



Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de haba y maca negra sobre las propiedades tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales del pan

Effect of the partial substitution of wheat flour with broad bean and black maca flour on the technological, physicochemical and sensory properties of bread

Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de fava e maca preta nas propriedades tecnológicas, físico-químicas e sensoriais do pão.

ARTÍCULO ORIGINAL

Jose Maycol Palacios Condori

<https://orcid.org/0009-0008-8153-5125>

Universidad Privada San Juan Bautista,
Lima – Perú

Yadira Mayerlis Duran Vera

<https://orcid.org/0009-0009-5498-7879>

Universidad Privada San Juan Bautista,
Lima – Perú

Daniel Jhon Seminario Mejia

<https://orcid.org/0009-0003-2335-5197>

Universidad Privada San Juan Bautista,
Ica – Perú

Juan Benito Kenyo Perez Salazar

<https://orcid.org/0009-0005-0807-3882>

Universidad Privada San Juan Bautista,
Ica – Perú

Recibido 15 de Junio 2026 | Arbitrado y aceptado 28 de Junio 2026 | Publicado el 21 de Julio 2026

RESUMEN

La incorporación de harinas alternativas en productos panificados constituye una estrategia para mejorar su valor nutricional y funcional. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por una mezcla de harina de maca negra (*Lepidium meyenii* Walp.) y harina de haba (*Vicia faba* L.) sobre las propiedades tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales del pan. Se empleó un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos (0, 5, 10 y 15 % de sustitución), cada uno elaborado por triplicado. Se determinaron el volumen específico mediante los métodos de desplazamiento de semillas, el color instrumental (L^* , a^* y b^*) utilizando el sistema CIELab, el pH de la masa y los atributos sensoriales de aroma, sabor, textura, color y aceptación general. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los resultados evidenciaron que la sustitución parcial modificó significativamente las propiedades tecnológicas y fisicoquímicas del pan. El tratamiento con 10 % de sustitución presentó el mayor volumen específico determinado por el método de desplazamiento de semillas ($3,87 \text{ cm}^3/\text{g}$), mientras que el incremento de las harinas alternativas redujo la luminosidad (L^*) de 82,67 a 73,33 e incrementó las coordenadas cromáticas a^* y b^* de 0,43 a 6,93 y de 23,54 a 40,30, respectivamente ($p < 0,05$). Asimismo, el pH aumentó significativamente con el nivel de sustitución. En contraste, la evaluación sensorial no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos para aroma, sabor, textura, color y aceptación general. Se concluye que la sustitución parcial de harina de trigo por harina de maca negra y harina de haba constituye una alternativa tecnológicamente viable para desarrollar panes con mayor potencial funcional, mejorando sus propiedades tecnológicas y fisicoquímicas sin comprometer su aceptabilidad sensorial.

Palabras clave: pan; harina de maca negra; harina de haba; calidad tecnológica; evaluación sensorial.

ABSTRACT

The incorporation of alternative flours into bakery products has emerged as an effective strategy to enhance their nutritional and functional value. In this context, the present study aimed to evaluate the effect of partially replacing wheat flour with a blend of black maca (*Lepidium meyenii* Walp.) and faba bean (*Vicia faba* L.) flours on the technological, physicochemical, and sensory properties of bread. A completely randomized design was employed with four treatments (0%, 5%, 10%, and 15% substitution levels), each prepared in triplicate. Specific volume was determined using the millet seed displacement method, while instrumental color (L^* , a^* , and b^*) was measured using the CIELab color system. Dough pH and the sensory attributes of aroma, flavor, texture, color, and overall acceptability were also evaluated. Data were analyzed by analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's multiple comparison test ($p < 0.05$). The results showed that partial substitution significantly affected the technological and physicochemical properties of bread. The 10% substitution treatment exhibited the highest specific volume determined by the seed displacement method ($3.87 \text{ cm}^3/\text{g}$), whereas increasing substitution levels reduced lightness (L^*) from 82.67 to 73.33 and increased the a^* and b^* color coordinates from 0.43 to 6.93 and from 23.54 to 40.30, respectively ($p < 0.05$). Likewise, dough pH increased significantly as the substitution level increased. In contrast, sensory evaluation revealed no significant differences ($p > 0.05$) among treatments regarding aroma, flavor, texture, color, and overall acceptability. These findings indicate that the partial replacement of wheat flour with black maca and faba bean flours represents a technologically viable strategy for producing breads with enhanced functional potential while improving their technological and physicochemical properties without compromising consumer sensory acceptance.

Keywords: bread; black maca flour; faba bean flour; technological quality; sensory evaluation.

RESUMO

A incorporação de farinhas alternativas em produtos de panificação representa uma estratégia promissora para aumentar seu valor nutricional e funcional. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da substituição parcial da farinha de trigo por uma mistura de farinha de maca negra (*Lepidium meyenii* Walp.) e farinha de fava (*Vicia faba* L.) sobre as propriedades tecnológicas, físico-químicas e sensoriais do pão. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (0%, 5%, 10% e 15% de substituição), cada um preparado com três repetições. O volume específico foi determinado pelos métodos de deslocamento de sementes de painço, enquanto a cor instrumental (L^* , a^* e b^*) foi avaliada utilizando o sistema CIELab. Também foram determinados o pH da massa e os atributos sensoriais de aroma, sabor, textura, cor e aceitação global. Os dados foram analisados por análise de variância (ANOVA), seguida do teste de comparações múltiplas de Tukey ($p < 0,05$). Os resultados demonstraram que a substituição parcial influenciou significativamente as propriedades tecnológicas e físico-químicas do pão. O tratamento com 10% de substituição apresentou o maior volume específico determinado pelo método de deslocamento de sementes ($3,87 \text{ cm}^3/\text{g}$), enquanto o aumento dos níveis de substituição reduziu a luminosidade (L^*) de 82,67 para 73,33 e elevou as coordenadas cromáticas a^* e b^* de 0,43 para 6,93 e de 23,54 para 40,30, respectivamente ($p < 0,05$). Da mesma forma, o pH da massa aumentou significativamente com o incremento do nível de substituição. Em contrapartida, a avaliação sensorial não revelou diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos quanto aos atributos aroma, sabor, textura, cor e aceitação global. Conclui-se que a substituição parcial da farinha de trigo por farinha de maca negra e farinha de fava constitui uma estratégia tecnologicamente viável para o desenvolvimento de pães com maior potencial funcional, melhorando suas propriedades tecnológicas e físico-químicas sem comprometer a aceitação sensorial do produto.

