

Perfil nutricional, valor biológico y aceptabilidad general de panes: evaluación comparativa de formulaciones tradicionales, enriquecidas y sin gluten

Nutritional profile, biological value and general acceptability of breads: comparative evaluation of traditional, whole-grain and gluten-free formulations

Alejandrina SOTELO-MÉNDEZ¹, Diego Fernando GARCÍA-RAMÓN², Edgar NORABUENA³, Marlitt Naupay VEGA⁴, Liliana SUMARRIVA⁵, Hermelinda ALVAREZ⁶, Janella Anchayhua TORRES⁷, Edgar ZÁRATE-SARAPURA⁸, Mariella VAN HEURCK⁹

1 Departamento Académico de Nutrición, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

2 Maestría en Tecnología de Alimentos, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

3 Facultad de Ingeniería Química y Textil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

4 Facultad de Ingeniería Geográfica Ambiental y Ecoturismo, Universidad Federico Villareal, Lima, Perú.

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

6 Departamento de Ingeniería y Productos Agropecuarios, Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

7 Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

8 Universidad Nacional del Callao, Lima, Perú.

9 Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Lima, Perú.

Recibido: 3/marzo/2025. Aceptado: 20/mayo/2025.

RESUMEN

Introducción: El pan mantiene su relevancia en la dieta global pese a los cambios en estilos de vida. La industria panadera ha evolucionado para satisfacer nuevas demandas nutricionales y preferencias, especialmente en panes enriquecidos y sin gluten.

Objetivo: Evaluar comparativamente las características nutricionales, biológicas y sensoriales de panes enriquecidos, sin gluten y francés.

Materiales y métodos: Se desarrollaron tres formulaciones: pan enriquecido (PE), pan francés (PF) y pan libre de gluten con kiwicha (PLGK). Se analizó su composición proximal, estructura alveolar, volumen específico, polifenoles totales, fibra dietaria y parámetros biológicos. Las muestras fueron almacenadas a 25°C y 80% HR, evaluando características sensoriales durante siete días.

Resultados y discusiones: El PE destacó con mayor contenido proteico (14,10%), minerales (4,15%), fibra dietaria total (19,49%), polifenoles totales (114,23 mg AGE/100g) y superiores parámetros biológicos (VB: 70%, DA: 76%, BN: 0,64, NPR: 6,25, PER: 4,81). El PLGK mostró mejor puntuación sensorial durante el almacenamiento.

Conclusiones: El PE emergió como la opción más equilibrada nutricionalmente, demostrando que la incorporación estratégica de harinas funcionales mejora significativamente el perfil nutricional sin comprometer severamente las características tecnológicas. Se recomienda su consumo por su impacto positivo en la calidad nutricional y sensorial, representando una alternativa viable para la alimentación saludable.

PALABRAS CLAVE

Panes enriquecidos, valor biológico, fibra dietaria, polifenoles, aceptabilidad

ABSTRACT

Introduction: Bread maintains its relevance in the global diet despite changing lifestyles. The bakery industry has evolved to meet new nutritional demands and preferences, especially in whole-grain and gluten-free breads.

Correspondencia:
Alejandrina Sotelo-Méndez
asotelo@lamolina.edu.pe

Objective: To comparatively evaluate the nutritional, biological and sensory characteristics of whole-grain, gluten-free and French breads.

Materials and methods: Three formulations were developed: Enriched Bread (PE), French Bread (PF) and gluten-free bread with kiwicha (PLGK). Their proximal composition, alveolar structure, specific volume, total polyphenols, dietary fiber and biological parameters were analyzed. Samples were stored at 25°C and 80% RH, evaluating sensory characteristics for seven days.

Results and discussions: PE stood out with higher protein content (14.10%), minerals (4.15%), total dietary fiber (19.49%), total polyphenols (114.23 mg AGE/100g) and superior biological parameters (VB: 70%, DA: 76%, BN: 0.64, NPR: 6.25, PER: 4.81). PLGK showed sensory score during storage.

Conclusions: PE emerged as the most nutritionally balanced option, demonstrating that the strategic incorporation of functional flours significantly improves the nutritional profile without severely compromising the technological characteristics. Its consumption is recommended for its positive impact on nutritional and sensory quality, representing a viable alternative for healthy eating.

KEY WORDS

Enriched bread, biological value, dietary fiber, polyphenols, acceptability.

INTRODUCCIÓN

El pan es un alimento básico que ha evolucionado para satisfacer diversas necesidades nutricionales y preferencias gustativas. El consumo de pan ha sido vinculado con síndromes como la obesidad, enfermedades metabólicas y cardiovasculares, dado que la mayoría del pan producido en el mundo es pan blanco¹. Por lo tanto, el impacto que los panes tienen en la dieta y en la salud se debe a su rápida adaptación a diferentes culturas, países y estilos de vida, convirtiéndole en un interesante caso de estudio alimentario. Para satisfacer las demandas y compensar las deficiencias en nutrientes de los consumidores, el enriquecimiento, la fortificación, el uso de ingredientes adicionales a los básicos y la llegada de nuevas tecnologías ha permitido una amplia diversificación de los productos panificados, haciendo recientemente crecer la popularidad de los panes enriquecidos y sin gluten de manera rápida².

Según Avberšek Lužnik et al.³, los panes enriquecidos son opciones más saludables que el pan blanco elaborado con harinas refinadas porque son relativamente ricos en minerales esenciales, vitaminas, fibra dietética y fitoquímicos que se han relacionado con la prevención de enfermedades. El aumento de su consumo se ha relacionado con un menor riesgo de desarrollar las principales enfermedades crónicas, como cardiopatías, diabetes de tipo II, obesidad y cáncer². Sin em-

bargo, debido a la calidad del material procesado (características de la masa como elevada absorción de agua debido a la fibra) y del producto acabado (volumen) el uso de harinas enriquecidas es limitado. Por otro lado, el mercado de productos de panadería libres de gluten (PLG) está en expansión y han ganado popularidad debido al aumento de diagnósticos de celiaquía y a adición de personas que desean llevar una vida "más saludable". La incorporación de granos andinos como la harina de kiwicha (HK) en la elaboración de PLG es una alternativa efectiva debido a su alto nivel proteico y un adecuado balance de sus aminoácidos que cubre el requerimiento en parte en niños y total en adultos⁴. Además, dentro de su composición proteica se encuentra su menor concentración de prolamina, causante de la enfermedad celíaca⁵. También es fuente de minerales (Ca, K, Fe, Mg, Mn, P), grasas poliinsaturadas (ácidos grasos), fibra alimentaria y vitaminas C y E (tocoferoles). Además, la HK es rica en polifenoles, lo que la convierte en un ingrediente funcional. Sin embargo, también se han relacionado con ellos efectos de baja calidad sensorial y bajo volumen final del producto⁶.

