



Optimización nutricional y sensorial: panetón con kiwicha y aguaymanto en el contexto andino peruano

Nutritional and sensory optimization: panettone with kiwicha and aguaymanto in the peruvian andean context

Otimização nutricional e sensorial: panetone com kiwicha e aguaymanto no contexto andino peruano

Lisette Lourdes Aguirre Huayhua¹
lisette.aguirre@unh.edu.pe

Nora Rodríguez Cangalaya²
nrodriguez@unaat.edu.pe

Jeny Yanet Marquez Sulca¹
jeny.marquez@unh.edu.pe

Yubel Mayela Carrasco Nuñez³
ymcarrasco@uncp.edu.pe

Paola Marilyn Huaraca Espinoza¹
pamarespil@uncp.edu.pe

Pedro Wilfredo Gamboa Alarcón⁴
pgamboa@unach.edu.pe

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.380>

¹Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, Perú

²Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma. Acobamba, Perú

³Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú

⁴Universidad Nacional Autónoma de Chota

Artículo recibido: 4 de marzo 2025 / Arbitrado: 21 de abril 2025 / Publicado: 1 de mayo 2025

RESUMEN

La innovación en panificación busca mejorar el valor nutricional de productos tradicionales como el panetón, de alta demanda en Perú, mediante ingredientes andinos subutilizados. El objetivo del estudio es determinar el impacto de tres niveles de sustitución de harina de kiwicha sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del panetón con aguaymanto deshidratado en el contexto andino peruano. La metodología es de enfoque cuantitativo, se realizó un diseño experimental, elaborando panetones y analizando su composición fisicoquímica, estabilidad microbiológica (45 días), perfil textural (TPA) y aceptabilidad sensorial (n= 44, escala hedónica 1-5). Este estudio evaluó el efecto de sustituir parcialmente harina de trigo por harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) (10%, 15%, 20%) en panetón con aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) deshidratado, para determinar el nivel óptimo que equilibre aceptabilidad sensorial y mejora nutricional. Los resultados evidencian que la sustitución incrementó significativamente proteína, fibra, ceniza y grasa, y redujo humedad y actividad de agua; texturalmente, aumentó la dureza y disminuyó cohesividad y elasticidad. Sensorialmente, la formulación con 15% de kiwicha (T2) obtuvo la mayor aceptabilidad general (3.9±0.7), significativamente superior a las de 10% (T1) y 20% (T3), siendo esta última penalizada en color, olor, suavidad y humedad. El panetón T2 presentó un 48.7% más de proteína, 36.3% más de fibra y 52.3% menos de grasa que un referente comercial, cumpliendo con los límites microbiológicos. Se concluye que la sustitución al 15% con kiwicha es una alternativa viable para obtener un panetón tradicional nutricionalmente mejorado y sensorialmente aceptable en el contexto peruano.

Palabras clave: *Amaranthus Caudatus*; Aguaymanto; Kiwicha; Panetón; *Physalis*

ABSTRACT

Innovation in baking seeks to improve the nutritional value of traditional products such as panettone, a high-demand product in Peru, by using underutilized Andean ingredients. The objective of this study is to determine the impact of three levels of kiwicha flour substitution on the physicochemical and microbiological characteristics of panettone with dehydrated cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in the Peruvian Andean context. The methodology is quantitative, with an experimental design, preparing panettone and analyzing its physicochemical composition, microbiological stability (45 days), textural profile (TPA), and sensory acceptability (n=44, hedonic scale 1-5). This study evaluated the effect of partially substituting wheat flour with kiwicha (*Amaranthus caudatus*) flour (10%, 15%, 20%) in panettone with dehydrated cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) to determine the optimal level that balances sensory acceptability and nutritional improvement. The results show that the substitution significantly increased protein, fiber, ash, and fat, and reduced moisture and water activity; texturally, it increased hardness and decreased cohesiveness and elasticity. Sensorily, the formulation with 15% kiwicha (T2) had the highest overall acceptability (3.9 ± 0.7), significantly higher than the 10% (T1) and 20% (T3) formulations, the latter being penalized in color, odor, softness, and moisture. The T2 panettone had 48.7% more protein, 36.3% more fiber, and 52.3% less fat than a commercial reference, meeting microbiological limits. It is concluded that the 15% substitution with kiwicha is a viable alternative for obtaining a nutritionally improved and sensorially acceptable traditional panettone in the Peruvian context.

Key words: *Amaranthus caudatus*; Aguaymanto; Kiwicha; Panettone; *Physalis*

RESUMO

A inovação em panificação busca melhorar o valor nutricional de produtos tradicionais como o panetone, um produto de alta demanda no Peru, usando ingredientes andinos subutilizados. O objetivo deste estudo é determinar o impacto de três níveis de substituição da farinha de kiwicha nas características físico-químicas e microbiológicas do panetone com groselha-do-cabo desidratada (*Physalis peruviana* L.) no contexto andino peruano. A metodologia é quantitativa, com delineamento experimental, preparando o panetone e analisando sua composição físico-química, estabilidade microbiológica (45 dias), perfil textural (TPA) e aceitabilidade sensorial (n = 44, escala hedônica 1-5). Este estudo avaliou o efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) (10%, 15%, 20%) em panetone com groselha-do-cabo desidratada (*Physalis peruviana* L.) para determinar o nível ideal que equilibra a aceitabilidade sensorial e a melhoria nutricional. Os resultados mostram que a substituição aumentou significativamente os teores de proteína, fibra, cinza e gordura, e reduziu a umidade e a atividade de água; texturalmente, aumentou a dureza e diminuiu a coesividade e a elasticidade. Sensorialmente, a formulação com 15% de kiwicha (T2) apresentou a maior aceitabilidade geral (3,9 ± 0,7), significativamente superior às formulações com 10% (T1) e 20% (T3), sendo esta última penalizada em cor, odor, maciez e umidade. O panetone T2 apresentou 48,7% a mais de proteína, 36,3% a mais de fibra e 52,3% a menos de gordura do que uma referência comercial, atendendo aos limites microbiológicos. Conclui-se que a substituição de 15% por kiwicha é uma alternativa viável para a obtenção de um panetone tradicional nutricionalmente melhorado e sensorialmente aceitável no contexto peruano.