Palavras-chave: pão; farinha de maca negra; farinha de fava; qualidade tecnológica; avaliação sensorial.

1. Introducción

El pan constituye uno de los alimentos de mayor consumo a nivel mundial debido a su disponibilidad, bajo costo y aporte energético, convirtiéndose en un componente esencial de la dieta en numerosos países. Tradicionalmente, su elaboración se basa en harina de trigo (*Triticum aestivum* L.), la cual posee proteínas formadoras de gluten responsables de la estructura, elasticidad y capacidad de retención de gases durante la fermentación. Sin embargo, desde el punto de vista nutricional, el pan elaborado exclusivamente con harina de trigo presenta limitaciones relacionadas con su contenido de fibra dietaria, compuestos bioactivos y algunos aminoácidos esenciales, lo que ha impulsado el desarrollo de formulaciones enriquecidas mediante la incorporación de ingredientes de origen vegetal con propiedades funcionales (Johnston et al., 2023a; Cappelli & Cini, 2021).

Entre las materias primas de mayor interés se encuentra la harina de haba (*Vicia faba* L.), una leguminosa caracterizada por su elevado contenido de proteínas, fibra dietaria, minerales y compuestos antioxidantes. Diversas investigaciones han demostrado que su incorporación parcial en productos panificados incrementa el valor nutricional del producto final; sin embargo, también puede modificar las propiedades reológicas de la masa debido a la dilución de las proteínas del gluten, afectando parámetros tecnológicos como el volumen específico, la textura y el color del pan (Benayad et al., 2021; Olakanmi et al., 2024).

Por otra parte, la maca negra (*Lepidium meyenii* Walp.), cultivo originario de los Andes peruanos, ha despertado un creciente interés por su contenido de compuestos bioactivos, entre ellos glucosinolatos, macamidas, compuestos fenólicos y metabolitos con actividad antioxidante. Además de su aporte nutricional, la harina de maca representa una alternativa para el desarrollo de alimentos funcionales con mayor valor agregado, favoreciendo el aprovechamiento de recursos agrícolas andinos y la diversificación de productos panificados (Ryu et al., 2024; Alarcón-García et al., 2020).

Desde el punto de vista tecnológico, la sustitución parcial de harina de trigo por harinas no convencionales representa un desafío, ya que reduce la proporción de gluten disponible para formar la red viscoelástica responsable de retener el dióxido de carbono producido durante la fermentación. Como consecuencia, pueden presentarse

modificaciones en el volumen específico, la estructura de la miga, el color, la pérdida por horneado y la aceptabilidad sensorial del pan. Por ello, resulta fundamental establecer niveles de sustitución que permitan mejorar el perfil nutricional del producto sin comprometer su calidad tecnológica ni su aceptación por parte del consumidor (Olakanmi et al., 2022; Monteiro et al., 2021).

Si bien diversos estudios han evaluado de forma independiente la incorporación de harina de haba o de harina de maca en productos de panificación, la evidencia científica disponible sobre el efecto combinado de ambas materias primas en las propiedades tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales del pan aún es limitada. En particular, existe escasa información acerca de cómo diferentes niveles de sustitución modifican simultáneamente el volumen específico, el color instrumental y la aceptación sensorial, aspectos fundamentales para la aceptación comercial de este tipo de productos funcionales.

2. Materiales y Métodos

2.1. Diseño de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo experimental, empleando un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un solo factor de estudio, correspondiente al nivel de sustitución parcial de harina de trigo por una mezcla de harina de haba (*Vicia faba* L.) y harina de maca negra (*Lepidium meyenii* Walp.). Se establecieron cuatro tratamientos experimentales: T0 (0 % de sustitución), T1 (5 %), T2 (10 %) y T3 (15 %), los cuales fueron formulados manteniendo constantes las proporciones de los demás ingredientes y las condiciones de elaboración del pan. Este diseño permitió evaluar el efecto del nivel de sustitución sobre las propiedades tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales del producto bajo condiciones experimentales controladas, reduciendo la influencia de factores externos y garantizando la comparabilidad entre tratamientos (Amoah et al., 2022).

La variable independiente correspondió al porcentaje de sustitución parcial de harina de trigo por una mezcla de harina de haba y harina de maca negra, mientras que las variables dependientes comprendieron las propiedades tecnológicas (volumen específico mediante los métodos de desplazamiento de semillas de mijo , así como la

pérdida por horneado), las propiedades fisicoquímicas (color instrumental L^* , a^* y b^* , y pH) y los atributos sensoriales (aroma, sabor, textura, color y aceptación general). Cada tratamiento fue evaluado mediante **trece repeticiones independientes ($n = 13$)** para las determinaciones tecnológicas, mientras que las evaluaciones fisicoquímicas se realizaron por triplicado y la aceptabilidad sensorial fue determinada mediante un panel de 94 consumidores no entrenados empleando una escala hedónica de nueve puntos. Los datos obtenidos fueron posteriormente sometidos al análisis estadístico correspondiente para establecer diferencias significativas entre tratamientos.

2.2. Materias primas

Las materias primas utilizadas en el presente estudio fueron seleccionadas en función de su calidad tecnológica y aptitud para la elaboración de productos panificados. Se empleó harina de trigo panificable (*Triticum aestivum* L.) de uso comercial como ingrediente base de las formulaciones experimentales. Como ingredientes de sustitución se utilizaron harina de haba (*Vicia faba* L.) variedad Peruanita y harina de maca negra (*Lepidium meyenii* Walp.), ambas obtenidas a partir de materias primas seleccionadas y procesadas para su incorporación en las diferentes formulaciones de pan.

Las semillas de haba fueron adquiridas en estado seco en un mercado local de la ciudad de Ica, Perú. Previamente a su procesamiento, fueron seleccionadas manualmente para eliminar impurezas, granos partidos, material extraño y semillas con daños físicos o deterioro visible. Por su parte, la maca negra fue obtenida de productores de la sierra central del Perú y seleccionada de acuerdo con criterios de integridad física, descartándose aquellas muestras que presentaban signos de deterioro o contaminación. Ambas materias primas fueron acondicionadas y almacenadas en recipientes herméticos hasta su procesamiento, con el fin de preservar sus características físicas y minimizar la absorción de humedad durante el periodo experimental.