Hasta donde sabemos, para metros biológicos como la relación de eficiencia proteica (PER) en panes ha sido evaluada en los trabajos de Montero-Quintero, *et al.*⁷, Hegazy y Haitham⁸, relación de la proteína neta (NPR) por Reyes, *et al.*⁹, más solo el trabajo de Garcia- Ramon et al.¹⁰ ha sido uno de los pocos que evaluaron varios parámetros biológicos (BV, %D, BN, NPR y PER) en panes sin gluten elaborados con harina de quinua. Por ello, esta investigación propone una evaluación de las características nutricionales, parámetros biológicos y aceptabilidad sensorial de panes enriquecidos, sin gluten y francés para evaluar su funcionalidad de cada tipo de pan.

MATERIALES Y MÉTODOS

La harina de quinoa (HQ) y harina de kiwicha (HK) fueron proporcionadas por el Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El propionato de sodio y goma xantano fueron proporcionados por Frutarom® (Lima, Perú). El almidón de papa (AP) (PEPEES® S, A, Lomnza, Polonia), harina de trigo (HT) (INDUSTRIAL TEAL S.A, Ate, Lima), harina de avena (HA) (Nutrisa Corp, Santiago, Chile), harina de salvado de trigo (ST) (Bella Natura, Lima, Perú), agua (San Mateo S.A, Backus, Huarochiri, Perú), sal (Lobos®, empresa K + S, Santiago, Chile), aceite de girasol (Primor®, Alicorp, Lima, Perú), azúcar rubia (Cartavio®, Grupo Gloria, La libertad, Perú), levadura fresca (*Saccharomyces cerevisiae*) y mejorador (Fleischmann®, CALSA S.A.C. Callao, Perú), fueron adquiridos en un mercado local de la ciudad de Lima-Perú.

El envase de Polietileno de Baja Densidad (PBD) fue proporcionado por Alitecno (Chorrillos, Perú) con las siguientes características (permeabilidad al vapor de agua (P): 1,4505 g/m².día.atm y espesor de 50,8 µm).

Elaboración de los panes tradicionales, enriquecidos y libres de gluten

Se desarrollaron tres formulaciones denominadas Pan enriquecido (PE), pan francés (PF) y pan libre de gluten con kiwicha (PLGK) con diferentes condiciones de procesamiento (Figura 1). El PE se preparó con un 80% de harina de trigo blanca refinada (HT) y un 20% de sustitución (5 % harina de quinoa (HQ), 5% Harina de kiwicha (HK), 5 % Harina de avena (HA) y 5 % Salvado de trigo (ST)), el PF, contenía HT al 100% en tanto que el PLGK se preparó con una mezcla de AP (53,7%) y HK (46,3%). Para el PE, PF para las dos formulaciones el resto de ingredientes según formula panadera fue: 44,20 % agua, 6,67 % azúcar, 4,45 % levadura comercial, 1,48 % aceite de girasol, 1,33 % de sal, 0,77 % de mejorador y 0,1 % propianato de sodio. En tanto que el PLGK utilizó las siguientes proporciones según formula panadera: 75,20% agua, 3,0% azúcar, 3,0% levadura comercial, 6,0% aceite de girasol, 2,0% de sal, 0,3% propianato de sodio. Para el proceso de elaboración de PE y PF se realizaron siguiendo lo descrito por García-Ramón et al¹⁰ con las siguientes modificaciones, los ingredientes se mezclaron a 110 rpm durante 10 min (Nova K25, Perú), seguido de fermentación (Climacell EVO, Alemania) durante 45 min a 28 °C y 80% HR. En tanto que el proceso de elaboración del PLGK se realizó por el método esponja. El mezclado con-

sistió en colocar la mitad de (HK, 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 (HK, AP) durante 5 min y siendo fermentado (Climacell EVO, Alemania) por 30 min a 28 °C y 80% de HR. Posteriormente las masas fermentadas fueron pesadas (SJX1502, Shanghai, CH) 280 g (PE), 250g (PF) y 450 g (PLGK), se colocaron en un molde (largo $15,85 \pm 1,2$; ancho $6,65 \pm 0,3$ y alto $6,11 \pm 0,1$), se hornearon (MAX 1082, Perú), a 140 °C por 45 min el PE, 200 °C por 15 min el PF y 180 °C durante 30 min el PLGK, luego se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 5 h. Finalmente se procedió al envasado en envases de PPBD previamente rociados con alcohol y se almacenaron en cámaras climáticas (CLIMACELL EVO, Alemania) para mantener el control de la temperatura a 25 °C y 80% HR y análisis respectivos.

Bioensayos

Se utilizaron un total de total de 36 ratas machos de raza *Holtzman*, con pesos homogéneos, destetadas y de 25 días de edad provenientes del Bioterio de la Facultad de Zootecnia, UNALM.

