-Polietileno (COEX PA-PE) durante su almacenamiento, como parámetros biológicos en ratas *Holtzman*.

**Materiales y métodos:** Se desarrollaron dos formulaciones: pan libre de gluten (PLGQ) que contenía almidón de papa (AP) y harina de quinoa Pasankalla (HQ); mientras que el pan con gluten (PCG) se elaboró a base de harina de trigo (HT). Se analizaron la composición proximal, estructura alveolar, volumen específico, polifenoles totales (PFT), fibra dietaria total (FDT) y parámetros de evaluación biológica. También, se colocaron rodajas de ambos panes en COEX PA-

PE, se almacenaron (25 °C; 80% de HR) y se evaluaron (firmeza, humedad,  $a_w$  y aceptabilidad sensorial).

**Resultados y discusiones:** Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los panes. Los PLGQ mostraron un alto contenido de FDT (18,49%), PFT (118,46 mg AGE/100g), valor biológico (VB: 84,86%), digestibilidad aparente (DA: 91,85%), retención neta de proteína (NPR: 3,25), relación de eficiencia proteica (PER: 2,81), área y estructura alveolar (4,37 mm<sup>2</sup> y 85,67 número de alveolos/cm<sup>2</sup>). Asimismo, la firmeza fue mayor (3,47N) en el PLGQ frente al PCG (3,18N). Finalmente, la aceptabilidad general fue mejor en PLGQ.

**Conclusiones:** El PLGQ tuvo mejor calidad nutricional, física, sensorial y parámetros de la evaluación biológica respecto al PCG. Además, la porción de PLGQ es considerada alta en FDT.

### PALABRAS CLAVES

*Chenopodium quinoa*, enfermedad celiaca, panes sin gluten, bioensayos.

### ABSTRACT

**Introduction:** Commercially available gluten-free breads are characterized by low volume, crumbly texture and increased crumb toughness, which can be improved with the inclusion of pseudocereals. Quinoa flour is an excellent source of high quality vegetable protein and has important nutritional benefits for human health.

**Correspondencia:**  
Fernando García Ramón  
garciafd4@gmail.com

**Aim:** Evaluate the nutritional, physical and sensory characteristics of gluten-free and conventional breads packaged in a Coextruded Polyamide-Polyethylene (COEX PA-PE) material during storage, as well as the biological parameters in *Holtzman* rats.

**Materials & methods:** Two formulations were developed: gluten-free bread (PLGQ) containing potato starch (AP) and Pasankalla quinoa flour (HQ); while the gluten-containing bread (PCG) was made from wheat flour (HT). Proximal composition, alveolar structure, specific volume, total polyphenols (TFP), total dietary fiber (TDF) and biological evaluation were analyzed. Also, slices of both breads were placed in COEX PA-PE, stored (25 °C; 80% RH) and evaluated (firmness, moisture, aw and sensory acceptability).

**Results and discussions:** Significant differences ( $p < 0,05$ ) were found among the breads. The PLGQ showed high FDT content (18,49%), PFT (118,46 mg AGE/100g), biological value (VB: 84,86%), apparent digestibility (DA: 91,85%), net protein retention (NPR: 3,25), protein efficiency ratio (PER: 2,81), alveolar area and structure (4,37 mm<sup>2</sup> and 85,67 number of alveoli/cm<sup>2</sup>). Likewise, firmness was higher (3,47N) in PLGQ compared to PCG (3,18N). Finally, overall acceptability was better in PLGQ.

**Conclusions:** PLGQ had better nutritional quality, physical, sensory and biological evaluation parameters with respect to PCG. In addition, the PLGQ portion is considered high in FDT.

## KEYWORDS

*Chenopodium quinoa*, celiac disease, gluten-free bread, bioassays.

## INTRODUCCIÓN

El pan es uno de los alimentos esenciales que se consumen en diferentes formas en todo el mundo, siendo el trigo el principal insumo para su elaboración. Las proteínas de los cereales (trigo, avena, cebada y centeno) están constituidas principalmente por prolaminas y gliadinas, que forman el gluten y cuya función en los productos panificables es crear la estructura de la masa por el atrapamiento de CO<sub>2</sub> liberado durante la fermentación de la harina por acción de las levaduras, dándole al pan una mejor textura, sabor y retención de la humedad<sup>1</sup>.

En la actualidad los trastornos relacionados con la ingesta del gluten comprenden cinco categorías de afecciones: la enfermedad celíaca (EC), la dermatitis herpetiforme, la ataxia al gluten, la alergia al trigo y la sensibilidad al gluten no celíaca<sup>2</sup>. En particular, la (EC) es un trastorno autoinmune en que las proteínas de los cereales, dañan intestino delgado que puede provocar una mala absorción y causar síntomas como diarrea, indigestión, hinchazón y pérdida de peso<sup>3</sup>. Además, la EC no tratada puede tener efectos a largo plazo, como retraso de la

pubertad, desnutrición, osteoporosis, infertilidad y neoplasias gastrointestinales<sup>4</sup>. El tratamiento de la EC requiere un mantenimiento estricto de por vida de una dieta sin gluten, que excluye el trigo, la cebada, la espelta, el centeno, etc.<sup>5</sup>.

Hasta hace unas dos décadas, la EC estaba considerada como una enfermedad poco frecuente, pero actualmente, es evidente y un hecho confirmado que es una enfermedad muy generalizada que presenta una distribución mundial bastante homogénea, con una media de aproximadamente al 1% de la población mundial y 1,2% en Perú<sup>6</sup>.