Como ingredientes complementarios para la elaboración del pan se utilizaron levadura seca instantánea, azúcar blanca refinada, sal de grado alimentario, manteca vegetal y agua potable. Todos los insumos fueron adquiridos en establecimientos comerciales de la ciudad de Ica y se mantuvieron bajo condiciones adecuadas de almacenamiento hasta su utilización. Las cantidades de estos ingredientes

permanecieron constantes en todas las formulaciones experimentales, de manera que la única variable modificada correspondió al nivel de sustitución parcial de la harina de trigo por la mezcla de harina de haba y harina de maca negra.

2.3. Formulación de los tratamientos

La formulación experimental se estableció mediante la sustitución parcial de harina de trigo por una mezcla de harina de haba (*Vicia faba* L.) y harina de maca negra (*Lepidium meyenii* Walp.) en proporción 1:1. Se evaluaron cuatro tratamientos: T0, correspondiente al control sin sustitución; T1, con 5 % de sustitución; T2, con 10 %; y T3, con 15 %. En todos los tratamientos, la cantidad total de mezcla de harinas fue de 1000 g. Las proporciones de harina de haba y harina de maca negra representaron cada una el 50 % del nivel total de sustitución. Los demás ingredientes permanecieron constantes con el propósito de que los cambios observados en las propiedades tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales del pan fueran atribuibles principalmente al nivel de sustitución de la harina de trigo.

Tabla 1. Composición de la mezcla de harinas utilizada en los tratamientos experimentales, expresada en base a 1000 g.

Ingrediente	T0	T1	T2	T3
Harina de trigo (g)	1000	950	900	850
Harina de haba (g)	0	25	50	75
Harina de maca negra (g)	0	25	50	75
Total de mezcla de harinas (g)	1000	1000	1000	1000
Nivel total de sustitución (%)	0	5	10	15

Tabla 2. Formulación base para la elaboración del pan, expresada en base a 1000 g de mezcla de harinas.

Ingrediente	Cantidad
Mezcla de harinas	1000 g
Agua	500 g
Azúcar	134 g
Manteca vegetal	70 g
Levadura seca instantánea	10 g
Sal	10 g

Las cantidades de agua, azúcar, manteca vegetal, levadura seca y sal se mantuvieron constantes en los cuatro tratamientos.

Esta formulación deriva exactamente de la receta original del manuscrito: 500 g de harina, 250 g de agua, 67 g de azúcar, 35 g de manteca, 5 g de levadura y 5 g de sal, escalada proporcionalmente a una base de 1000 g de mezcla de harinas.

2.4. Elaboración del pan

La elaboración de los panes se realizó siguiendo el método básico de panificación propuesto por AACC International (2000), Método 10 - 09.01, con modificaciones adaptadas a las formulaciones experimentales empleadas en este estudio (Tilami et al., 2025). Para cada tratamiento se preparó una masa utilizando la formulación descrita en la Tabla 2, manteniendo constantes las cantidades de agua, levadura seca instantánea, azúcar, sal y manteca vegetal, mientras que la composición de la mezcla de harinas varió de acuerdo con el nivel de sustitución parcial de harina de trigo por harina de haba y harina de maca negra.

Inicialmente, todos los ingredientes fueron pesados individualmente utilizando una balanza digital de precisión. Posteriormente, las harinas fueron mezcladas con los ingredientes secos (azúcar, sal y levadura), incorporándose finalmente el agua y la manteca vegetal hasta obtener una masa homogénea. El amasado se realizó de forma manual hasta lograr una adecuada hidratación de los ingredientes y el desarrollo de una masa uniforme con características apropiadas para el proceso de fermentación.

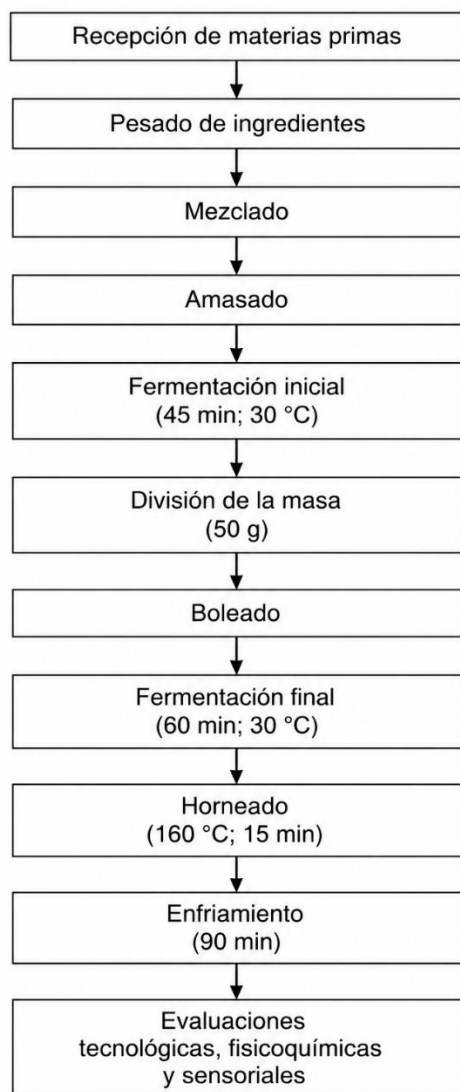
Las masas obtenidas fueron sometidas a una fermentación inicial durante 45 min a 30 °C. Posteriormente, cada masa fue dividida en porciones individuales de 50 g, las cuales fueron boleadas manualmente y sometidas a una fermentación final durante 60 min, manteniendo la misma temperatura de fermentación.

El horneado se realizó en un horno previamente precalentado durante 10 min, manteniendo una temperatura de 160 °C durante 15 min. Finalizado el proceso de cocción, los panes fueron retirados del horno y enfriados durante 90 min a temperatura ambiente sobre una rejilla metálica, con el fin de favorecer la estabilización de la estructura interna y evitar la condensación de humedad antes de la realización de las evaluaciones tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales. El volumen específico fue

determinado posteriormente siguiendo el método **AACC 10 - 05.01**, empleando el procedimiento de desplazamiento de semillas de mijo.