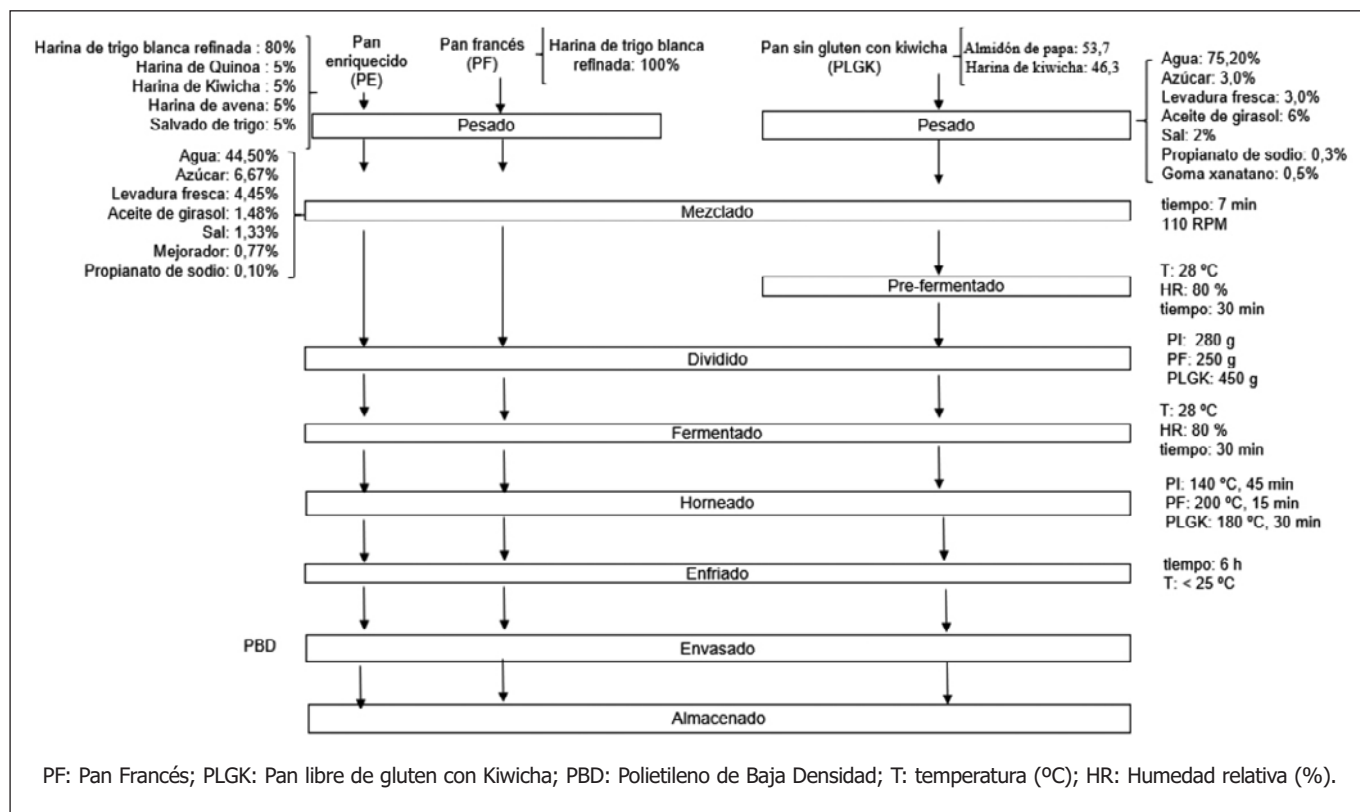


Figura 1. Flujograma de obtención de panes tradicionales, enriquecidos y libres de gluten

Para el ensayo de valor biológico aparente (VBap) 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. Se estimó la energía de cada uno de los panes a evaluar a fin de elaborar una dieta para las ratas y en el caso del NPR se elaboró una dieta apteica. El agua y las dietas experimentales (control a base de caseína, PE, PF y PLGK) 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; mientras que la colección de la orina fue por 6 días. En cuanto a la determinación de la relación de la proteína neta (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 ecuaciones (de 1 al 5), como se describen a continuación:

$$\text{Balance de nitrógeno (BN)} = \text{Nitrógeno}_{\text{ingerido}}(g) - [\text{Nitrógeno}_{\text{fecal}}(g) + \text{Nitrógeno}_{\text{urinario}}(g)] \quad \text{Eq.1}$$

$$\text{Valor Biológico Aparente (VB}_{\text{ap}}) = \frac{(\text{Nitrógeno}_{\text{ingerido}}(g) - \text{Nitrógeno}_{\text{fecal}}(g) + \text{Nitrógeno}_{\text{urinario}}(g))}{(\text{Nitrógeno}_{\text{ingerido}}(g) - \text{Nitrógeno}_{\text{fecal}}(g))} \times 100 \quad \text{Eq.2}$$

$$\text{Digestibilidad}_{\text{aparente}}(Da) = \left[\frac{\text{Nitrógeno}_{\text{ingerido}}(g) - \text{Nitrógeno}_{\text{fecal}}(g)}{\text{Nitrógeno}_{\text{ingerido}}(g)} \right] \times 100 \quad \text{Eq. 3}$$

$$\text{Relación de Eficiencia Proteica (PER)} = \frac{\text{Ganancia peso vivo (g)}}{\text{Consumo proteína (g)}} \quad \text{Eq. 4}$$

$$\text{Relación de la Proteína Neta (NPR)} = \left[\frac{\text{Ganancia de peso}_{\text{grupo experimental}}(g) - \text{Pérdida de peso}_{\text{grupo apteico}}(g)}{\text{Consumo de proteína}_{\text{grupo experimental}}(g)} \right] \quad \text{Eq. 5}$$

Composición química de las harinas y panes

La composición química de las harinas de trigo, quinoa, kiwicha, avena, almidón de papa y salvado de trigo y panes (PE, PF y PLGK) se determinó en términos de humedad, proteínas, lípidos, cenizas, fibra bruta utilizando métodos estándar de la AOAC¹¹, mientras que los carbohidratos totales se calcularon por diferencia. El valor energético de los panes (PE, PF y PLGK) 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

Características fisicoquímicas y análisis sensorial de los panes

El contenido de fenoles totales siguiendo lo propuesto Singleton et al.¹². En tanto que el volumen específico (cm³/g),

fue determinado con un láser volumétrico (BVM 6610, Perten Instruments, Suecia).