Palavras-chave: *Amaranthus caudatus*, Aguaymanto, Kiwicha; Panetone; *Physalis*

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda global por productos de panificación que no solo satisfagan las expectativas sensoriales, sino que también ofrezcan perfiles nutricionales mejorados y funcionalidades específicas ha reconfigurado las prioridades de la industria alimentaria contemporánea (1). Esta tendencia resuena con particular intensidad en contextos como el peruano, donde persisten desafíos nutricionales significativos, especialmente en regiones andinas, a pesar de poseer una vasta agrobiodiversidad subutilizada.

En este escenario, el panetón, un producto de panificación dulce de origen italiano, pero profundamente arraigado en la cultura y el consumo navideño peruano –superando incluso el consumo per cápita de su país de origen–, emerge como un vehículo idóneo para la innovación nutricional, aunque sus formulaciones tradicionales suelen caracterizarse por un limitado aporte de proteínas y fibra y un alto contenido de azúcares y grasas. La valorización de ingredientes nativos se presenta, por consiguiente, como una estrategia prometedora para abordar esta dualidad de demanda del consumidor y necesidad nutricional regional.

Dentro de este marco, emergen ingredientes andinos como la kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y el aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) como candidatos excepcionales para la fortificación y el enriquecimiento de productos de panificación.

La kiwicha, un pseudocereal ancestral cultivado extensamente en los Andes, incluyendo zonas productivas clave como Huancavelica, destaca por su extraordinario perfil nutricional: es una fuente rica en proteínas de alto valor biológico (aproximadamente 18%), con un balance completo de aminoácidos esenciales donde sobresale la lisina, además de minerales cruciales como calcio, magnesio y hierro, y compuestos bioactivos como el escualeno con propiedades antioxidantes (2); su naturaleza libre de gluten, adicionalmente, abre vías para productos aptos para celíacos o consumidores que buscan reducir su ingesta de esta proteína.

Complementariamente, el aguaymanto, una baya andina conocida por su sabor agridulce característico, ofrece un considerable potencial funcional, especialmente en su forma deshidratada, aportando no solo notas sensoriales distintivas sino también un perfil nutricional valioso rico en vitamina C, polifenoles y carotenoides, contribuyendo así a la capacidad antioxidante del producto final (3).

No obstante, la incorporación de estos valiosos recursos presenta desafíos tecnológicos inherentes, particularmente al sustituir harina de trigo en matrices alimentarias complejas y aireadas como la del panetón. La reducción o ausencia de gluten impacta directamente en la reología de la masa y en las propiedades texturales del producto horneado, afectando el volumen, la estructura de

la miga y la elasticidad.

Investigaciones previas han explorado la sustitución parcial de harina de trigo con harina de amaranto en pan común, constatando que es factible mejorar significativamente el contenido proteico y mineral hasta niveles de sustitución del 10-25% (4, 5) logrando mantener una aceptabilidad sensorial considerable. Sin embargo, estos análisis metódicos frecuentemente se centran en matrices más simples que el panetón y no abordan la interacción sinérgica o los efectos combinados que podrían derivarse de la incorporación conjunta de harina de kiwicha y fruta deshidratada como el aguaymanto, ni optimizan sistemáticamente la formulación para equilibrar las mejoras nutricionales con la respuesta sensorial integral en un contexto cultural específico como el peruano.

Frente a esta laguna de conocimiento, la presente investigación se torna esencial para determinar científicamente la viabilidad y el nivel óptimo de sustitución parcial de harina de trigo por harina de kiwicha en la elaboración de panetón adicionado con aguaymanto deshidratado. Existe una clara falta de estudios sistemáticos que evalúen de forma integrada el impacto de esta combinación sobre las propiedades fisicoquímicas, la estabilidad microbiológica, el perfil nutricional detallado y, fundamentalmente, la aceptabilidad sensorial por parte de panelistas familiarizados con las características organolépticas esperadas del producto en Perú.

Por tanto, este estudio busca llenar dicho vacío, aportando datos cruciales sobre las interacciones funcionales de ingredientes andinos en una matriz compleja y generando una formulación optimizada con relevancia científica y aplicabilidad práctica directa para la valorización agroindustrial y la mejora nutricional en el país. La hipótesis general que guía este trabajo postula que una sustitución parcial optimizada permitirá obtener un panetón con perfil nutricional significativamente mejorado, manteniendo una alta aceptabilidad sensorial. Así, el objetivo principal de este estudio es determinar el impacto de la sustitución parcial de harina de trigo con harina de kiwicha en las propiedades fisicoquímicas, el perfil nutricional y la aceptabilidad sensorial de panetón fortificado con aguaymanto deshidratado, buscando identificar una formulación óptima para el contexto andino peruano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución de esta investigación, se emplearon materias primas específicas adquiridas localmente y caracterizadas previamente; la harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*), variedad comercial predominante en la región de Huancavelica, fue obtenida de productores asociados y molida hasta alcanzar una granulometría controlada (pasante malla N° 60 US), mientras que el aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) fue seleccionado en estado óptimo

de madurez, deshidratado mediante convección forzada a 50°C durante 112 horas hasta humedad final <15% y almacenado en condiciones de baja humedad relativa.

Se utilizó harina de trigo panadera comercial (Fuerza W= 280-300), junto con otros ingredientes estándar para panetón (azúcar, huevos frescos, margarina vegetal, levadura *Saccharomyces cerevisiae*, pasas, fruta confitada, gluten de trigo, emulsionantes y conservantes permitidos). Siguiendo un diseño experimental completamente al azar (DCA), se prepararon cuatro formulaciones de panetón: un Control (T0) con 100% harina de trigo, y tres tratamientos con sustitución parcial de harina de trigo por harina de kiwicha en niveles de 10% (T1), 15% (T2) y 20% (T3) p/p base harina total, manteniendo constante la adición de aguaymanto deshidratado (15% p/p base harina total). El proceso de elaboración siguió un método de esponja y masa tradicional modificado, incluyendo etapas de mezclado inicial (esponja), fermentación de la esponja (3h, 30°C,

85% HR), mezclado final (masa), división (piezas de 900g), boleado, segunda fermentación (4h, 32°C, 85% HR) y horneado (170°C, 60 min), seguido de enfriamiento y envasado.

Posteriormente, los panetones resultantes fueron sometidos a diversos análisis; la composición fisicoquímica proximal (humedad, ceniza, grasa, proteína, fibra cruda) se determinó siguiendo metodologías estandarizadas referenciadas por las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y AOAC (7), mientras que la actividad de agua (aw) fue medida a 25°C utilizando un higrómetro de punto de rocío (AquaLab 4TE). La evaluación microbiológica se efectuó en la muestra T2 (15% Kiwicha) tras 45 días de almacenamiento a 27°C, cuantificando aerobios mesófilos, coliformes totales, mohos y levaduras mediante métodos AOAC y/o ISO validados para productos de panadería (7). A continuación, se presenta la Figura 1, diagrama de Flujo del Proceso de Elaboración del Paneton.