Figura 1

Diagrama de flujo del proceso de elaboración del pan.



2.5. Evaluaciones tecnológicas

2.5.1. Determinación del volumen específico mediante el método de desplazamiento de semillas

El volumen específico de los panes se determinó mediante el método de desplazamiento de semillas de mijo, de acuerdo con el procedimiento descrito por

AACC International (2000), Método 10-05.01, ampliamente utilizado para la evaluación del volumen en productos panificados (AACC International, 2000). Para ello, cada pan fue colocado en un recipiente de volumen conocido, el cual fue llenado con semillas de mijo hasta cubrir completamente la muestra. El volumen desplazado por las semillas fue cuantificado en una probeta graduada y registrado en centímetros cúbicos (cm³).

Posteriormente, cada pan fue pesado utilizando una balanza digital con precisión de $\pm 0,01$ g. El volumen específico se calculó como la relación entre el volumen desplazado y el peso del pan, expresándose en centímetros cúbicos por gramo (cm³/g), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$VE = \frac{V}{P}$$

donde:

VE = volumen específico (cm³/g)

V = volumen del pan (cm³)

P = peso del pan (g)

Para cada tratamiento se evaluaron trece unidades experimentales (n = 13), obteniéndose el valor promedio utilizado para el análisis estadístico.

Las semillas de mijo fueron utilizadas debido a su reducido tamaño, forma uniforme y adecuada capacidad para ocupar los espacios libres alrededor del pan, permitiendo una estimación precisa del volumen desplazado sin deformar la muestra.

2.5.2. Determinación de la pérdida por horneado

La pérdida por horneado se determinó como un indicador del comportamiento tecnológico de las formulaciones durante el proceso de cocción, permitiendo estimar la pérdida de masa asociada principalmente a la evaporación de agua y a la liberación de compuestos volátiles durante el horneado (AACC International, 2000). Para ello, cada pieza de masa fue pesada antes del ingreso al horno utilizando una balanza digital con precisión de $\pm 0,01$ g. Finalizado el proceso de horneado, los panes fueron enfriados

durante 90 min a temperatura ambiente y posteriormente pesados nuevamente bajo las mismas condiciones.

El porcentaje de pérdida por horneado se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida por horneado (\%)} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

donde:

- P_i = peso inicial de la masa antes del horneado (g).
- P_f = peso final del pan después del horneado y enfriamiento (g).

Cada tratamiento fue evaluado utilizando trece unidades experimentales ($n = 13$) y los resultados fueron expresados como media $\pm$ desviación estándar para su posterior análisis estadístico.

2.6. Caracterización fisicoquímica

La caracterización fisicoquímica de los panes elaborados permitió evaluar los cambios ocasionados por la sustitución parcial de harina de trigo con harina de haba (*Vicia faba* L.) y harina de maca negra (*Lepidium meyenii* Walp.). Para ello, se determinaron el color instrumental mediante el sistema CIELab y el pH, empleando metodologías estandarizadas ampliamente utilizadas para la evaluación de productos panificados (AACC International, 2000; Tilami et al., 2025).

2.6.1. Determinación del color instrumental

El color de la miga del pan fue determinado mediante un colorímetro portátil Konica Minolta CR-400 (Konica Minolta, Japón), previamente calibrado utilizando una placa patrón blanca suministrada por el fabricante, siguiendo el procedimiento descrito por AACC International (2000) y la metodología empleada por Tilami et al. (2025). Las mediciones se realizaron en la región central de la miga, evitando zonas próximas a la corteza y cavidades generadas durante el proceso de fermentación, con el propósito de obtener lecturas representativas del producto.

Los resultados fueron expresados mediante el sistema de color CIELab, registrándose las coordenadas L^* (luminosidad), a^* (variación entre verde y rojo) y b^* (variación entre azul y amarillo). Para cada tratamiento se analizaron trece panes ($n = 13$), efectuándose una lectura instrumental por unidad experimental. Los valores obtenidos fueron utilizados posteriormente para el análisis estadístico y la comparación entre tratamientos.

2.6.2. Determinación del pH

El pH de la miga del pan se determinó de acuerdo con la metodología descrita por AACC International (2000). Para ello, se homogenizaron 5 g de muestra con 95 mL de agua destilada durante 10 min, obteniéndose una suspensión homogénea. Posteriormente, el pH fue medido utilizando un potenciómetro digital previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4,00 y 7,00, siguiendo las recomendaciones del fabricante. Las determinaciones se realizaron a temperatura ambiente y los resultados fueron expresados como el promedio de trece unidades experimentales ($n = 13$) para cada tratamiento.

2.7. Evaluación sensorial

La aceptabilidad sensorial de los panes fue evaluada mediante una prueba afectiva con 94 consumidores no entrenados, seleccionados entre estudiantes, docentes y personal administrativo de la Universidad Privada San Juan Bautista, Filial Ica. Antes de la evaluación, los participantes fueron informados sobre el objetivo del estudio y participaron de manera voluntaria.

Las muestras de pan fueron codificadas con números aleatorios de tres dígitos y presentadas de forma individual en recipientes descartables, manteniendo condiciones uniformes de temperatura, tamaño de porción e iluminación durante toda la sesión de evaluación. Con el propósito de minimizar el efecto del sabor residual entre muestras, se proporcionó agua potable para el enjuague del paladar antes de la degustación de cada tratamiento, siguiendo las recomendaciones de Lawless y Heymann (2010).

La aceptabilidad de los tratamientos se determinó mediante una escala hedónica estructurada de nueve puntos, donde 1 = me disgusta extremadamente; 2 = me disgusta mucho; 3 = me disgusta moderadamente; 4 = me disgusta ligeramente; 5 = ni me gusta

ni me disgusta; 6 = me gusta ligeramente; 7 = me gusta moderadamente; 8 = me gusta mucho; y 9 = me gusta extremadamente. Cada consumidor evaluó los atributos de aroma, sabor, textura, color y aceptación general, asignando una puntuación de acuerdo con su percepción sensorial.