Por esta razón, los pseudocereales (quinoa) se presentan como una opción en el desarrollo de panes sin gluten, bajo la denominación de "harinas alternativas". En la elaboración de estos productos son combinados con aditivos como, hidrocoloides y emulsionantes que permiten mejorar características tecnológicas como el volumen, textura y alveolado de la miga; así como su calidad nutricional, que en muchos casos es deficiente, por el empleo de harinas refinadas y almidones que proveen alta densidad energética y bajo valor nutricional. Además, investigaciones recientes han señalado los beneficios potenciales para la salud de los pseudocereales, lo que los convierte en importantes recursos para el desarrollo de alimentos funcionales<sup>7</sup>.

Actualmente, el mercado de consumo de alimentos está buscando cada vez más productos nuevos con una calidad superior a los actuales y con mayores características nutricionales. Por esa razón, se están promoviendo investigaciones que evalúen productos panificables a partir de harinas alternativas que provean un valor nutricional adicional, como son los de la quinoa. Asimismo, la mayoría de las investigaciones que han utilizado la HQ en productos de panadería reportan escasa información respecto a sus parámetros biológicos (BV, %DA, NPR y PER). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar las características nutricionales, físicas y sensoriales de panes libres de gluten y convencionales empacados en un material Coextruido Poliámidas-Polietileno (COEX PA-PE) durante su almacenamiento, como parámetros biológicos en ratas *Holtzman*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La composición proximal de HQ, AP y HT se muestran en la Tabla 1. Estos contenidos se determinaron utilizando métodos estándar AOAC<sup>8</sup>, como se describe en la sección de composición proximal. La HQ variedad Pasankalla, fue adquirida en el Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El envase (COEX PA-PE) fue proporcionado por Alitecno (Chorrillos, Perú) con las siguientes características (permeabilidad al vapor de agua (P): 8.4 g/m<sup>2</sup>.día.atm y espesor de 70.0 μm), ácido propiónico y goma xantano fueron proporcionados por Frutarom® (Lima, Perú). El AP (PEPEES® S, A, Lomza, Polonia), La HT (INDUSTRIAL TEAL S.A, Ate, Lima), agua (San Mateo S,A,

Backus, Huarochiri, Perú), sal (Lobos<sup>®</sup>, empresa K + S, Santiago, Chile), aceite de soja (Primor<sup>®</sup>, Alicorp, Lima, Perú), azúcar rubia (Cartavio<sup>®</sup>, Grupo Gloria, La libertad, Perú), levadura fresca (*Saccharomyces cerevisiae*) (Fleischmann<sup>®</sup>, CALSA S.A.C. Callao, Perú) fueron adquiridos en un mercado local de la ciudad de Lima – Perú.

### Elaboración de los panes convencionales y libres de gluten

Se desarrollaron dos formulaciones denominadas pan libre de gluten con quinoa (PLGQ) y convencionales a base de harina de trigo (PCG) con diferentes condiciones de procesamiento. El PLGQ se preparó con una mezcla de AP (53,7%) y HQ Pasankalla (46,3%); mientras que el PCG, contenía HT al 100%. Los demás ingredientes se utilizaron en las mismas proporciones para las dos formulaciones según fórmula panadera: 75,20% agua, 3,0% azúcar, 3,0% levadura comercial, 6,0% aceite de girasol, 2,0% de sal, 0,3% ácido propiónico. El proceso de elaboración del PLGQ se realizó por el método esponja. El mezclado consistió en colocar la mitad de (HQ, AP) y 0,5% de goma xantana más los otros ingredientes menores que se mezclaron a 110 rpm durante 7 min (Nova K25, Perú). Seguidamente se realizó un pre-fermentado (Climacell EVO, Alemania) a 28 °C y 80% HR durante 30 min. Posteriormente la masa pre-fermentada se mezcló con la otra mitad de (HQ, AP) durante 5 min y siendo fermentado (Climacell EVO, Alemania) por 30 min a 28 °C y 80% de HR. Mientras, que para el proceso de elaboración del PCG se realizó por el método rápido, tal y como se describe por Santos, *et al.*<sup>9</sup>, los ingredientes se mezclaron a 110 rpm durante 7 min (Nova K25, Perú), seguido de fermentación (Climacell EVO, Alemania) durante 60 min a 28 °C y 80% HR. Posteriormente las masas fermentadas tanto del PLGQ (450g) y PCG (280g) se colocaron en un molde (largo 15,85 ± 1,2; ancho 6,65 ± 0,3 y alto 6,11 ± 0,1), se hornearon (MAX 1082, Perú), a 180 °C du-

rante 30 min, luego se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 6 h. Finalmente se procedió a la obtención de rodajas (25 mm de diámetro y 25,03 mm de espesor) y luego fueron envasados en COEX PA-PE previamente rociadas con alcohol y se almacenaron en cámaras climáticas (CLIMACELL EVO, Alemania) para mantener el control de la temperatura a 25 °C y 80% HR, hasta análisis respectivos.

### Bioensayos

Se utilizaron un total de total de 37 ratas machos de raza *Holtzman*, con pesos homogéneos, destetadas y de 25 días de edad provenientes del Bioterio de la Facultad de Zootecnia, UNALM.