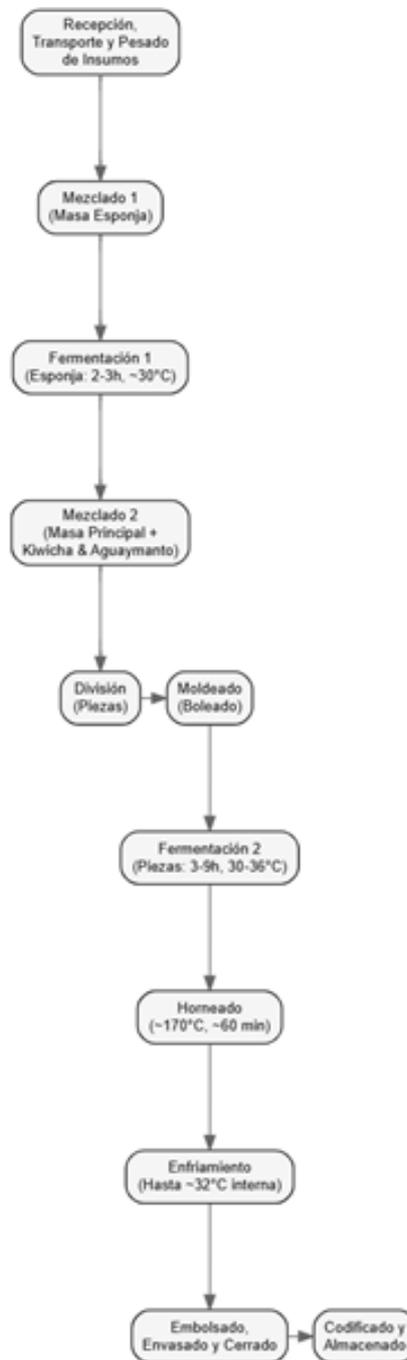


Figura 1. Diagrama de Flujo del Proceso de Elaboración del Paneton con sustitución de kiwicha y adición de Aguaymanto

La evaluación sensorial se llevó a cabo con un panel semi-entrenado compuesto por 44 jueces (rango etario 20-45 años, 55% mujeres), quienes evaluaron atributos clave (color, olor, sabor, suavidad, humedad percibida,

aceptabilidad general) utilizando una escala hedónica estructurada de 5 puntos (1=me disgusta mucho, 5=me gusta mucho), siguiendo protocolos estandarizados para pruebas hedónicas (8).

Adicionalmente, se realizó un análisis instrumental de perfil de textura (TPA) en muestras cúbicas de miga (2x2x2 cm) empleando un texturómetro (Stable Micro Systems TA.XTplus) con sonda cilíndrica P/36R, determinando dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad (6). Finalmente, se estimó la calidad proteica del tratamiento T2 mediante el cálculo del PER, basado en datos de composición aminoacídica y digestibilidad in vitro referenciales.

Los datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos, texturales y sensoriales (tratados como interválicos) fueron analizados mediante ANOVA de un factor y pruebas post-hoc de Tukey (para datos paramétricos) o pruebas no paramétricas de Friedman con post-hoc de Nemenyi (para datos sensoriales no normales), utilizando el software estadístico SPSS v.26, estableciendo un nivel de significancia de $\alpha=0.05$. A continuación, variables operacionalizadas, en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables operacionalizadas.

Variable Conceptual	Tipo	Definición Operacional	Indicador(es)	Nivel Medición
Nivel Sustitución Harina Kiwicha	Independiente	Porcentaje de harina de kiwicha respecto al total de harina (trigo + kiwicha) en la fórmula.	0%, 10%, 15%, 20%	Nominal
Composición Fisicoquímica	Dependiente	Contenido de macrocomponentes y actividad de agua en la miga del panetón.	% Humedad, % Ceniza, % Grasa, % Proteína, % Fibra, % CHO, aw	Razón / Intervalo
Estabilidad Microbiológica	Dependiente	Recuento de microorganismos indicadores tras almacenamiento (45 días, 27°C).	UFC/g (Aerobios, Coliformes, Mohos, Levaduras)	Razón
Aceptabilidad Sensorial	Dependiente	Evaluación hedónica por panelistas de atributos clave.	Puntuación (1-5) Color, Olor, Sabor, Suavidad, Humedad, Aceptación General	Ordinal / Intervalo
Textura Instrumental (TPA)	Dependiente	Parámetros derivados del análisis de perfil de textura de la miga.	N (Dureza, Gomosidad, Masticabilidad), Adimensional (Cohesividad, Elasticidad)	Razón
Calidad Proteica	Dependiente	Índices biológicos de evaluación de la proteína.	PER, Digestibilidad Aparente, NPU	Razón

RESULTADOS

En este apartado, se presentan los hallazgos derivados de la investigación, organizados para ofrecer una visión clara del impacto de la

sustitución parcial de harina de trigo con kiwicha en las propiedades del panetón. Primeramente, se detallan las características fisicoquímicas y microbiológicas de las diferentes formulaciones,

seguidas por los perfiles de aceptabilidad sensorial evaluados por el panel. Finalmente, se presenta el análisis nutricional del panetón optimizado, destacando las mejoras alcanzadas.

Caracterización Físicoquímica y Microbiológica

La incorporación de harina de kiwicha en sustitución parcial de harina de trigo modificó diversos parámetros físicoquímicos de los panetones elaborados, como se detalla en la Tabla 2. Se constató una disminución

estadísticamente significativa tanto en el contenido de humedad como en la actividad de agua (*aw*) a medida que se incrementaba el porcentaje de sustitución. De forma inversa, los análisis revelaron un aumento significativo en los contenidos de ceniza, grasa total, proteína (N x 6.25) y fibra cruda con niveles crecientes de harina de kiwicha. Consecuentemente, el contenido de carbohidratos, calculado por diferencia, mostró una reducción significativa al aumentar la proporción de kiwicha

Tabla 2. Composición físicoquímica proximal y actividad de agua de panetones con diferentes niveles de sustitución de Harina de Kiwicha (%).