Las sesiones de evaluación se realizaron en condiciones ambientales controladas, procurando minimizar factores externos que pudieran influir en la percepción sensorial de los participantes. Las calificaciones obtenidas fueron registradas individualmente y empleadas para el análisis estadístico de las diferencias entre tratamientos.

2.8. Análisis estadístico

Los datos correspondientes al volumen específico, la pérdida por horneado, el color instrumental y el pH fueron analizados mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA), considerando como único factor fijo el nivel de sustitución parcial de harina de trigo por la mezcla de harina de haba y harina de maca negra, con cuatro niveles: T0 (0 %), T1 (5 %), T2 (10 %) y T3 (15 %).

Antes de realizar el ANOVA, se verificaron los supuestos de normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Cuando se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, las medias fueron comparadas mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, empleando un nivel de significancia de 5 % ($p < 0.05$). Los resultados de las variables tecnológicas y fisicoquímicas fueron expresados como media $\pm$ desviación estándar. Este procedimiento permite determinar el efecto del nivel de sustitución sobre las características tecnológicas y fisicoquímicas de los productos panificados, de acuerdo con enfoques estadísticos empleados en investigaciones con harinas alternativas (Bosmali et al., 2025; García-Segovia et al., 2020).

Los datos de la evaluación sensorial fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Friedman, debido a que los mismos 94 consumidores evaluaron los cuatro tratamientos mediante una escala hedónica ordinal de cinco puntos. En este análisis, los tratamientos fueron considerados como factor de comparación y cada consumidor como bloque. Cuando se identificaron diferencias significativas, se

estableció la aplicación de comparaciones pareadas mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, utilizando el ajuste de Holm para controlar el error asociado a comparaciones múltiples. Cuando la prueba de Friedman no presentó significancia estadística ($p > 0,05$), no se realizaron comparaciones post hoc.

Todos los análisis estadísticos se efectuaron en el software R, mediante el entorno de trabajo RStudio, estableciéndose un nivel de confianza de 95 %. Para el procesamiento de los datos se utilizaron funciones de los paquetes stats, car, rstatix y emmeans. Los tratamientos se representaron gráficamente mediante valores individuales, medias y medidas de dispersión, evitando interpretar diferencias únicamente a partir de la apariencia visual de las figuras.

3. Resultados y Discusión

3.1. Parámetros del color del pan

Se determino los parámetros de color L^* (luminosidad), a^* (rojo-verde), b^* (amarillo-azul). Los valores promedios obtenidos se evidencian en la siguiente Tabla 1

Tabla 3

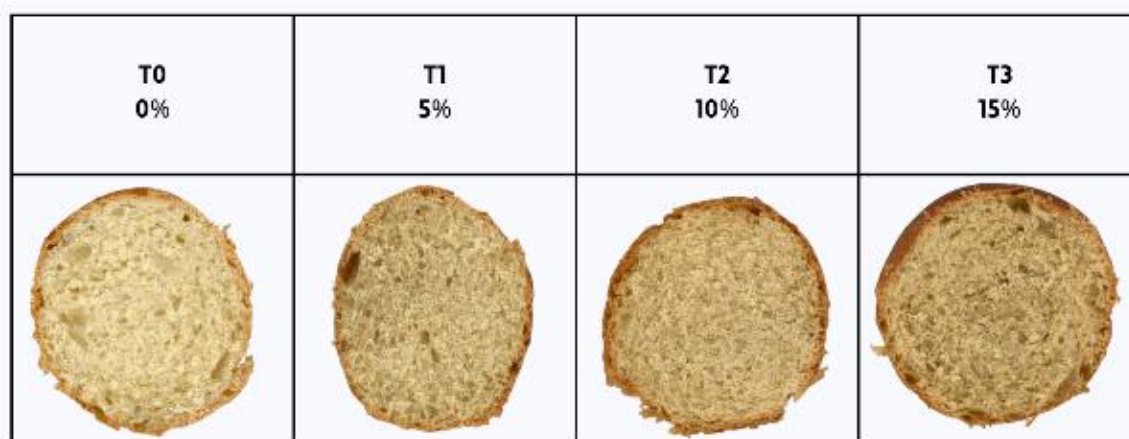
Tratamiento	L^*	a^*	b^*
T0	82.67 ± 0.11^a	0.43 ± 0.09^d	23.54 ± 0.14^d
T1	79.03 ± 0.22^b	3.70 ± 0.05^c	29.61 ± 0.03^c
T2	75.93 ± 0.14^c	4.35 ± 0.04^b	36.88 ± 0.05^b
T3	73.33 ± 0.08^d	6.93 ± 0.06^a	40.30 ± 0.23^a

Media $\pm$ desviación estándar ($n = 3$). Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0,05$).

La luminosidad L^* disminuyó significativamente ($p < 0.001$) conforme al aumento de incorporación de harina de maca negra y haba. El T0 presento un mayor valor de L^* mientras que el T3 presento un menor valor, lo que indica que un oscurecimiento progresivo del pan. Este comportamiento coincide, según un estudio realizado donde indica que la incorporación de harina de haba genero disminución en la L^* a medida que aumentaba el porcentaje de sustitución debido a la lisina lo cual favorece a la reacción de Maillard durante el proceso de horneado (Olakanmi et al.,