Para el ensayo de valor biológico (VB) los animales fueron asignados de forma aleatoria y se colocaron en jaulas metabólicas. El ambiente de experimentación fue a 23 ± 1°C, con un fotoperiodo luz-oscuridad de 12 horas y tuvo una duración de 10 días. El agua y las dietas experimentales (Dieta 1: control a base de caseína; Dieta 2: PLGQ y Dieta 3: PCG) fueron suministradas de forma *ad libitum* diariamente. Como marcador de inicio y fin del experimento se utilizó carmín. Asimismo, se controló (pesó, consumo, heces, orina), al inicio, durante y final del experimento. En cuanto a la determinación de la relación neta de la proteína (NPR), y relación de eficiencia proteica (PER) se utilizaron jaulas tipo batería y tuvieron un periodo de experimental de 14 y 28 días. Los controles realizados fueron el consumo de alimento de forma diaria y los pesos cada 7 días hasta el final del experimento. Para los cálculos de los parámetros biológicos se utilizaron las siguientes formulas:  $VB = \frac{N_{\text{ingerido}} - (N_{\text{excretado}} + N_{\text{urinario}})}{(N_{\text{ingerido}} - N_{\text{excretado}}) \times 100}$ ;  $DA = \frac{(N_{\text{consumido}} - N_{\text{excretado}})}{(N_{\text{consumido}}) \times 100}$ ;  $PER = \frac{\text{ganancia de peso corporal (g)}}{\text{ingesta de proteínas (g)}}$  y  $NPR = \frac{\text{ganancia de peso del grupo experimental (g)} + \text{pérdida de peso del grupo aprotéico (g)}}{\text{ingesta de proteínas grupo experimental (g)}}$ .

**Tabla 1.** Composición nutricional de las materias primas

Parámetro	HQ	AP	HT
Carbohidratos (%)	56,49	88,93	74,66
Humedad (%)	12,36 ± 0,35 <sup>a</sup>	9,07 ± 0,14 <sup>c</sup>	10,37 ± 0,41 <sup>b</sup>
Proteína (%)	15,58 ± 0,51 <sup>a</sup>	0,82 ± 0,28 <sup>c</sup>	10,92 ± 0,83 <sup>b</sup>
Lípidos (%)	7,52 ± 0,17 <sup>a</sup>	0,27 ± 0,09 <sup>c</sup>	2,11 ± 0,01 <sup>b</sup>
Cenizas (%)	4,59 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,46 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,48 ± 0,07 <sup>b</sup>
Fibra cruda (%)	3,47 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,41 ± 0,11 <sup>c</sup>	1,46 ± 0,10 <sup>b</sup>
FDT (%)	15,05 ± 0,09 <sup>a</sup>	0,91 ± 0,13 <sup>c</sup>	2,82 ± 0,33 <sup>b</sup>

Se reporta la media ± desvíos estándar, expresados como % en base seca. Letras distintas en la misma fila, son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ). HQ, harina de quinoa; AP, almidón de papa; HT, Harina de trigo.

### **Características nutricionales, físicas y sensoriales de los panes**

El análisis químico proximal que considera a la humedad, cenizas, proteínas, lípidos y fibra dietaria total (FDT) se determinaron según AOAC<sup>8</sup> y finalmente los carbohidratos totales se calcularon por diferencia. El valor energético se calculó aplicando los coeficientes energéticos de Atwater, siendo de 4 kcal para las proteínas, 9 kcal para los lípidos y 4 kcal para los hidratos de carbono. Asimismo, los compuestos fenólicos siguiendo lo propuesto Yilmaz, *et al.*<sup>10</sup>

El volumen específico (cm<sup>3</sup>/g), fue determinado con un láser volumétrico (BVM 6610, Perten Instruments, Suecia). Mientras que para la estructura se utilizó imágenes digitales de los panes, que fueron obtenidas de rodajas de 25 mm de espesor, utilizando iPhone 5s (A1533, USA) con una resolución de 326 ppp. Las imágenes, fueron convertidas a 8-bits y binarizadas según Santos, *et al.*<sup>11</sup>, utilizando el *software* Image J 1.51j8 (Nacional Institutes of Health, USA), el cual permitió determinar la estructura de la miga (número de células/cm<sup>2</sup>) y el área celular promedio (mm<sup>2</sup>).

Durante el almacenamiento en la miga de los panes se determinó: firmeza, que se realizó utilizando un analizador de textura (3365B11318, USA) equipado con una celda de carga 10 gf y un émbolo (diámetro 42 mm), sobre dos rodajas de panes y tomando la sección central de la miga con un tamaño de 30mm y 25mm de espesor. El ensayo se efectuó a una velocidad de 1 mm/s mediante una prueba de doble compresión máxima del 50%. El contenido de humedad se realizó según método AOAC<sup>8</sup>. En tanto que la actividad de agua se analizó mediante el Aqua Lab modelo Serie 3 TE (Decagon Devices, Inc; Pullman, WA, USA).

Para la aceptabilidad general se realizó con un total de 500 consumidores (59% mujeres y el 41% varones entre 21 y 56 años). Se utilizó una escala no estructurada de 10 cm, en cuyo extremo izquierdo se detalla "me desagrada mucho" y en el extremo derecho "me agrada mucho", de acuerdo a Tempere, *et al.*<sup>12</sup>. Se ofrecieron muestras de panes (25 g aproximadamente) previamente codificadas.

### **Procesamiento de los datos**

Los resultados fueron expresados como la media aritmética más-menos una desviación estándar ( $\bar{X} \pm \delta$ ). Se aplicó un una prueba t de Student en la composición nutricional de los dos tipos de panes, un Diseño Completamente al Azar (DCA) en la composición nutricional de las materias primas y parámetros del valor biológico, asimismo, un arreglo factorial para la firmeza, humedad,  $a_w$  y evaluación sensorial, con un nivel de significancia de  $P < 0,05$  para la identificación de diferencias significativas entre las mediciones realizadas por triplicado. Todos los análisis se realizaron utilizando la versión 3.4.4 del *software* R (R Core Team, 2021).