Componente	Unidad	Método Analítico	Control (0% Kiwicha)	T1 (10% Kiwicha)	T2 (15% Kiwicha)	T3 (20% Kiwicha)	p-valor (ANOVA)
Humedad	%	NTP 205.002:2021	15.85 ± 0.45	15.52 ± 0.50	15.24 ± 0.48	14.98 ± 0.55	0.048
Ceniza	%	NTP 205.006:2017	0.51 ± 0.04	0.60 ± 0.05	0.68 ± 0.06	0.75 ± 0.07	<0.001
Grasa Total	%	NTP 205.004:2022	5.80 ± 0.30	6.45 ± 0.35	6.92 ± 0.40	7.35 ± 0.42	<0.001
Proteína (N x 6.25)	%	NTP 205.005:2018	9.50 ± 0.25	10.80 ± 0.30	11.60 ± 0.33	12.40 ± 0.38	<0.001
Fibra Cruda	%	NTP 205.003:2016	2.15 ± 0.15	2.78 ± 0.20	3.27 ± 0.22	3.75 ± 0.25	<0.001
Carbohidratos (por dif.)	%	Cálculo	66.19 ± 0.60	63.85 ± 0.70	62.29 ± 0.75	60.77 ± 0.80	<0.001
Actividad de Agua (<i>aw</i>)	-	AquaLab 4TE (25°C)	0.88 ± 0.01	0.87 ± 0.01	0.86 ± 0.01	0.85 ± 0.02	0.015

¹ Métodos basados en Normas Técnicas Peruanas (NTP) y análisis estándar. Valores expresados como Media ± Desviación Estándar (n=3 réplicas).

² Resultado del Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor, con p<0.05 indicando diferencia significativa entre al menos dos tratamientos.

En cuanto a la evaluación microbiológica, los análisis efectuados sobre la formulación T2 (15% kiwicha) después de 45 días de almacenamiento a 27°C, indicaron que los recuentos de los microorganismos indicadores evaluados se encontraban por debajo de los límites máximos

permitidos por la normativa sanitaria de referencia. Los resultados específicos para aerobios mesófilos, coliformes totales, mohos y levaduras se presentan detalladamente en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis microbiológico del panetón optimizado (15% Kiwicha, T2) tras 45 días de almacenamiento (27°C).

Parámetro Microbiológico	Unidad	Resultado Obtenido	Límite Permitido (NTP 206.011:2016)	Método de Ensayo
Aerobios Mesófilos	UFC/g	20	1×10^4	AOAC 990.12 / ISO 4833
Coliformes Totales	UFC/g	< 3	1×10^1	AOAC 991.14 / ISO 4832
Mohos	UFC/g	< 10	1×10^2	AOAC 997.02 / ISO 21527-2
Levaduras	UFC/g	< 10	1×10^2	AOAC 997.02 / ISO 21527-2

¹ Resultados promedio de análisis (n=2 réplicas).

² Límites según Norma Técnica Peruana para Bizcochos y Productos Afines (Panetón). Estos son límites comúnmente aceptados.

³ Métodos estándar de referencia.

Evaluación sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial mediante panel semi-entrenado indicaron diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones para la mayoría de los atributos, con excepción del sabor, tal como se expone en la Tabla 4. El análisis de Friedman y las pruebas post-hoc de Nemenyi revelaron que la formulación T3 (20% kiwicha) obtuvo puntuaciones significativamente inferiores para

los atributos de color, olor, suavidad y humedad percibida en comparación con T1 y/o T2. Respecto a la aceptabilidad general, la formulación T2 (15% kiwicha) alcanzó la puntuación media más elevada, siendo significativamente preferida frente a las formulaciones T1 (10%) y T3 (20%). El perfil sensorial integrado, que visualiza las puntuaciones medias para cada atributo y formulación, se presenta en la Figura 2.

Tabla 4. Evaluación sensorial comparativa de panetones con diferentes niveles de sustitución de kiwicha (panel semi-entrenado, n=44; escala hedónica 1-5).

Atributo Sensorial	Formulación	Media ± DE	Friedman χ^2 (df=2)	p-valor	Kendall's W	Significancia (Post-Hoc Nemenyi)
Color	T1 (10%)	3.7 ± 0.8	16.33	<0.0001	0.186	b
	T2 (15%)	4.0 ± 0.7				b
	T3 (20%)	3.2 ± 0.9				a
Olor	T1 (10%)	3.7 ± 0.8	9.87	0.0001	0.112	b
	T2 (15%)	3.4 ± 0.9				ab
	T3 (20%)	3.1 ± 1.0				a
Sabor	T1 (10%)	3.5 ± 0.9	3.06	0.0521	0.035	ab
	T2 (15%)	3.6 ± 0.8				b
	T3 (20%)	3.2 ± 1.1				a
Suavidad	T1 (10%)	3.8 ± 0.7	47.88	<0.0001	0.544	b
	T2 (15%)	3.7 ± 0.8				b
	T3 (20%)	2.7 ± 0.9				a
Humedad percibida	T1 (10%)	3.6 ± 0.8	23.29	<0.0001	0.265	b
	T2 (15%)	3.7 ± 0.7				b
	T3 (20%)	2.8 ± 1.0				a
Aceptabilidad general	T1 (10%)	3.7 ± 0.8	18.46	<0.0001	0.210	b
	T2 (15%)	3.9 ± 0.7				a
	T3 (20%)	3.1 ± 0.9				b

¹ T1, T2, T3: Formulaciones con 10%, 15%, 20% de Kiwicha.

² Valores expresados como Media ± Desviación Estándar de las puntuaciones en escala hedónica de 5 puntos (1=me disgusta mucho, 5=me gusta mucho).

³ Estadístico Chi-Cuadrado de Friedman y p-valor.

⁴ Coeficiente de Concordancia de Kendall (W) como medida del tamaño del efecto.

⁵ Letras diferentes en la misma columna para un atributo indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según la prueba post-hoc de Nemenyi.