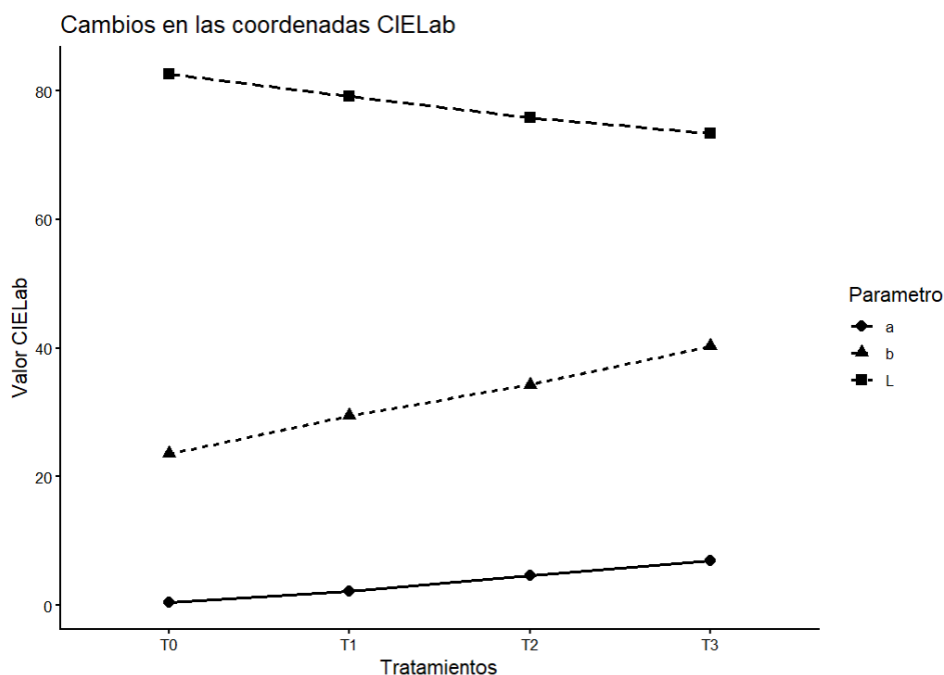
2024). La incorporación de harina de haba modifica las propiedades tecnológicas y sensoriales, observándose reducción en la luminosidad debido al contenido de proteína y compuestos fenólicos de las leguminosas (Benayad et al., 2021).

Figura 2



Así mismo el incremento en los parámetros a^* y b^* muestran mayor intensidad de tonos rojizos y amarillos, cambios atribuidos a la formación de melanoidinas durante el horneado lo cual modifica la apariencia final del pan (Dragomir et al., 2026; Molina-Montero et al., 2026). Los resultados confirman que la sustitución parcial de harina de trigo por harina de maca negra y harina de haba modifican significativamente las propiedades cromáticas del pan.

Figura 3. Variación de las coordenadas cromáticas L*, a* y b* del pan elaborado con diferentes niveles de sustitución parcial de harina de trigo por harina de haba y harina de maca negra. Los puntos representan la media de cada tratamiento y las barras indican la desviación estándar.



3.2. Pérdida de horneado

Los datos obtenidos se compararon mediante ANOVA. Los resultados mostraron que si existe diferencia significativa entre los 4 tratamientos ($p < 0.05$) después del horneado. En cuestión de la media, el tratamiento T3 presenta la menor pérdida de peso en las muestras, a diferencia del (T1 y T2) que presentan mayor pérdida. Indicando que la sustitución de las harinas de maca negra y haba en diferentes proporciones si genera diferencias entre ellas. En la tabla 2 se puede observar los resultados obtenidos.

Tabla 4

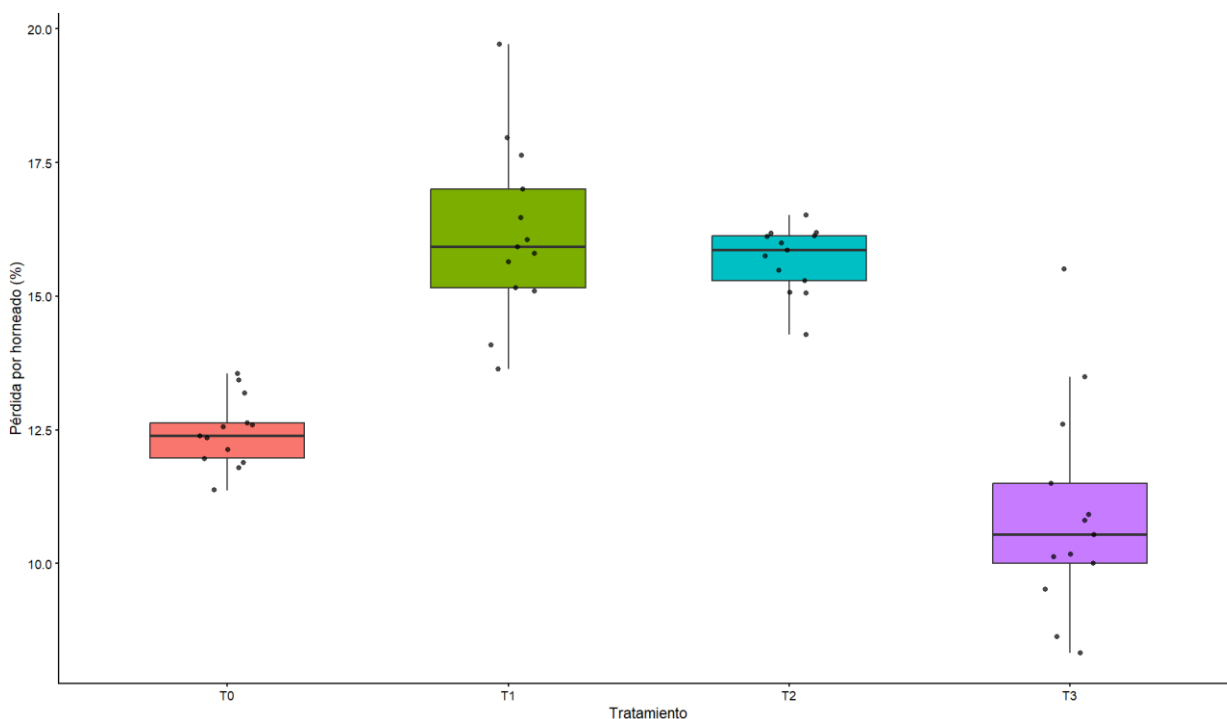
Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de haba y de maca negra sobre la pérdida por horneado.

Tratamientos	Pérdida por horneado
T0	12.295 ± 0.730 ^b
T1	16.821 ± 1.618 ^a
T2	15.346 ± 0.937 ^a
T3	10.975 ± 2.088 ^b

La reología de la masa y la calidad del pan dependen de gran medida del complejo almidón-proteína y sobre todo de la presencia de gluten, pero puede tener efectos negativos en la red de gluten si la adición de harina no deriva del trigo (Olakanmi et al., 2022). La pérdida mínima en el tratamiento T3, se debe a que el mayor contenido de fibra se encuentra en las harinas de leguminosas en comparación de la harina de trigo permitiendo una mayor absorción de agua que la harina de trigo sola, debido a su mayor contenido de componentes absorbentes de agua como proteínas y fibra dietética (Cacak-Pietrzak et al., 2024). Además, se ha demostrado que la sustitución de harina de trigo de 10 – 20% de masa de harina de haba reduce el volumen del pan en un 14% y un 16% en comparación del control, esto puede relacionarse con la ausencia de proteínas formadoras de gluten (Johnston et al., 2023b).