## **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **Composición nutricional de los panes libres de gluten y convencionales**

Los resultados de la composición nutricional de los panes son mostrados en la Tabla 2. El tipo de pan influyó significativamente ( $p < 0,05$ ) en la proteína a favor del PCG respecto al PLGQ, este valor es menor, debido a la participación del 53,7% el AP en su formulación, insumo con bajo nivel de proteína (0,82%), afectando la concentración en el producto final, siendo de 9,24%. Este valor es menor a 12,1% reportado por Youssif, *et al.*<sup>13</sup>, en panes a base de arroz y quinoa, cuya participación es de 1:1, además, en su formulación utilizaron huevos y la harina de arroz, los cuales proporcionan mayor proteína al producto final en comparación al almidón de papa utilizado en el presente estudio. Por otro lado, el valor de la proteína es mayor a lo reportado por Paciulli, *et al.*<sup>14</sup> quienes obtuvieron un 5,8% para panes a base de maíz y almidón de papa. La superioridad en cuanto a las proteínas de los PLGQ de la presente investigación se debe a la inclusión de HQ, cuyo contenido de proteínas es alta y de prolaminas es bajo (0,5 a 7%), el cual hace que la quinoa sea un insumo de excelencia para la producción de alimentos libre de gluten aptos para pacientes celíacos, en comparación al trigo cuyo contenido de prolaminas (gliadinas y glutelinas) es de 11,9%, representando el 80% del total de las proteínas<sup>15</sup>.

Respecto al contenido de grasa, el PCG es estadísticamente mayor ( $p < 0,05$ ) comparado al PLGQ, cuyos valores son de 8,96 y 7,85%, respectivamente. Este último valor es cercano a lo determinado reportado por Calvo-Lerma, *et al.*<sup>16</sup> cuyo valor es de 7,08%. Pero es ligeramente superior a lo hallado por Kahlon, *et al.*<sup>17</sup> quienes reportaron 5,34% para panes sin gluten con na mezcla de quinoa, torta de cacahuate y remolacha. Mientras que el contenido de cenizas es menor en el PCG, siendo de 1,68% a diferencia del PLGQ que es de 3,7%. El mismo es ligeramente superior a los determinados por Turkut, *et al.*<sup>18</sup> quienes reportan un 3,49% en panes con inclusión de quinoa, arroz y papa (1: 0,5: 0,5). Como al 2,27% consignado por Miranda-Villa, *et al.*<sup>19</sup> para una fórmula óptima de panes libre de gluten. La fibra cruda es estadísticamente mayor ( $p < 0,05$ ) en PLGQ respecto al PCG, cuyos valores son de 3,41 y 1,14%, respectivamente. Se encuentran en el rango (5,87 y 4,65%) indicado para este nutriente por Corcinelli, *et al.*<sup>20</sup>. En tanto que el PLGQ es cercano a lo determinado por Coronel, *et al.*<sup>21</sup> siendo de 3,35%. La superioridad de los nutrientes en el PLGQ en parte se debe a la variedad de la quinoa, participación de ingredientes y proporciones utilizadas en las diferentes formulaciones de panes libres de gluten.

Por otro lado, se encontro diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) en la FDT a favor del PLGQ cuyo valor es de 18,49 y de 3,03% para el PCG. El contenido de FDT en los PLGQ es cercano a lo reportado por Paciulli, *et al.*<sup>14</sup> quienes indican un valor de

**Tabla 2.** Composición nutricional de los panes

Parámetro	Unidad	PLGQ	PCG
		Base seca	Base seca
Carbohidratos	%	75,80 ± 0,45 <sup>a</sup>	76,25 ± 0,17 <sup>b</sup>
Proteína	%	9,24 ± 0,21 <sup>b</sup>	11,97 ± 0,18 <sup>a</sup>
Grasa	%	7,85 ± 0,47 <sup>b</sup>	8,96 ± 0,19 <sup>a</sup>
Ceniza	%	3,70 ± 0,48 <sup>a</sup>	1,68 ± 0,20 <sup>b</sup>
Fibra cruda	%	3,41 ± 0,49 <sup>a</sup>	1,14 ± 0,21 <sup>b</sup>
Fibra dietaria total	%	18,49 ± 0,50 <sup>a</sup>	3,03 ± 0,22 <sup>b</sup>
Polifenoles totales	mg AGE/100 g	114,86 ± 1,81 <sup>a</sup>	84,83 ± 0,48 <sup>b</sup>
Volumen específico	cm <sup>3</sup> /g	1,77 ± 0,06 <sup>b</sup>	3,61 ± 0,12 <sup>a</sup>
Área alveolar	mm <sup>2</sup>	4,37 ± 1,97 <sup>a</sup>	1,15 ± 0,24 <sup>b</sup>
Estructura	número alveolo /cm <sup>2</sup>	85,67 ± 1,68 <sup>b</sup>	198,45 ± 3,50 <sup>a</sup>
Aporte energético	Kcal	399,02 ± 4,60 <sup>a</sup>	405,12 ± 1,77 <sup>a</sup>

Se reporta la media ± desvíos estándar, expresados como % en base seca. Letras distintas en la misma fila, son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). PLGQ, pan libre de gluten con quinoa; PCG, pan con gluten.

17,2% para panes libre de gluten elaboradas con almidón de maíz y papa. Mientras que es mayor a 13,13% determinado por Youssif, *et al.*<sup>13</sup> para panes a base de arroz (25%) y quinoa (75%).

Un alimento es considerado como fuente de FDT, cuando cubre el 10% del valor referencial diario por porción y alto cuando cumple el 20%, siendo el valor referencial sugerido de 25g de fibra dietaria por día<sup>22</sup>. El PLGQ cubre un 37,80% del valor de referencia diario, correspondiente a una porción de rodaja de 78,58g; considerándose alto en FDT, bondad que diferencia del PCG. El consumo de panes integrales o libre de gluten, ricos en fibra dietaria, en el presente escenario de pandemia tiene un impacto positivo al incrementar la inmunidad innata que se requiere para contrarrestar al COVID-19. Favoreciendo el crecimiento de las bacterias comensales, generando ácidos grasos de cadena corta. Los cuales a nivel local son fuente de energía para los enterocitos y colonocitos permitiendo su diferenciación, mayor producción de mucus, acelera el pasaje de la digesta, previenen el cáncer al colon y en especial mejora la barrera intestinal<sup>23</sup>.