Durante el almacenamiento se evaluó la aceptabilidad general se contó con un total de 210 consumidores (63% mujeres y el 37% varones entre 19 y 51 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"¹⁰. Se ofrecieron muestras de panes (25 g aproximadamente) previamente codificadas.

Procesamiento de los datos

Los resultados fueron expresados como la media aritmética con una desviación estándar. Se aplicó un Diseño completamente aleatorizado (DCA) y una prueba Tukey en la composición proximal, parámetros del valor biológico y aceptabilidad sensorial. Todos los análisis se realizaron utilizando la versión 4.4.2 del *software* R (R Core Team, 2024), a un nivel de significancia de $P < 0,05$.

RESULTADOS

Composición proximal de las materias primas

Los resultados de la composición química de las harinas utilizadas en la elaboración de los panes se muestran en la Tabla 1. Se observó que hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) en la composición proximal. La harina de salvado presentó el mayor contenido de proteína (18,32 %), ceniza (4,21 %) y fibra (12,11 %), mientras que la harina de quinoa presentó el mayor contenido de lípidos (10,10 %) y el almidón de papa, el mayor contenido de carbohidratos.

Caracterización de los panes libre de y con gluten

Los resultados de las características fisicoquímicas de los panes se muestran en la Tabla 2. El tipo de pan influyó signi-

Tabla 1. Composición de las materias primas

	Harina de Trigo	Harina de Quinoa	Harina de Kiwicha	Harina de Avena	Almidón de Papa	Harina de Salvado de trigo
Humedad	11,93 ± 0,11 ^b	12,43 ± 0,44 ^{ab}	12,13 ± 0,11 ^b	12,31 ± 0,47 ^{ab}	8,63 ± 0,16 ^c	13,07 ± 0,13 ^a
Proteína*	12,89 ± 0,05 ^e	15,63 ± 0,03 ^c	16,21 ± 0,17 ^b	13,75 ± 0,15 ^d	1,67 ± 0,09 ^f	18,32 ± 0,07 ^a
Lípidos*	4,31 ± 0,07 ^d	10,10 ± 0,09 ^a	8,35 ± 0,03 ^b	7,89 ± 0,06 ^c	1,21 ± 0,05 ^f	3,16 ± 0,05 ^e
Ceniza*	0,76 ± 0,13 ^c	3,62 ± 0,02 ^a	3,09 ± 0,01 ^{ab}	2,14 ± 0,04 ^{abc}	1,49 ± 0,11 ^{bc}	4,21 ± 0,03 ^a
Carbohidratos*	80,36 ± 0,75 ^b	66,42 ± 0,40 ^e	68,48 ± 0,36 ^d	73,27 ± 0,55 ^c	94,3 ± 0,34 ^a	61,2 ± 0,41 ^f
-Fibra cruda* ^a	1,68 ± 0,10 ^e	4,23 ± 0,08 ^b	3,87 ± 0,05 ^c	2,95 ± 0,08 ^d	1,33 ± 0,21 ^e	12,11 ± 0,13 ^a

*Datos expresados en base seca como valores medios ± desviación estándar (n = 3). Los mismos superíndices en la misma fila indican que no existe diferencia significativa (p>0,05) mediante la prueba de Tukey. ^a Fibra bruta forma parte de los hidratos de carbono totales.

Tabla 2. Caracterización físico-química de los panes desarrollados

Parámetro*	Unidades	PE	PF	PLGK
		Base seca	Base seca	Base seca
Carbohidratos	%	72,08 ± 0,19 ^c	78,18 ± 0,05 ^a	73,20 ± 0,45 ^b
Proteína	%	14,10 ± 0,13 ^a	10,24 ± 0,21 ^c	11,91 ± 0,31 ^b
Grasa	%	7,26 ± 0,09 ^c	8,76 ± 0,17 ^a	7,55 ± 0,16 ^b
Ceniza	%	4,15 ± 0,24 ^a	1,78 ± 0,29 ^b	4,05 ± 0,38 ^a
Fibra cruda	%	2,41 ± 0,37 ^b	1,04 ± 0,06 ^c	3,53 ± 0,19 ^a
Fibra dietaria total	%	19,49 ± 0,50 ^a	3,95 ± 0,22 ^c	17,49 ± 0,50 ^b
Polifenoles totales	mg EAG/100 g	114,23 ± 1,81 ^b	64,83 ± 0,48 ^c	101,06 ± 1,81 ^a
Volumen específico	cm ³ /g	3,21 ± 0,06 ^b	3,47 ± 0,12 ^a	1,53 ± 0,06 ^c
Aporte energético	Kcal	419,70 ± 2,1 ^b	436,68 ± 1,07 ^a	426,35 ± 3,7 ^b

PE: Pan enriquecido; PF: Pan Francés; PLGK: Pan libre de gluten con Kiwicha; EAG: Equivalente ácido gálico; *Datos expresados en base seca como valores medios ± desviación estándar (n = 3). Los mismos superíndices en la misma fila indican que no existe diferencia significativa (p>0,05) mediante la prueba de Tukey. ^a Fibra bruta forma parte de los hidratos de carbono totales.

ficativamente (p<0,05) en el contenido de proteína, a favor del PE respecto al PLGK y al PF (elaborado con 100% harina de trigo), debido a que el contenido de proteínas en la quinoa, kiwicha, avena y salvado de trigo es superior al del trigo (Tabla 1). El PF presentó el menor valor en la presente investigación (10,24%). Respecto al contenido de grasa, el PF presentó un valor estadísticamente mayor (p< 0,05) en comparación con el PE y el PLGK, cuyos valores fueron de 7,26% y 7,55%, respectivamente. En cuanto a la materia mineral (cenizas), el PF mostró el menor valor: 1,78%, en comparación con el PLGK (4,05%) y el PE (4,15%). La fibra cruda fue estadísticamente mayor (p< 0,05) en el PLGK respecto al PE y al PF. Por otro lado, se encontraron diferencias estadísticas (p< 0,05) en la FDT, a favor del PE, cuyo valor fue de 19,49%. Los polifenoles totales también mostraron diferen-

cias significativas (p< 0,05) a favor del PE en comparación con el PLGK y el PF. El volumen específico fue mayor en el PF (p< 0,05), con un valor de 3,47 cm³/g, frente a 3,21 cm³/g en el PE y 1,53 cm³/g en el PLGK.