Asimismo, la maca genera el proceso de gelatinización debido al calentamiento del agua en el almidón, provocando a su vez absorción de agua y aumento de viscosidad (Romero et al., 2016).

Figura 4. Pérdida por horneado de los panes elaborados con diferentes niveles de sustitución parcial de harina de trigo por harina de haba y harina de maca negra.



3.3. Volumen específico

El análisis de varianza mostró que los tratamientos evaluados ejercieron un efecto significativo sobre el volumen específico del pan determinado mediante el método de desplazamiento de semillas de mijo ($F = 49.50$; $p < 0.001$). La prueba de comparación múltiple de Tukey evidenció diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). El tratamiento T2 presentó el mayor volumen específico promedio ($3.87 \text{ cm}^3/\text{g}$), mientras que T1 registró el menor valor ($3.25 \text{ cm}^3/\text{g}$). Por otro lado, los tratamientos T0 y T3 no mostraron diferencias significativas entre sí, ya que pertenecieron al mismo grupo estadístico. Estos resultados indican que la formulación correspondiente al tratamiento T2 favoreció una mayor expansión de la masa durante el proceso de panificación, obteniéndose panes con una estructura más aireada en comparación con los demás tratamientos.

Tabla 5

Volumen específico del pan determinado mediante el método de desplazamiento de semillas de mijo.

Tratamiento	Volumen específico (cm ³ /g)	Grupo de Tukey
T2	3.87	A
T0	3.65	B
T3	3.54	B
T1	3.25	C

Nota: Medias con letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

El mayor volumen específico obtenido en el tratamiento T2 sugiere que el nivel de sustitución empleado permitió conservar una estructura adecuada de la masa, favoreciendo la retención del dióxido de carbono generado durante la fermentación y promoviendo una mayor expansión del pan durante el horneado. El volumen específico es considerado uno de los principales indicadores de la calidad tecnológica del pan, ya que refleja la capacidad de la masa para retener los gases de fermentación y desarrollar una estructura interna uniforme (Monteiro et al., 2021).

Por otro lado, el menor volumen específico observado en el tratamiento T1 podría atribuirse a que la incorporación de harinas no convencionales modifica la estructura de la red de gluten, reduciendo su capacidad para retener los gases producidos durante la fermentación. Como consecuencia, el pan presenta una menor expansión y un volumen específico inferior. Este comportamiento ha sido descrito en formulaciones con harinas de leguminosas, donde el incremento del nivel de sustitución puede afectar las propiedades reológicas de la masa y disminuir el volumen final del pan (Chinma et al., 2025a).

La similitud estadística observada entre los tratamientos T0 y T3 indica que ambos presentaron un comportamiento comparable durante el proceso de panificación. Esto sugiere que el nivel de sustitución utilizado en T3 no produjo cambios suficientes para modificar significativamente el volumen específico con respecto al tratamiento control. Resultados similares han sido reportados en el artículo (Miñarro et al., 2012), quienes señalaron que el efecto de las harinas de leguminosas sobre el volumen específico depende del tipo de harina y del porcentaje de sustitución empleado,

pudiendo mantenerse valores similares al control cuando se utilizan niveles adecuados de incorporación.

3.4. Análisis fisicoquímicos

pH

Los resultados muestran un incremento del pH conforme aumenta la incorporación de harina de maca negra y haba, indicando que si existe diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$). Las medias obtenidas señalan que el tratamiento T3 es el que tuvo un pH mucho más alto a diferencia de los demás y el T1 el menor. En la tabla 5 se puede observar los resultados obtenidos.

Tabla 6

Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de haba y de maca negra sobre el pH.

Tratamientos	pH
T0	5.39000 ± 0.01581^d
T1	5.70000 ± 0.01581^b
T2	5.61000 ± 0.01581^c
T3	5.85000 ± 0.01581^a

Los resultados obtenidos evidencian que el incremento en la proporción de harina de maca negra y harina de haba produjo un aumento significativo del pH del pan, siendo el tratamiento T3 el que presentó el mayor valor. Este comportamiento puede atribuirse a la composición química de ambas harinas, las cuales poseen minerales, proteínas y compuestos con capacidad amortiguadora que influyen sobre la acidez de la masa, favoreciendo un incremento del pH durante el proceso de elaboración. Diversos estudios han señalado que la incorporación de harinas alternativas puede modificar las propiedades fisicoquímicas de los productos panificados, entre ellas el pH, debido a las diferencias en su composición respecto a la harina de trigo (Pradhan et al., 2026).

Asimismo, el menor valor de pH registrado en el tratamiento T0 se relaciona con la ausencia de sustitución de harina de trigo, mientras que el incremento progresivo observado en los tratamientos con harina de maca negra y haba sugiere que el nivel de incorporación de estas materias primas influye directamente sobre esta propiedad. De

acuerdo (Chinma et al., 2025b), la sustitución parcial de harina de trigo por harinas de leguminosas modifica las características fisicoquímicas de la masa debido al mayor contenido de proteínas, minerales y otros componentes presentes en estas harinas, lo que puede generar variaciones en el pH del producto final.

El comportamiento observado en la presente investigación coincide con lo reportado por (Olojede et al., 2020), quienes indican que la incorporación de harinas de leguminosas en productos de panificación produce cambios en las propiedades químicas del pan, dependiendo del tipo de harina y del porcentaje de sustitución empleado. En conjunto, estos resultados demuestran que la sustitución parcial de harina de trigo por harina de maca negra y harina de haba no solo modifica las características nutricionales del pan, sino también sus propiedades fisicoquímicas, entre ellas el pH.

3.5. Evaluación sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial indicaron que no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$) para los atributos de aroma, sabor, textura, color y aceptación general. Las puntuaciones obtenidas fueron similares entre el tratamiento control (T0) y los tratamientos con sustitución parcial de harina de trigo por harina de haba y harina de maca negra (T1, T2 y T3), lo que evidencia que la incorporación de estas harinas, en los niveles evaluados, no afectó la aceptación sensorial del producto. Los resultados obtenidos mediante la prueba de Friedman se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7

Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de haba y de maca negra sobre los atributos sensoriales del pan.