Los polifenoles totales mostraron diferencias ( $p < 0,05$ ) a favor del PLGQ cuyo valor es de 114,86 mg AGE/100g, respecto al PCG, que es de 84,83 mg AGE/100g. Ambos tipos de panes son mayores a lo hallado por Wang, *et al.*<sup>24</sup>, quienes precisan valores de 60,2 y 78,5 mg AGE/100g para panes con gluten y panes con 40% de sustitución de harina de quinoa integral. Los polifenoles en el organismo tienen un rol pre-

ponderante al disminuir la peroxidación lipídica a nivel de membrana dado su alta capacidad antioxidante frente a las sustancias reactivas de oxígeno propio del metabolismo<sup>25</sup>.

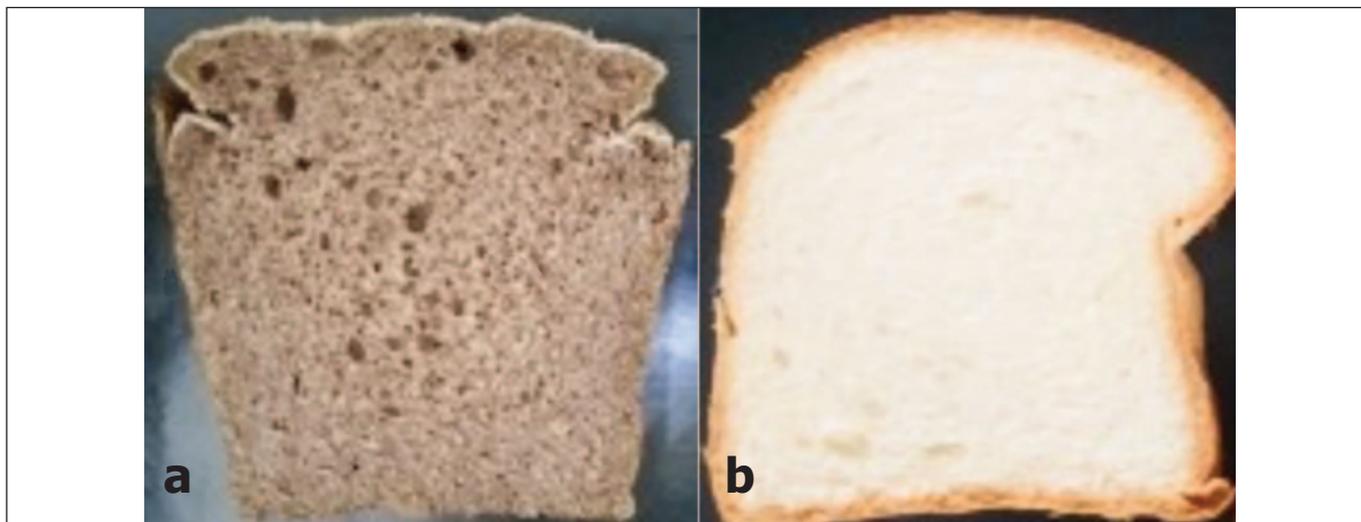
El volumen específico fue a favor del PCG ( $p < 0,05$ ) cuyo valor es 3,61 y de 1,7 para el PLGQ. Estos resultados son cercanos a los determinados por Miranda-Ramos, *et al.*<sup>26</sup> quienes reportaron 4,05 y 2,38 cm<sup>3</sup>/g para panes con harina de trigo al 100% y pan con sustitución de 50% con harina de amaranto. La reducción del volumen en PLGQ es por carecer de proteínas formadora de gluten.

Al analizar la estructura de la miga se encontró diferencias ( $p < 0,05$ ) para el área de la célula a favor del PLGQ, cuyo valor es de 4,37 mm<sup>2</sup> y 1,15 mm<sup>2</sup> para el PCG (Figura 1). El mayor valor en PLGQ se debe en parte a su heterogeneidad alveolar el cual es influenciado por los insumos que lo componen. Mientras que el número de alveolos/cm<sup>2</sup> fue mayor ( $p < 0,05$ ) para PCG, frente al PLGQ. Tanto el área de la célula como el número de alveolos determinados en PLGQ se encuentran se encuentra cercano a lo reportado por Santos, *et al.*<sup>11</sup>. Esta característica es un factor común en los productores de panadería libres de gluten debido a la limitada retención de los gases que se generan durante el leudado y la cocción.

### Evaluación biológica

El valor biológico permite determinar el nitrógeno potencialmente retenido por el organismo tras su consumo. Se encon-