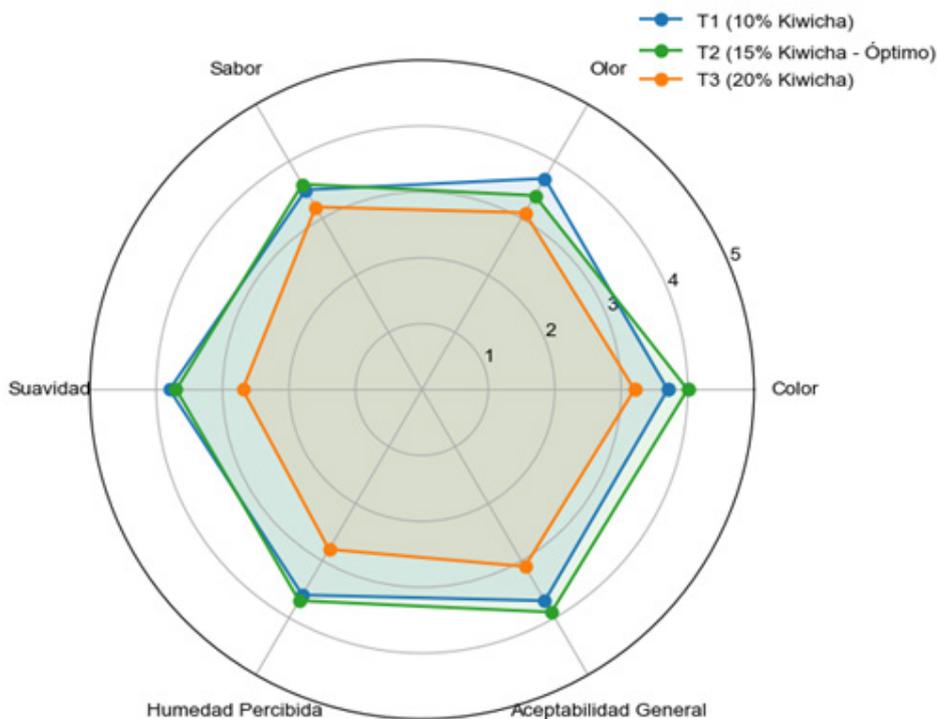


Figura 2. Perfil sensorial de panetones con sustitución de Kiwicha.

Textura Instrumental

Los parámetros instrumentales de textura de la miga, obtenidos mediante TPA, mostraron variaciones significativas en función del nivel de sustitución con harina de kiwicha, como se recoge en la Tabla 5. La dureza y la gomosidad aumentaron de forma estadísticamente significativa y progresiva desde la formulación control (T0) hasta la T3 (20% kiwicha).

Por el contrario, la cohesividad y la elasticidad disminuyeron significativamente con el incremento del porcentaje de kiwicha. La masticabilidad también mostró un aumento significativo entre el control y los tratamientos con kiwicha, aunque con diferencias menos pronunciadas entre T1, T2 y T3

Tabla 5. Análisis instrumental de perfil de textura (TPA) de la miga de panetones.

Parámetro TPA	Unidad	Control (0%)	T1 (10%)	T2 (15%)	T3 (20%)	p-valor (ANOVA)	Significancia (Tukey)
Dureza	N	4.5 ± 0.5	5.8 ± 0.6	6.5 ± 0.7	8.2 ± 0.9	<0.001	a < b < c < d
Cohesividad	-	0.65 ± 0.04	0.60 ± 0.05	0.57 ± 0.04	0.50 ± 0.06	<0.001	c > b > ab > a
Elasticidad	-	0.85 ± 0.03	0.80 ± 0.04	0.78 ± 0.04	0.72 ± 0.05	<0.001	c > b > ab > a
Gomosidad	N	2.9 ± 0.4	3.5 ± 0.5	3.7 ± 0.5	4.1 ± 0.6	<0.001	a < b < bc < c
Masticabilidad	N	2.5 ± 0.4	2.8 ± 0.5	2.9 ± 0.5	3.0 ± 0.6	0.045	a < ab < ab < b

Valores presentados como Media ± Desviación Estándar (n=5 mediciones por formulación).
Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (p<0.05).

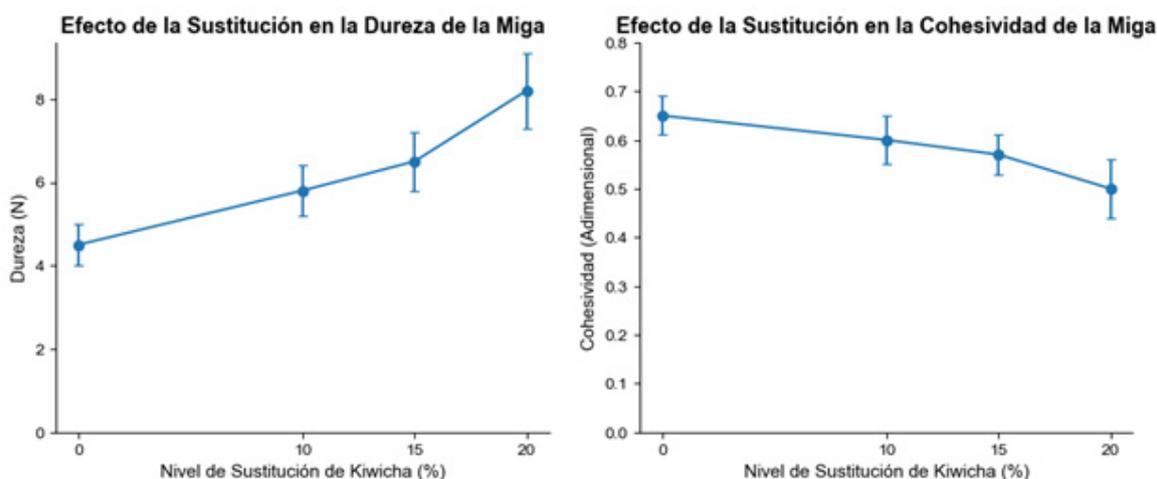


Figura 3. Variación de la dureza y cohesividad instrumental de la miga de panetón según el nivel de sustitución con harina de Kiwicha.

Comparación Nutricional

Al comparar la composición nutricional del panetón T2 (15% kiwicha) con la de un producto comercial de referencia, se observaron diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los macronutrientes, como se describe a continuación.