Evaluación biológica en panes panes tradicionales, enriquecidos y libres de gluten

El valor biológico permite determinar el nitrógeno potencialmente retenido por el organismo tras su consumo. Se encontraron 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 PE y PLGK fueron mayores en comparación con el grupo que consumió el PF (Figura 2). Además, se encontraron diferencias significativas (p < 0,05) en relación al NPR y al PER, a favor de PE y PLGK.

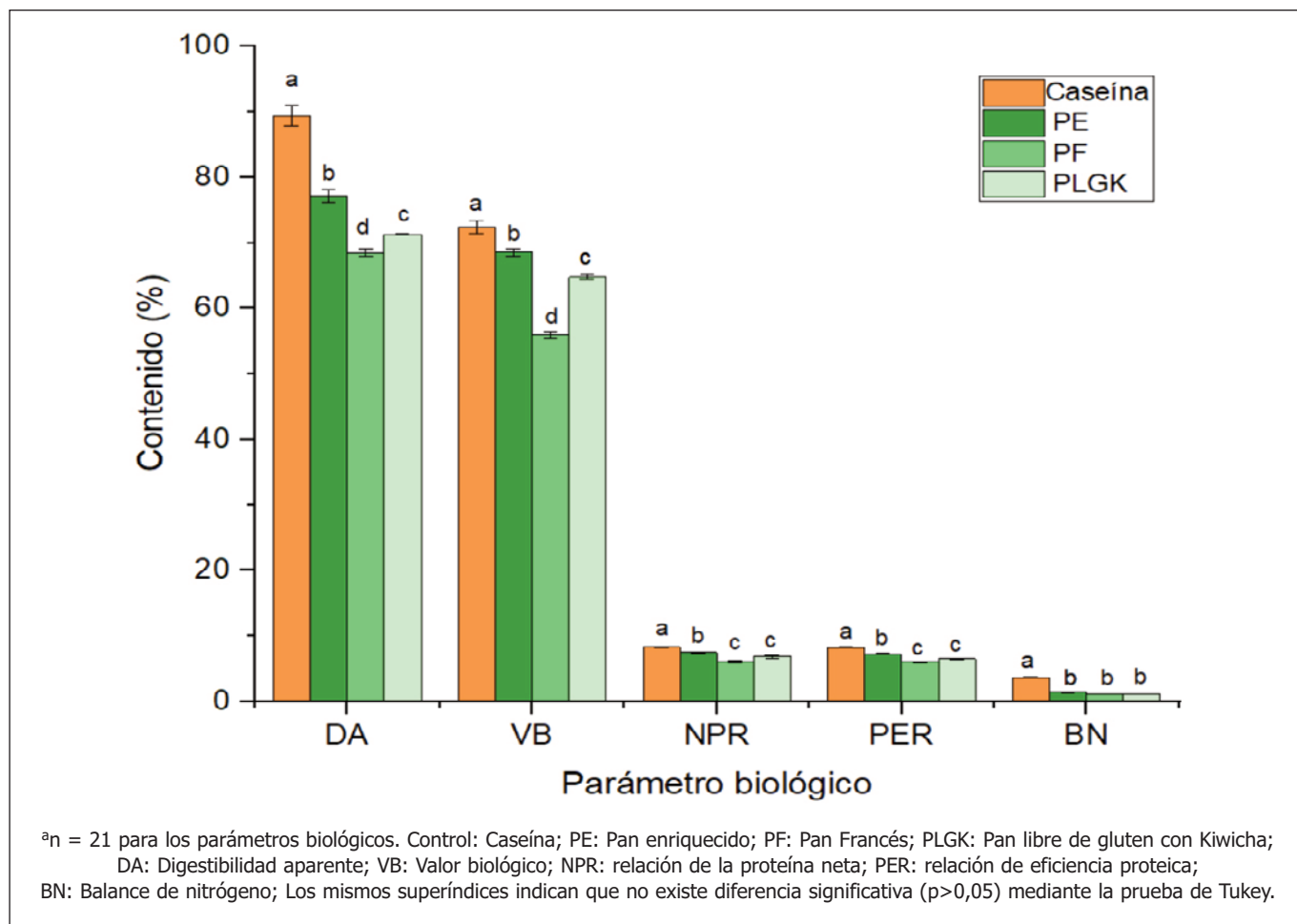


Figura 2. Parámetros del valor biológico

Aceptabilidad general en el almacenamiento en panes tradicionales, enriquecidos y libres de gluten

La aceptabilidad general mostró diferencias ($p < 0,05$) a favor del PF en comparación con el PE y PLGK en los dos primeros días de almacenamiento, cuyas puntuaciones fueron de 7,92 y 6,75, respectivamente. La menor aceptación del PE y PLGK se debe en parte a la percepción que generó en el consumidor el hecho de presentar una corteza más oscura (Figura 3). Sin embargo, al finalizar el periodo de evaluación, se obtuvieron mejores valores de aceptabilidad sensorial para el PE y PLGK en comparación con el PF.