**Figura 1.** Apariencia general de las rodajas de los panes



**a.** Pan libre de gluten con quinoa (PLGQ) y **b.** Pan con gluten (PCG)

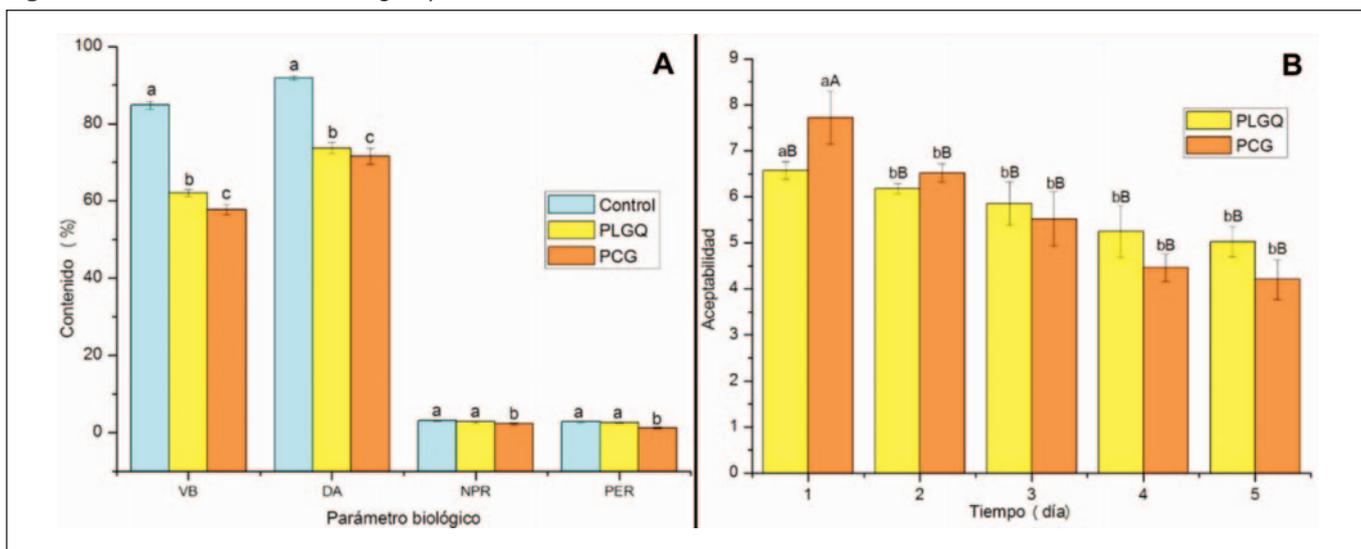
traron diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) a favor del grupo que consumió la dieta control. Sin embargo, los parámetros biológicos del grupo que consumió la dieta con PLGQ fue mayor referente al PCG (Figura 2). El VB del PLGQ es cercano a lo reportado por Pérez, *et al.*<sup>27</sup> quienes encontraron un valor de 62,9% en ratas que consumieron una dieta a base de pan libre de gluten con inclusión de 57% de quinoa. En tanto que el VB determinado para PCG fue mayor al hallado por Rizzello, *et al.*<sup>28</sup>, cuyo valor es de 35,5% para panes a base harina de trigo.

La digestibilidad aparente fue mayor en el PLGQ ( $p < 0,05$ ) respecto al PCG. Sin embargo, la digestibilidad del grupo que

consumió la dieta con PLGQ es menor al comparar con lo hallado por Espinosa-Ramírez, *et al.*<sup>29</sup> quienes consignan un valor de 78,15% en panes libre de gluten. Asimismo, es cercano al obtenido por Sotelo *et al.*<sup>30</sup> quienes reportan un 76,5% para galletas con sustitución de 15% de quinoa y 6% de fuentes de FDT.

Para los parámetros biológicos la letras minúsculas distintas, son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Para la evaluación sensorial, letras minúsculas distintas son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) para el mismo pan en diferentes tiempos de almacenamiento. Letras mayúsculas distintas son

**Figura 2.** Parámetros del valor biológico y evaluación sensorial



**A:** Parámetros biológicos. **B:** Evaluación sensorial. Control ■ PLGQ ■ PCG ■.

Para los parámetros biológicos la letras minúsculas distintas, son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Para la evaluación sensorial, letras minúsculas distintas son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) para el mismo pan en diferentes tiempos de almacenamiento. Letras mayúsculas distintas son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre el PLGQ y PCG en el mismo tiempo de almacenamiento.

significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) entre el PLGQ y PCG en el mismo tiempo de almacenamiento.

Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) concierne al NPR y el PER a favor de PLGQ. Esta diferencia se debe a la calidad de la proteína de la quinoa, participación de sus ácidos grasos esenciales y la fibra dietaria que influyen en una mejor performance de los animales de experimentación que consumieron la dieta a base de PLGQ respecto al grupo que recibió la dieta con PCG. El PER del grupo que consumió la dieta con PLGQ es mayor a lo determinado por Montero-Quintero, *et al.*<sup>31</sup> quienes indican 1.7 para el grupo que consumió una dieta a base de panes con sustitución de 20% de amaranto. El PER del grupo que consumió la dieta con PCG fue de 1,28, superior a los determinados por Hegazy y Haitham<sup>32</sup> cuyo valor fue de 0,99; mientras que el NPR hallado es cercano al valor de la presente investigación. Esta diferencia se puede deber a la variedad del trigo, condiciones ambientales, y grado de extracción de la harina, como edad de los animales de experimentación.

### Evaluación de las características físicas

Se encontraron diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ) para la firmeza del PLGQ y PCG a partir del tercer día de almacenamiento (Tabla 3). El PCG mostro una menor variación de la firmeza (1,75 a 3,18 N) en el tiempo, la misma es un factor muy importante en la calidad de los panes y tiene influencia en la satisfacción del consumidor. En el PLGQ la firmeza varía entre

1,78 a 3,47. Los valores reportados son cercanos a los determinados por Repo Carrasco, *et al.*<sup>33</sup> quienes reportan un 1,8N para panes libre de gluten. Tanto en PCG y PLGQ al día 7 de evaluación mostraron un incremento de firmeza de un 81% y 94%, respectivamente de su valor inicial.