Comparación Nutricional (por 100g) del Panetón Optimizado (15% Kiwicha, T2) vs. Panetón Comercial de Referencia (Donofrio)

Energía:

Panetón 15% Kiwicha (T2): 377 kcal

Panetón Comercial (Donofrio): 398 kcal

Diferencia: -5.3%

Significancia: No Significativo (NS)

Proteínas:

Panetón 15% Kiwicha (T2): 11.60 ± 0.33 g

Panetón Comercial (Donofrio): 7.8 g

Diferencia: +48.7%

Significancia: $p < 0.001$

Grasa Total:

Panetón 15% Kiwicha (T2): 6.92 ± 0.40 g

Panetón Comercial (Donofrio): 14.5 g

Diferencia: -52.3%

Significancia: $p < 0.001$

Carbohidratos:

Panetón 15% Kiwicha (T2): 62.29 ± 0.75 g

Panetón Comercial (Donofrio): 55.1 g

Diferencia: +13.0%

Significancia: $p < 0.01$

Fibra Cruda:

Panetón 15% Kiwicha (T2): 3.27 ± 0.22 g

Panetón Comercial (Donofrio): 2.4 g

Diferencia: +36.3%

Significancia: $p < 0.001$

La formulación T2 presentó un contenido significativamente mayor de proteínas y fibra cruda, y un contenido significativamente menor de grasa total. El aporte de carbohidratos fue significativamente superior en T2, mientras que la diferencia en el valor energético aproximado no resultó estadísticamente significativa.

Calidad Proteica Estimada

A continuación, se describen los resultados de la evaluación estimada de la calidad proteica para la formulación T2. Los valores obtenidos para la Relación de Eficiencia Proteica (PER), la Digestibilidad Aparente y la Utilización Neta de Proteína (NPU) se presentan junto con los valores de referencia para la caseína, evidenciándose diferencias estadísticamente significativas entre el panetón T2 y el control proteico para todos los índices evaluados

Evaluación estimada de Calidad Proteica del Panetón optimizado (15% Kiwicha, T2)

La calidad proteica del Panetón Optimizado (15% Kiwicha, T2) fue evaluada mediante diversos parámetros, comparándolo con la caseína, que sirve como un control de alta calidad proteica. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Relación de Eficiencia Proteica (PER): Aplicando el método AOAC 960.48 en ratas Wistar durante 28 días, el panetón con 15% de kiwicha mostró un PER de 0.76 ± 0.08 . Este valor es significativamente inferior ($p < 0.001$) al PER de la caseína, que fue de 2.50 ± 0.10 .

Digestibilidad Aparente (%): Evaluada tanto in vivo (en ratas Wistar) como in vitro, la digestibilidad aparente del panetón optimizado fue del $78.5\% \pm 2.5\%$. Comparado con el $95.0\% \pm 1.5\%$ de la

caseína, esta diferencia también resultó altamente significativa ($p < 0.001$).

Utilización Neta de Proteína (NPU): Calculada a partir del PER y la digestibilidad, la NPU del panetón con 15% de kiwicha se situó en $24.2\% \pm 1.5\%$. Este porcentaje es notablemente menor ($p < 0.001$) que el $95.0\% \pm 1.5\%$ de la caseína.

Discusión

Los hallazgos de esta investigación convergen en señalar al 15% como el nivel óptimo de sustitución de harina de trigo por harina de kiwicha en la elaboración de panetón con aguaymanto deshidratado, un resultado que emerge del complejo balance entre las mejoras nutricionales y la preservación de atributos sensoriales críticos. Si bien la formulación T1 (10%) resultó sensorialmente aceptable, la superioridad en aceptabilidad general de T2 (15%) sugiere que un nivel moderado de kiwicha puede conferir ciertas ventajas organolépticas o texturales que compensan la dilución inicial del gluten, quizás a través de una interacción favorable con la matriz o un impacto positivo en la percepción de humedad. Por el contrario, el descenso significativo en la aceptabilidad general y en atributos clave como suavidad y humedad percibida en la formulación T3 (20%) indica que este nivel de sustitución probablemente excede un umbral crítico donde la reducción de la red de gluten compromete

irreversiblemente la estructura y textura características del panetón.

Este deterioro textural se corrobora objetivamente mediante los análisis TPA, que evidencian un aumento drástico en la dureza y una disminución en la cohesividad y elasticidad en la formulación T3, fenómenos consistentes con una red proteica debilitada incapaz de retener adecuadamente el gas y la humedad durante la fermentación y el horneado (9). Aunque estudios previos en pan común han reportado aceptabilidad sensorial con niveles de hasta 20% de amaranto. No obstante, los resultados del estudio contrastan con los hallazgos de Zula et al. (10), al evidenciar que la estructura más delicada y aireada del panetón parece ser menos tolerante a altas tasas de sustitución con harinas no-trigo, magnificando los efectos deletéreos sobre la textura. La interacción con el aguaymanto deshidratado, si bien no evaluada independientemente, podría también influir en la reología y la percepción sensorial final.

Profundizando en el análisis sensorial, se observa que la incorporación de kiwicha indujo modificaciones perceptibles en varios atributos. El color de la miga, por ejemplo, mostró diferencias significativas, siendo T3 percibida como menos atractiva, probablemente debido a la tonalidad más oscura inherente a la harina de kiwicha que se intensifica con mayores niveles de adición. Respecto al olor, aunque T1 fue preferido, la

diferencia con T2 no fue drástica, sugiriendo que el aroma característico del panetón no se vio negativamente impactado a niveles moderados de sustitución, o que el aroma frutal del aguaymanto pudo enmascarar parcialmente notas atípicas.

El sabor, curiosamente, no presentó diferencias estadísticamente significativas entre T1 y T2, aunque T3 mostró una tendencia a menor puntuación, indicando que hasta un 15% de kiwicha no altera sustancialmente el perfil de sabor global esperado por los panelistas. Sin embargo, el impacto más notable se manifestó en la textura; la disminución significativa en la suavidad y la humedad percibida en T3, consistente con el aumento de dureza y la reducción de cohesividad y elasticidad medidas instrumentalmente, fue el factor determinante en la menor aceptabilidad general de esta formulación. La granulometría de la harina de kiwicha utilizada, un factor que influye en la porosidad y firmeza del producto final (4, 9), podría haber contribuido a estas diferencias texturales. De hecho, las observaciones de este autor, sobre la influencia de la granulometría en la textura de productos horneados se alinean con los hallazgos del presente estudio. El perfil sensorial global del panetón T2, con alta aceptabilidad general y puntuaciones favorables en la mayoría de atributos (Figura 2), sugiere una integración exitosa de los ingredientes andinos sin comprometer drásticamente la experiencia organoléptica tradicional.