DISCUSIONES

El objetivo del estudio fue realizar la evaluación comparativa de los diferentes tipos de panes (PLGK, PE y PF) con respecto a sus características nutricionales, biológicas y sensoriales. Con respecto a sus características nutricionales el tipo de pan influyó en el contenido de la proteína a favor del PE respecto a PLGK y PF, resultados similares fueron encontrados por Malik et al.¹³

quienes reportaron un valor de 7% para proteínas en pan elaborado a partir de una mezcla de trigo (70 %), cebada (10%), avena (10%), maíz (5%) y arroz (5%). También, Alvarez-Jubete et al.¹⁴ también demostraron, que la inclusión de harinas de kiwicha, quinua y trigo sarraceno, otorgaban niveles más altos de proteína que el pan control (100% HT). La composición de aminoácidos de las globulinas y albúminas (quinua, kiwicha) difiere significativamente a la de las prolaminas (trigo), lo que tiene implicaciones en relación con su calidad nutricional. Las globulinas y las albúminas contienen menos ácido glutámico y prolina que las prolaminas, y más aminoácidos esenciales como la lisina^{15,16}. Como resultado, la composición de aminoácidos de las proteínas de los pseudocereales como quinua y kiwicha está bien equilibrada, con un alto de aminoácidos esenciales y, por tanto, superior a la de los de los cereales comunes^{15,17,18}. El valor de la proteína en PLGK 11,91% de proteína el PLGK se debería a la participación del 53,7% el AP en su formulación, insumo con bajo nivel de proteína (1,67%), afectando la concentración en el producto final; sin embargo, es mayor a lo reportado por Paciulli, et al.¹⁹ quienes obtuvieron un 5,8% para panes a base

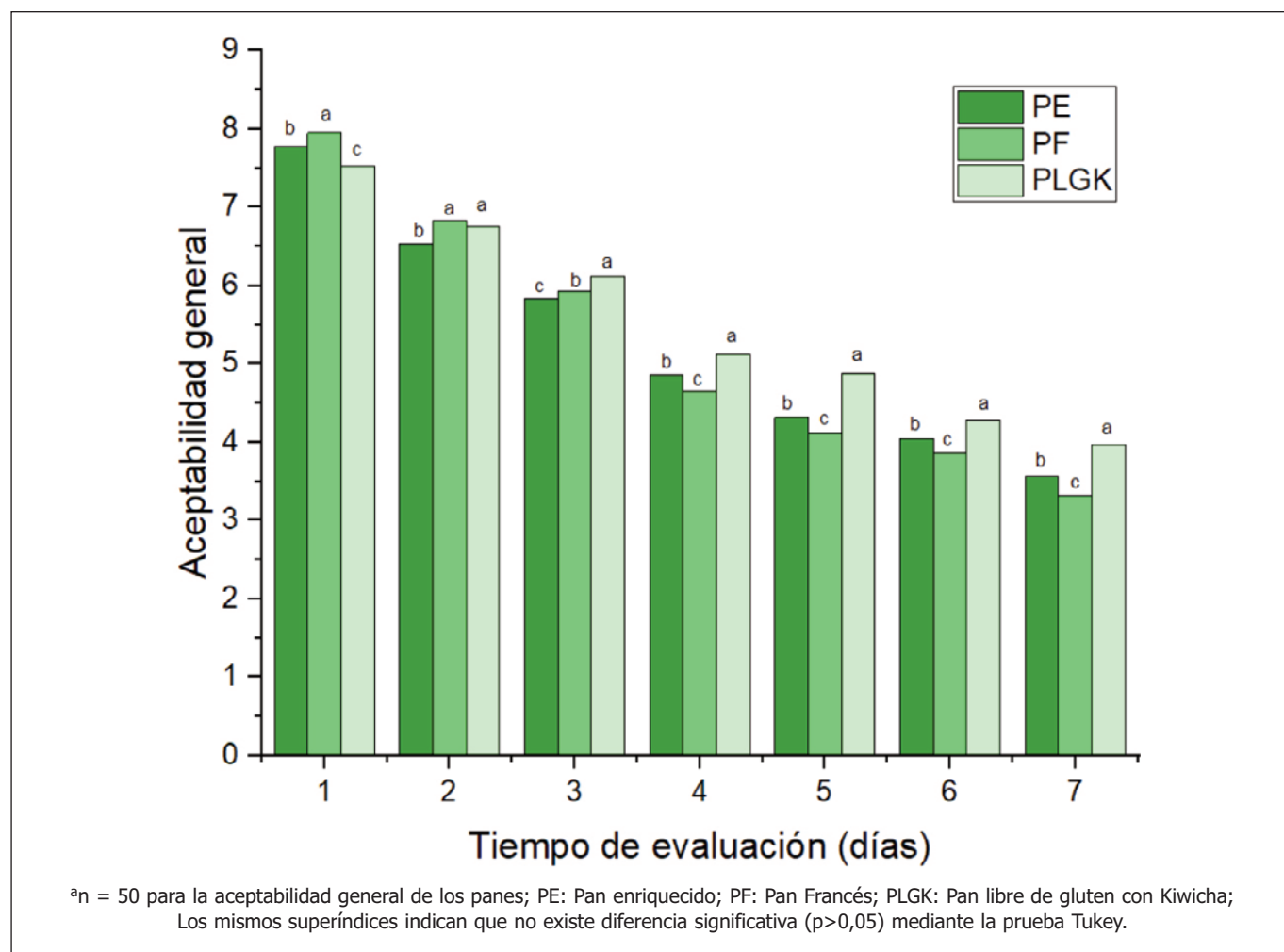


Figura 3. Aceptabilidad general durante el almacenamiento

de maíz y almidón de papa y Cornicelli et al.²⁰, para 40 tipos panes libres de gluten comerciales en el mercado italiano, con valor promedio de 4,29%. El valor de proteína del PF de la presente investigación es superior al reportado por Cornicelli et al.²⁰, el contenido proteico promedio de 42 tipos de panes regulares (con gluten) fue de 9,37%.

EL valor de 8,76% de grasas del PF es inferior al 9,89% reportado por García-Ramón et al.²¹ para pan tradicional elaborado con 100 % HT. En tanto que el valor del 7,26 % de grasa en el PE es ligeramente inferior al 7,40 % reportado en por García-Ramón et al.²¹ reportado para pan andino a partir de harina de trigo, quinua, kiwicha, avena, cebada, salvado de trigo, semillas de linaza y ajonjolí y al 12 % reportado por Angiolini y Collar²² para panes elaborados a partir de avena, centeno, trigo sarraceno y trigo (25:25:25:25). El valor de grada del PE es superior al 2% reportado por Malik et al.¹³ en panes elaborados a partir de trigo (70 %), cebada (10%), avena (10%), maíz (5%) y arroz (5%). En lo que respecta al PLGK el valor de 7,55 % es cercano a lo determinado por

Capriles y Areas²³ cuyo valor es de 7,93% para panes a base de arroz y papa en una proporción 1:1.