### Evaluación sensorial

La aceptabilidad general mostro diferencias ( $p < 0,05$ ) a favor del PCG en comparación del PLGQ en los dos primeros días de almacenamiento, cuyas puntuaciones fueron de (7,72 y 6,57) y (6,52 6,18), respectivamente. La menor aceptación del PLGQ en parte se debería a la percepción que genero al consumidor por presentar una corteza más oscura (Figura 1). Sin embargo, la puntuación del PLGQ es mayor a los determinados por Santos, *et al.*<sup>9</sup> cuyo valor fue de 6,20 para panes a base de arroz, como a los determinados Ayseli, *et al.*<sup>34</sup> para panes con sustitución de quinoa cuyo valor es de 4. Finalmente, los siguientes días de evaluación la aceptabilidad global de los PLGQ, mantuvieron una puntuación sobre 5 hasta el final, a diferencia de los PCG tuvieron menor valor (Figura 2B). La retrogradación del almidón podría considerarse como el principal responsable del cambio de textura de la miga durante el almacenamiento, influyendo en la aceptabilidad de los panes.

### CONCLUSIONES

La incorporación de harina de quinoa Pasankalla (46,3%) en la elaboración de pan libre de gluten tuvo un efecto po-

**Tabla 3.** Propiedades físicas en la miga de los panes durante el almacenamiento

	Día	Firmeza (N) <sup>a</sup>	Hm (g.agua/100 g m.s) <sup>b</sup>	$a_w$ <sup>b</sup>
PLGQ	0	1,78 ± 0,14 <sup>Ac</sup>	90,10 ± 0,05 <sup>Ba</sup>	0,964 ± 0,0002 <sup>Ba</sup>
	1	1,81 ± 0,29 <sup>Ac</sup>	86,50 ± 0,17 <sup>Bb</sup>	0,961 ± 0,0013 <sup>Bb</sup>
	2	2,09 ± 0,17 <sup>Ac</sup>	84,80 ± 0,52 <sup>Bc</sup>	0,958 ± 0,0100 <sup>Bc</sup>
	3	2,71 ± 0,05 <sup>Ab</sup>	82,80 ± 0,17 <sup>Bd</sup>	0,956 ± 0,0021 <sup>Bd</sup>
	6	3,20 ± 0,14 <sup>Aa</sup>	81,70 ± 0,28 <sup>Be</sup>	0,954 ± 0,0019 <sup>Be</sup>
	7	3,47 ± 0,16 <sup>Aa</sup>	78,50 ± 0,63 <sup>Bf</sup>	0,953 ± 0,0022 <sup>Bf</sup>
PCG	0	1,75 ± 0,03 <sup>Ae</sup>	92,70 ± 0,08 <sup>Aa</sup>	0,968 ± 0,0007 <sup>Aa</sup>
	1	1,96 ± 0,05 <sup>Ad</sup>	89,10 ± 0,03 <sup>Ab</sup>	0,963 ± 0,0009 <sup>Ab</sup>
	2	2,22 ± 0,09 <sup>Ac</sup>	87,40 ± 0,05 <sup>Ac</sup>	0,962 ± 0,0014 <sup>Ac</sup>
	3	2,47 ± 0,13 <sup>Bb</sup>	85,40 ± 0,07 <sup>Ad</sup>	0,961 ± 0,0003 <sup>Ad</sup>
	6	2,77 ± 0,17 <sup>Bb</sup>	84,20 ± 0,08 <sup>Ae</sup>	0,959 ± 0,0021 <sup>Ae</sup>
	7	3,18 ± 0,20 <sup>Ba</sup>	82,10 ± 0,07 <sup>Af</sup>	0,957 ± 0,0008 <sup>Af</sup>

Se reporta la media ± desvíos estándar. Letras mayúsculas difieren significativamente ( $p < 0,05$ ) entre el PLGQ y PCG en el mismo tiempo de almacenamiento. Letras minúsculas difieren significativamente ( $p < 0,05$ ) para el mismo parámetro en diferente tiempo de almacenamiento para cada pan.