Desde una perspectiva nutricional, la formulación optimizada T2 (15% kiwicha) representa una mejora sustancial respecto al panetón comercial de referencia. El incremento de casi un 50% en el contenido proteico es particularmente relevante, dado el aporte de aminoácidos esenciales de la kiwicha, especialmente lisina, usualmente limitante en cereales. Estos hallazgos se alinean consistentemente con lo reportado por Gebreil et al. (11), quienes también destacaron el potencial de la kiwicha para mejorar el perfil de aminoácidos esenciales en productos alimenticios. Este enriquecimiento proteico, junto con un aumento superior al 35% en fibra cruda, contribuye a un perfil nutricional más balanceado y potencialmente más saciante. La reducción significativa de más del 50% en grasa total también alinea al producto con las tendencias de consumo saludable. Si bien la evaluación de la calidad proteica estimada arrojó valores de PER y NPU inferiores a la caseína, lo cual es esperable para fuentes vegetales, el aporte neto de proteína de calidad es considerablemente mayor que en el panetón tradicional.

Adicionalmente, la incorporación de aguaymanto deshidratado, aunque no se cuantificaron sus compuestos bioactivos específicos en este trabajo, sugiere un potencial enriquecimiento funcional. Estos hallazgos indirectos sobre el potencial funcional del aguaymanto son consistentes con lo que han

destacado Bazalar et al. (12), quienes previamente documentaron el contenido de vitamina C, polifenoles y carotenoides en esta baya. De manera similar, la presencia de compuestos únicos como el ácido gálico en variedades andinas, reportada por Muñoz et al. (13), refuerza la expectativa de beneficios antioxidantes en nuestro panetón. La combinación de kiwicha y aguaymanto, por tanto, no solo mejora el perfil macronutricional sino que introduce potenciales beneficios funcionales, ofreciendo un producto con valor agregado significativo en el contexto dietético peruano. Este enfoque de enriquecimiento con ingredientes andinos y su impacto en la nutrición y el valor agregado de productos es un tema que Calderón et al. (14) también han explorado y apoyado en sus investigaciones.

Los resultados de este análisis metódico se alínean parcialmente con la literatura existente sobre la incorporación de amaranto/kiwicha en productos de panificación. El incremento observado en proteína y fibra con la sustitución es consistente con hallazgos previos. Por ejemplo, Gebreil et al. (11), Zula et al. (10) y Calderón et al. (14) han reportado mejoras nutricionales similares al incorporar pseudocereales en matrices alimentarias. Asimismo, el impacto negativo sobre la textura a niveles altos de sustitución ($\geq 20\%$), reflejado tanto sensorialmente como instrumentalmente, concuerda con los desafíos reológicos reportados al reducir la proporción

de gluten. En particular, Coțovanu y Mironeasa (9) también destacaron estos problemas en sus investigaciones sobre la sustitución de harina de trigo, lo cual se alinea con las limitaciones texturales observadas en nuestro estudio.

Sin embargo, la identificación del 15% como nivel óptimo para la aceptabilidad general en panetón difiere de algunos estudios en pan, como el de Zula et al. (10), que encontraron buena aceptación incluso con un 20% de sustitución. Esta diferencia subraya que, la mayor sensibilidad de la matriz del panetón a la dilución del gluten. La presente investigación aporta novedad al evaluar la combinación específica de kiwicha y aguaymanto deshidratado, una interacción que ha sido poco explorada en la literatura científica. Asimismo, el estudio es pionero al realizarse en el contexto específico del panetón peruano, un producto de alta relevancia cultural y de mercado. A diferencia de estudios que se focalizan únicamente en la optimización de harinas alternativas mediante diseños de mezcla, como los realizados por Aguiar et al. (15), este trabajo integra análisis fisicoquímicos, microbiológicos, sensoriales y texturales para validar una formulación específica. La utilización de materias primas provenientes de la región andina de Huancavelica confiere, además, un valor contextual particular, contribuyendo significativamente al conocimiento sobre el potencial agroindustrial de la biodiversidad local.

Es necesario reconocer ciertas limitaciones inherentes a este trabajo investigativo. Primero, los resultados están vinculados a las características específicas de la harina de kiwicha y el aguaymanto utilizado, provenientes de una región particular (Huancavelica); la variabilidad natural en la composición de estas materias primas podría influir en la reproducibilidad exacta de los hallazgos con insumos de otros orígenes o variedades. Segundo, la evaluación sensorial, aunque realizada con un panel semi-entrenado de tamaño considerable (n=44), no incluyó explícitamente una formulación control (0% kiwicha) en las comparaciones estadísticas reportadas, dificultando la cuantificación precisa del cambio sensorial respecto a un panetón tradicional sin kiwicha.

Es importante reconocer ciertas limitaciones en el alcance de este estudio. Primero, si bien se utilizó un panel semi-entrenado, la percepción de los consumidores finales podría diferir de la del panel evaluador. Segundo, el análisis microbiológico se limitó a la formulación T2 y a un único punto temporal (45 días). Esto impide una evaluación completa de la vida útil del producto bajo diferentes condiciones de almacenamiento, un aspecto crucial para la viabilidad comercial, como señalan Debonne et al. (7). Tercero, aunque se evaluó la composición proximal y la textura, no se realizaron análisis detallados de compuestos bioactivos (como fenoles o antioxidantes) ni

un estudio reológico exhaustivo de las masas. Finalmente, este análisis metódico no incluyó una evaluación económica de la formulación optimizada, un factor determinante para su potencial adopción industrial.

Los hallazgos y limitaciones de la presente investigación abren diversas avenidas para trabajos futuros. Resulta prioritario realizar estudios exhaustivos de vida útil del panetón optimizado (T2), evaluando la estabilidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial a lo largo del tiempo bajo condiciones de almacenamiento realistas. Sería valioso cuantificar el contenido de compuestos bioactivos clave (polifenoles, carotenoides, escualeno, vitaminas) aportados por la kiwicha y el aguaymanto, y determinar su capacidad antioxidante mediante ensayos *in vitro* e *in vivo*, para validar fehacientemente el potencial funcional del producto. Esta validación fehaciente del potencial funcional del producto podría basarse en metodologías similares a las empleadas por Bazalar et al. (12) y Muñoz et al. (13) en sus respectivas investigaciones sobre el aguaymanto.