El valor de ceniza (1,78%) en el PF es ligeramente superior al 1,68% reportado por García-Ramón et al.¹⁰. Los valores de ceniza en el PE son superiores a los reportados por Malik et al.¹³ con un contenido de cenizas del 1%, pero inferior al 14,8% reportado por Angiolini y Collar²². En tanto que el PLGK (4,05%) es ligeramente superior a los determinados por Turkut, et al.²⁴ quienes reportan un 3,49% en panes con inclusión de quinua, arroz y papa (1:0.5:0.5). Y al 3,70 % reportado por García-Ramón et al.¹⁰ para pan elaborado a partir de almidón de papa y harina de quinua.

El valor de 3,53% para fibra bruta en el PLGK es superior al determinado por Del Catillo²⁵ con un valor de 3,33 % pero inferior al 5,87% reportado por Cornicelli et al.²⁰. El 2,41% de fibra en el PE es superior al 1,74 % reportado por García-Ramón et al.²¹ pero inferior al 10,30% reportado por Malik et al.¹³. En tanto que el valor de 1,04% de fibra en el PF es superior al

1,14% reportado por Garcia-Ramon et al.¹⁰ pero inferior al 4,65% reportado por Cornicelli et al.²⁰. La superioridad de los nutrientes en los panes se debería al tipo y la participación de ingredientes, como a sus proporciones utilizadas en las diferentes formulaciones de panes a fin de mejorar la estructura, la sensación en boca y aceptabilidad de los panes.

El contenido de FDT en el PE es superior al 13,01% reportado por Garcia Ramon et al.²¹ pero inferior al 86,04 % reportado por Angiolini y Collar²². En tanto que el 17,49 % en el PLGK es superior a lo reportado por Paciulli, et al.¹⁹ quienes indican un valor de 17,20% para panes libre de gluten elaboradas con almidón de maíz y papa. La dieta libre de gluten en pacientes celíacos es deficiente en fibra debido a la baja calidad nutricional de los insumos con los que son elaborados los PLG de consumo diario y siempre que sea posible se deben hacer recomendaciones de consumo de alimentos que pueda aumentar la ingesta de fibra. Por lo tanto el 17,49 % FDT en el PLGK lo constituye en una fuente de FDT. Asimismo, 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 día¹⁰. El PE cubre un 77,96% del valor de referencia diario, correspondiente a una porción de rodaja de 83,34g, considerándose alto en FDT, bondad que diferencia del PSGK y PF.

El valor de 114,23 mg EAG/100g en el PE es superior al 76,52 mg EAG/100g reportado por Garcia Ramon et al.²¹. El valor de 101,06 mg EAG/100g en el PLGK es superior al 78,5 mg EAG/100g para panes elaborados con 40% de sustitución de harina de quinua. Así mismo el 64,83 mg EAG/100g para PF es superior al 48,12 mg EAG/100g reportados por Mikulec et al.²⁶ para panes elaborados con 100% de HT.

Los valores de volumen específico determinados son cercanos a los determinados por Miranda-Ramos, et al.²⁷ quienes reportaron 4,05 y 2,38 cm³/g para panes con harina de trigo al 100% y pan con sustitución de 50% con harina de amaranto. Como al 3,21 cm³/g reportado por Angiolini y Collar²² en panes elaborados a partir de avena, centeno, trigo sarraceno y trigo (25:25:25:25). La reducción del volumen en PLGK es por carecer de proteínas formadora de gluten¹⁰. La disminución en lo referente al volumen específico en PE y PLGK se debería a los componentes en la formulación; principalmente por materias primas que contienen más fibra, provocando una elevada absorción de agua debido a la fibra y afectando su volumen del producto final²⁸.

El VB del PE y PLGK es cercano a lo reportado por Pérez, et al.²⁹ 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 quinua, a los de Garcia- Ramon et al.¹⁰ que incluyó 46% de quinua. En tanto que el VB determinado para PF fue mayor al hallado por Rizzello et al.³⁰ cuyo valor es de 35,5% para panes a base harina de trigo. La digestibilidad aparente fue mayor en el PE y PLGK ($p < 0,05$) respecto al PF.

El PER del grupo que consumió la dieta con PE y PLGK es mayor a lo determinado por Montero-Quintero, et al.⁷ 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 PF fue de 1,28, superior a los determinados por Hegazy y Haitham⁸ cuyo valor fue de 0,99, mientras que el NPR hallado es cercano al valor de la presente investigación. Sin embargo, el NPR es mayor a lo determinado por Reyes, et al.⁹ cuyo valor es de 1,33 en ratas que consumieron dietas a base de panes con gluten. 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.

Sin embargo, la puntuación del PE y PLGK es mayor a los determinados por Garcia-Ramon et al.²¹ para panes con sustitución de quinua cuyo valor es superior a 5. Finalmente, los siguientes días de evaluación la aceptabilidad global de los PLGK, mantuvieron una mejor puntuación sobre 4 hasta el final, a diferencia de los PE y PF que tuvieron menor valor. 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

El presente estudio demuestra que el pan enriquecido (PE), desarrollado con una innovadora mezcla de 80% harina de trigo y 20% de harinas funcionales (quinua, kiwicha, avena y salvado de trigo), se posiciona como la alternativa más equilibrada y nutricionalmente superior, respaldado por su destacado contenido proteico (14,10%), elevada fibra dietaria total (19,49%), alto contenido de polifenoles (114,23 mg EAG/100g) y excelentes parámetros biológicos (VB: 70%, DA: 76%), aunque presenta oportunidades de mejora en sus características sensoriales y tecnológicas, como el volumen específico y la aceptabilidad; las perspectivas futuras sugieren la necesidad de investigar el uso de enzimas específicas, optimizar parámetros de fermentación, realizar estudios clínicos sobre impactos metabólicos y evaluar aspectos comerciales como vida útil y análisis costo-beneficio, posicionando al PE como una alternativa prometedora para consumidores que buscan productos más nutritivos sin sacrificar completamente las características tradicionales del pan, marcando un precedente importante en la evolución de productos de panificación saludables.