sitivo en en las características nutricionales, físicas, sensoriales y parámetros biológicos, destacándose la digestibilidad aparente, polifenoles totales, ceniza, el alto aporte de fibra dietaria total y su aceptabilidad sensorial. Esta investigación pondera a la harina de quinoa como una alternativa en la elaboración de productos de panadería libres de gluten, para un grupo de la población con necesidades especiales como los celíacos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Biesiekierski J. What is gluten? *Journal Gastroenterology Hepatology*. 2017;32 (Suppl.1):(78–81)
- Danciu M, Neguera I. Diagnosis of Gluten-related disorders in "Gluten related disorders." In: Press A, editor. *Gluten related disorders [Internet]. Diagnostic Approaches, Treatment Pathways, and Future Perspectives*; 2022. p. 129–147.
- Lebwohl B, Sanders D., Green P. Celiac disease. *Lancet*, editor. Vol. 6736. 2017. 1–12 p.
- Rubio-Tapia A, Hill ID, Kelly CP, Calderwood AH, Murray JA. ACG clinical guidelines: Diagnosis and management of celiac disease. *Journal Gastroenterology*. 2013;108(5):656–676.
- Theethira T., Dennis M, Leffler D. Nutritional consequences of celiac disease and the gluten-free diet. *J Gastroenterology Hepatology*. 2014;8(12):123–129.
- Baldera K, Chaupis-Meza D, Cárcamo C, Holmes K, García P. Seroprevalencia poblacional de la enfermedad celíaca en zonas urbanas del Perú. 2020;37(1):63–66.
- Joshi DC, Chaudhari G V., Sood S, Kant L, Pattanayak A, Zhang K, et al. Revisiting the versatile buckwheat: reinvigorating genetic gains through integrated breeding and genomics approach. 2019;250(3):783–801.
- AOA AOAC. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analysis Chemist*. Gaithersburg, USA; 2005.
- Santos FG, Aguiar E V., Centeno ACLS, Rosell CM, Capriles VD. Effect of added psyllium and food enzymes on quality attributes and shelf life of chickpea-based gluten-free bread. 2020;134:110025.
- Yilmaz VA, Brandolini A, Hidalgo A. Phenolic acids and antioxidant activity of wild, feral and domesticated diploid wheats. *J Cereal Sci*. 2015;64:168–175.
- Santos FG, Aguiar E V., Rosell CM, Capriles VD. Potential of chickpea and psyllium in gluten-free breadmaking: Assessing bread's quality, sensory acceptability, and glycemic and satiety indexes. *Food Hydrocolloids*. 2021;113:106487.
- Tempere S, Pérès S, Espinoza AF, Darriet P, Giraud-Héraud E, Pons A. Consumer preferences for different red wine styles and repeated exposure effects. *Food Quality Preference*. 2019;73:110–116.
- Youssif M, Khalil M, Ghoneim G, Tamimy M. Utilization of Quinoa Seeds to Produce Gluten-Free Bread. *J Food Dairy Sci*. 2018;9(7): 221–227.
- Paciulli M, Rinaldi M, Cirilini M, Scazzina F, Chiavaro E. Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study. *LWT - Food Science Technology*. 2016;70:88–95.
- Call L, Kapeller M, Grausgruber H, Reiter E, Schoenlechner R, D'Amico S. Effects of species and breeding on wheat protein composition. *Journal Cereal Science*. 2020;93:102974.
- Calvo-Lerma J, Crespo-Escobar P, Martínez-Barona S, Fornés-Ferrer V, Donat E, Ribes-Koninckx C. Differences in the macronutrient and dietary fibre profile of gluten-free products as compared to their gluten-containing counterparts. *Eur Jorunal Clinical Nutrition*. 2019;73(6):930–936.
- Kahlon TS, Avena-Bustillos RJ, Brichta JL, Kahlon AK. High-protein nutritious flatbreads and an option for gluten-sensitive individuals. *Food Science*. 2019;8(11).
- Turkut GM, Cakmak H, Kumcuoglu S, Tavman S. Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. *J Cereal Sci*. 2016;69:174–181.
- Miranda-Villa PP, Mufari JR, Bergesse AE, Planchuelo AM, Calandri EL. Nutritional quality and physical properties of gluten-free breads. *Nutr Clin y Diet Hosp*. 2018;38(3):46–55.
- Cornicelli M, Saba M, Machello N, Silano M, Neuhold S. Nutritional composition of gluten-free food versus regular food sold in the Italian market. *Dig Liver Dis*. 2018;50(12):1305–1308.
- Coronel EB, Guiotto EN, Aspiroz MC, Tomás MC, Nolasco SM, Capitani MI. Development of gluten-free premixes with buckwheat and chia flours: Application in a bread product. *Lwt*. 2021;141:1–8.
- CODEX. Report on the 30th session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses. Appendix II. Roma-Italia; 2009 p. 83.
- Abreu y Abreu AT, Milke-García MP, Argüello-Arévalo GA, Calderón-de la Barca AM, Carmona-Sánchez RI, Consuelo-Sánchez A, et al. Fibra dietaria y microbiota, revisión narrativa de un grupo de expertos de la Asociación Mexicana de Gastroenterología. *Rev Gastroenterol México*. 2021;86(3):287–304.
- Wang X, Lao X, Bao Y, Guan X, Li C. Effect of whole quinoa flour substitution on the texture and in vitro starch digestibility of wheat bread. *Food Hydrocoll*. 2021;119:106840.
- Śęczek Ł, Więca M, Gawlik-Dziki U. Effect of carob (*Ceratonia siliqua* L.) flour on the antioxidant potential, nutritional quality, and sensory characteristics of fortified durum wheat pasta. *Food Chem*. 2016;194:637–642.
- Miranda-Ramos KC, Sanz-Ponce N, Haros CM. Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour. *Lwt*. 2019;114:108418.
- Pérez K, Elías C, Delgado V. High-protein snack: an extruded from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), and sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Sci Agropecu*. 2017;8(4):377–388.
- Rizzello CG, Lorusso A, Montemurro M, Gobbetti M. Use of sourdough made with quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and autochthonous selected lactic acid bacteria for enhancing the nutri-

- tional, textural and sensory features of white bread. *Food Microbiol.* 2016;56:1–13.
29. Espinosa-Ramírez J, Garzon R, Serna-Saldivar SO, Rosell CM. Functional and nutritional replacement of gluten in gluten-free yeast-leavened breads by using  $\beta$ -conglycinin concentrate extracted from soybean flour. *Food Hydrocolloids.* 2018;84:353–360.
30. Sotelo. M A, Bernuy-Osorio N, Perez FV, Anticona EP, Ureña M, Vílchez-Perales C. Cookie processed with quinoa flour, tara endosperm and agave leaves fibers: Biological value and global acceptability. *Scientia Agropecuaria.* 2019;10(1):73–78.
31. Montero-Quintero CK, Moreno-rojas R, Molina AE, Beatriz A, Montero-Quintero KC. Regimenes dietéticos. *Asoc Interciencia.* 2015;40:473–478.
32. Hegazy A., Haitham A., El-khamissi. Nutritional Protein Quality Evaluation. *Journal of Biological Chemistry.*2020.12(4):321-333.
33. Repo-Carrasco-Valencia R, Vidaurre-Ruiz J, Luna-Mercado GI. Development of Gluten-Free Breads Using Andean Native Grains Quinoa, Kañiwa, Kiwicha and Tarwi. *Proceedings.* 2020; 53(1):15.
34. Ayseli MT, Yilmaz MT, Cebi N, Sagdic O, Ozmen D, Capanoglu E. Physicochemical, rheological, molecular, thermal and sensory evaluation of newly developed complementary infant (6–24 months old) foods prepared with quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) flour. *Food Chem.* 2020;315:126208.