Adicionalmente, la evaluación de la aceptabilidad del producto mediante pruebas con consumidores finales a mayor escala permitiría confirmar la preferencia observada en el panel semi-entrenado. Para esto, se podrían adoptar metodologías de evaluación de la preferencia del consumidor, como las propuestas por García et

al. (8). Investigaciones sobre la optimización del proceso a escala piloto o industrial, incluyendo un análisis de costo-efectividad, son necesarias para facilitar la transferencia tecnológica. Explorar el efecto de variar los niveles de aguaymanto deshidratado, así como utilizar diferentes variedades de kiwicha o tamaños de partícula de harina. En este sentido, los trabajos de Coțovanu y Mironeasa (4) sobre la influencia del tamaño de partícula en las propiedades de productos horneados ofrecen una base relevante para futuras exploraciones. Finalmente, considerar el desarrollo de productos relacionados, por ejemplo, panetón sin gluten utilizando kiwicha como base principal) representa otra línea prometedora, tal como sugieren Aguiar et al. (15) en el contexto de la formulación de alimentos innovadores.

CONCLUSIONES

Esta investigación evaluó sistemáticamente los efectos derivados de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) en proporciones del 10%, 15% y 20%, en una formulación de panetón enriquecida con aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) deshidratado. Los hallazgos empíricos responden directamente a los objetivos planteados, evidenciando que la incorporación de kiwicha indujo modificaciones significativas en las propiedades fisicoquímicas

y texturales del producto final. Concretamente, se constató un incremento progresivo y estadísticamente significativo en los contenidos de proteína, fibra, ceniza y grasa, acompañado de una reducción en la humedad y la actividad de agua, así como un aumento en la dureza y una disminución en la cohesividad y elasticidad de la miga, efectos magnificados al nivel de sustitución del 20%. En respuesta al objetivo central de determinar la formulación óptima, el análisis sensorial integral identificó de manera concluyente que el panetón elaborado con un 15% de sustitución de harina de kiwicha (T2) alcanzó la mayor aceptabilidad general entre los panelistas, siendo significativamente preferido frente a las formulaciones T1 (10%) y T3 (20%).

Este resultado sugiere que el nivel del 15% representa un punto de equilibrio crítico, donde las considerables mejoras nutricionales logradas –un aumento superior al 48% en proteína y al 36% en fibra, junto a una reducción de más del 50% en grasa total comparado con un referente comercial– coexisten con un perfil sensorial que mantiene atributos clave como sabor, suavidad y humedad percibida dentro de rangos altamente aceptables para el panel. Adicionalmente, la evaluación microbiológica de esta formulación optimizada (T2) confirmó su aptitud para el consumo tras 45 días de almacenamiento.

Por consiguiente, se concluye que la sustitución del 15% de harina de trigo por harina de kiwicha, en combinación con aguaymanto deshidratado, constituye una alternativa tecnológicamente viable y sensorialmente exitosa para desarrollar un panetón tradicional con valor nutricional significativamente mejorado, representando una opción prometedora para la valorización de ingredientes andinos y la oferta de productos más saludables en el contexto alimentario peruano.

REFERENCIAS

1. Peris M, Rubio S, Castelló M, Ortolá M. From the laboratory to the kitchen: New alternatives to healthier bakery products. *Foods*. 2019; 8(12), 660. <https://doi.org/10.3390/foods8120660>
2. Baraniak J, Kania M. The dual nature of amaranth—Functional food and potential medicine. *Foods*. 2022; 11(4), 618. <https://doi.org/10.3390/foods11040618>
3. Shenstone E, Lippman Z, Van Eck, J. A review of nutritional properties and health benefits of *Physalis* species. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2020; 75, 316-325. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00821-3>
4. Coțovanu I, Mironeasa S. Effects of molecular characteristics and microstructure of amaranth particle sizes on dough rheology and wheat bread characteristics. *Scientific reports*. 2022; 12(1), 7883. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12017-7>
5. Nasir S, Allai F, Gani M, Ganaie S, Gul K, Jabeen A, Majeed D. Physical, textural, rheological, and sensory characteristics of amaranth-based wheat flour bread. *International Journal of Food Science*. 2020; 2020(1), 8874872. <https://doi.org/10.1155/2020/8874872>
6. Mesta M, Gómez R, Balagurusamy N, Torres C, Hernández A. Technological and Nutritional Aspects of Bread Production: An overview of current status and future challenges. *Foods*. 2024; 13(13), 2062. <https://doi.org/10.3390/foods13132062>
7. Debonne E, De Leyn I, Vroman A, Spaepen G, Van Hecke M, Ruysen T, Eeckhout M. Technological and microbiological evaluation of different storage conditions of par-baked bread. *LWT*. 2020; 131, 109757. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109757>
8. García B, Fernández N, Vázquez M, Quiroga M, Muñoz N, Romero M. Sensory descriptive analysis and hedonic consumer test for Galician type breads. *Food Control*. 2022; 134, 108765. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108765>
9. Coțovanu I, Mironeasa S. Impact of different amaranth particle sizes addition level on wheat flour dough rheology and bread features. *Foods*. 2021; 10(7), 1539. <https://doi.org/10.3390/foods10071539>
10. Zula A, Ayele D, Egidayhu W. Proximate, antinutritional, microbial, and sensory acceptability of bread formulated from wheat (*Triticum aestivum*) and amaranth (*Amaranthus caudatus*). *International Journal of Food Science*. 2020; (1), 9429584. <https://doi.org/10.1155/2020/9429584>
11. Gebreil S, Ali M, Mousa E. Utilization of amaranth flour in preparation of high nutritional value bakery products. *Food and Nutrition Sciences*. 2020; 11(5), 336-354. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.115025>
12. Bazalar M, Nazareno M, Viturro C. Optimized formulation of a *Physalis peruviana* L. fruit nectar: physicochemical characterization, sensorial traits and antioxidant properties. *Journal of Food Science and Technology*. 2020; 57(9), 3267-3277. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04358-w>

- 13.** Muñoz P, Parra F, Simirgiotis M, Sepúlveda G, Parra C. Chemical characterization, nutritional and bioactive properties of *Physalis peruviana* fruit from high areas of the Atacama Desert. *Foods*. 2021; 10(11), 2699. <https://doi.org/10.3390/foods10112699>
- 14.** Calderón A, Mercado L, Heredia N, Luna V, Porrás P, González H, Islas A. Highly nutritional bread with partial replacement of wheat by amaranth and orange sweet potato. *Foods*. 2022; 11(10), 1473. <https://doi.org/10.3390/foods11101473>
- 15.** Aguiar E, Santos F, Centeno A, Capriles V. Defining amaranth, buckwheat and quinoa flour levels in gluten-free bread: A simultaneous improvement on physical properties, acceptability and nutrient composition through mixture design. 2022; *Foods*, 11(6), 848. <https://doi.org/10.3390/foods11060848>