BIBLIOGRAFÍA

1. Boukid F, Rosell CM. The nutritional quality of wholegrain and multigrain breads is not necessarily better than white breads: the case of gluten-free and gluten-containing breads. *Int J Food Sci Nutr* [Internet]. 2022 [cited 2024 Aug 24];73(7):902–14. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09637486.2022.2086974>
2. Cetiner B, Koksels H. Comparison of quality, dietary fiber and glycemic index of whole wheat breads using various modern

- and old wheats and investigate the effect of xylanase. *Journal of Food Measurement and Characterization* [Internet]. 2024 Jun 1 [cited 2024 Aug 24];18(6):4484–95. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-024-02509-7>
3. Avberšek Lužnik I, Lušnic Polak M, Demšar L, Gašperlin L, Polak T. Does type of bread ingested for breakfast contribute to lowering of glycaemic index? *J Nutr Intermed Metab*. 2019 Jun 1; 16:100097.
 4. Repo-Carrasco-Valencia R, Vidaurre-Ruiz J, Luna-Mercado GI. Development of Gluten-Free Breads Using Andean Native Grains Quinoa, Kañiwa, Kiwicha and Tarwi. *Proc West Mark Ed Assoc Conf*. 2020;53(1):15.
 5. Valencia-Chamorro S. *Encyclopedia of Food Grains: Quinoa, Overview*. Second Edi. Gran Bretaña: Second Edition; 2016.
 6. Miranda-Ramos KC, Sanz-Ponce N, Haros CM. Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour. *Lwt*. 2019;114(June):108418.
 7. Montero-Quintero Carolina K, Moreno-rojas R, Molina AlíE, Beatriz A, Montero-quintero KC, Molina EA, et al. REGIMENES DIETÉTICOS. *Asociación Intercienia*. 2015;40:473–8.
 8. Hegazy AI, Haitham AZ, El-khamissi. NUTRITIONAL PROTEIN QUALITY EVALUATION OF. 2020;(December 2017).
 9. Reyes MJ, De Palomo P, Bressani R. Desarrollo de un producto de panificación apto para el adulto mayor a base de harina de trigo y harina de arroz. *Arch Latinoam Nutr*. 2004;54(3):314–21.
 10. García-Ramón F, Alvarez H, Sotelo-Méndez A, Huaman-González T, Norabuena E, Sarapura-Zarate E, et al. Calidad nutricional, evaluación física, sensorial y biológica en panes convencionales y libres de gluten Nutritional quality and evaluation physic, sensory and biological of conventional and gluten-free breads. 2022; 42(1):106–14.
 11. AOAC. Association of Officiating Analytical Chemists. Washington DC; 2005.
 12. Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*. 1999;299: 152–78.
 13. Malik H. Optimisation of Process for Development of Nutritionally Enriched Multigrain Bread. *J Food Process Technol* [Internet]. 2016 [cited 2024 Jun 29];07(01). Available from: https://www.researchgate.net/publication/289488476_Optimisation_of_Process_for_Development_of_Nutritionally_Enriched_Multigrain_Bread
 14. Alvarez-Jubete L, Arendt EK, Gallagher E. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends Food Sci Technol*. 2010 Feb 1;21(2):106–13.
 15. Gorinstein S, Pawelzik E, Delgado-Licon E, Haruenkit R, Weisz M, Trakhtenberg S. Characterisation of pseudocereal and cereal proteins by protein and amino acid analyses.
 16. Koziol MJ. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis*. 1992 Mar 1;5(1):35–68.
 17. Aubrecht E, Biacs PÁ. Characterization of buckwheat grain proteins and its products. *Acta Aliment*. 2001 Mar;30(1):71–80.
 18. Drzewiecki J, Delgado-Licon E, Haruenkit R, Pawelzik E, Martin-Belloso O, Park YS, et al. Identification and differences of total proteins and their soluble fractions in some pseudocereals based on electrophoretic patterns. *J Agric Food Chem* [Internet]. 2003 Dec 17 [cited 2024 Jun 28];51(26):7798–804. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14664548/>
 19. 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 and Technology*. 2016;70:88–95.
 20. 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* [Internet]. 2018 Dec 1 [cited 2024 Jun 27];50(12):1305–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29857960/>
 21. García-Ramón F, Sotelo-Méndez A, Alvarez-Chancasanampa H, Norabuena E, Sumarriva L, Yachi K, et al. Influence of Peruvian Andean grain flours on the nutritional, rheological, physical, and sensory properties of sliced bread. *Front Sustain Food Syst*. 2023 Aug 24;7:1202322.
 22. Angioloni A, Collar C. Nutritional and functional added value of oat, Kamut®, spelt, rye and buckwheat versus common wheat in breadmaking. *J Sci Food Agric*. 2011 May;91(7):1283–92.
 23. Capriles VD, Arêas JAG. Novel approaches in gluten-free bread-making: Interface between food science, nutrition, and health. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2014;13(5):871–90.
 24. 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;69:174–81.
 25. Del Castillo V, Lescano G, Armada M. Foods formulation for people with celiac disease based on quinoa (*Chenopodium quinoa*), cereal flours and starches mixtures. *Arch Latinoam Nutr*. 2009; 39(3):332–6.
 26. Mikulec A, Kowalski S, Makarewicz M, Skoczylas Ł, Tabaszewska M. Cistus extract as a valuable component for enriching wheat bread. *LWT*. 2020 Jan 1;118:108713.
 27. Miranda-Ramos KC, Sanz-Ponce N, Haros CM. Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour. *Lwt*. 2019;114(June):108418.
 28. Zhang D, Moore WR. Effect of Wheat Bran Particle Size on Dough Rheological Properties. *J Sci Food Agric* [Internet]. 1997 [cited 2024 Aug 24];74:490–6. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/terms-and-conditions>
 29. 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.). *Scientia Agropecuaria*. 2017;8(4):377–88.
 30. 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 nutritional, textural and sensory features of white bread. *Food Microbiol*. 2016;56:1–13.