Tratamiento	Aroma	Sabor	Textura	Color	aceptación General
T0	6.17 ± 1.34^a	6.76 ± 1.62^a	6.21 ± 1.84^a	6.45 ± 1.55^a	6.59 ± 1.05^a
T1	6.17 ± 1.34^a	6.76 ± 1.62^a	6.21 ± 1.84^a	6.45 ± 1.55^a	6.40 ± 1.02^a
T2	5.72 ± 1.25^a	6.93 ± 1.35^a	6.41 ± 1.50^a	6.90 ± 1.21^a	6.49 ± 0.94^a
T3	6.10 ± 1.52^a	7.14 ± 1.15^a	6.38 ± 1.50^a	6.76 ± 1.24^a	6.59 ± 0.98^a

En los niveles de sustitución evaluados, la incorporación de harina de haba y harina de maca negra no modificó significativamente la percepción sensorial del pan, lo

que sugiere que la matriz de harina de trigo conservó las características organolépticas del producto. Este comportamiento puede atribuirse a que la red de gluten aún mantuvo una estructura suficiente para preservar la textura y las propiedades sensoriales características del pan, aun cuando parte de la harina de trigo fue reemplazada por harinas no convencionales.

Las ligeras variaciones observadas en los atributos de aroma y sabor podrían estar relacionadas con la presencia de compuestos fenólicos y otros metabolitos bioactivos característicos de la harina de haba y la harina de maca negra, los cuales pueden aportar notas vegetales, amargas o ligeramente astringentes sin afectar significativamente la aceptación por parte de los consumidores (Margier et al., 2018; Tuccillo et al., 2022). Asimismo, las diferencias observadas en el color pueden atribuirse a la pigmentación natural de estas harinas y a la intensificación de la reacción de Maillard durante el horneado, fenómeno ampliamente descrito en productos panificados enriquecidos con ingredientes funcionales (Conceição et al., 2024; Feller et al., 2026).

La ausencia de diferencias significativas en la aceptación general indica que la sustitución parcial de harina de trigo por harina de haba y harina de maca negra constituye una estrategia tecnológicamente viable para incrementar el potencial funcional del pan sin comprometer su aceptabilidad por parte del consumidor. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Baker et al. (2022), quienes señalaron que la incorporación de ingredientes funcionales puede mejorar el valor nutricional de los productos panificados siempre que se mantenga un adecuado equilibrio entre funcionalidad y calidad sensorial.

Perfil sensorial de los tratamientos de pan

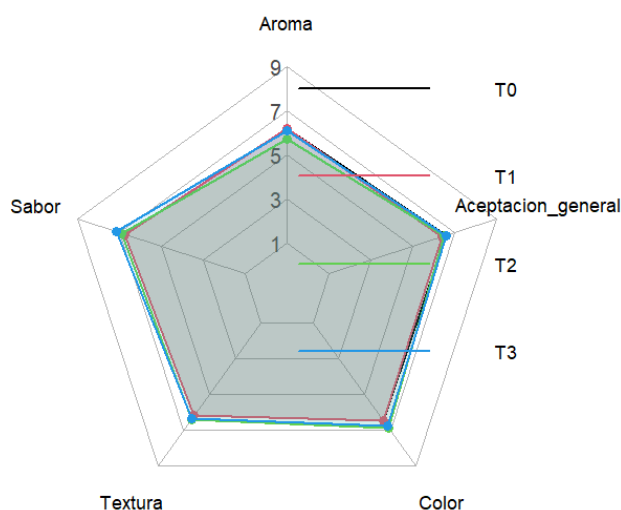


Figura 5. Perfil sensorial de los panes elaborados con diferentes niveles de sustitución parcial de harina de trigo por harina de haba y harina de maca negra.

Los valores corresponden a las medias obtenidas mediante una escala hedónica de nueve puntos. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Friedman ($p > 0,05$).

4. Conclusiones

La sustitución parcial de harina de trigo por una mezcla de harina de haba (*Vicia faba* L.) y harina de maca negra (*Lepidium meyenii* Walp.) modificó significativamente las propiedades tecnológicas y fisicoquímicas del pan. El incremento del nivel de sustitución produjo una disminución del volumen específico y de la luminosidad (L^*), mientras que las coordenadas cromáticas a^* y b^* , así como el pH, aumentaron significativamente respecto al tratamiento control.

A pesar de estos cambios, la sustitución parcial no afectó significativamente los atributos sensoriales de aroma, sabor, textura, color y aceptación general ($p > 0,05$), lo que demuestra que la incorporación de ambas harinas mantiene la aceptabilidad del producto en los niveles evaluados.

En conjunto, los resultados evidencian que la sustitución parcial de hasta **15 %** de harina de trigo por una mezcla de harina de haba y harina de maca negra constituye

una alternativa tecnológicamente viable para la elaboración de panes con mayor potencial funcional, sin comprometer su calidad sensorial, lo que representa una oportunidad para promover el aprovechamiento de materias primas de origen andino en el desarrollo de productos de panificación con valor agregado.

Referencias

- Alarcón-García, M. A., Perez-Alvarez, J. A., López-Vargas, J. H., & Pagán-Moreno, M. J. (2020). Techno-Functional Properties of New Andean Ingredients: Maca (*Lepidium meyenii*) and Amaranth (*Amaranthus caudatus*). *Proceedings*, 70(1), 74. https://doi.org/10.3390/foods_2020-07744
- Amoah, I., Cairncross, C., Osei, E. O., Yeboah, J. A., Cobbinah, J. C., & Rush, E. (2022). Bioactive Properties of Bread Formulated with Plant-based Functional Ingredients Before Consumption and Possible Links with Health Outcomes After Consumption- A Review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 77(3), 329-339. <https://doi.org/10.1007/s11130-022-00993-0>
- Awulachew, M. T. (2025). Effect of Partial Replacement of Wheat with Fava Bean and Black Cumin Flours on Nutritional Properties and Sensory Attributes of Bread. *Engineering Proceedings*, 87(1), 8. <https://doi.org/10.3390/engproc2025087008>
- Baker, M. T., Lu, P., Parrella, J. A., & Leggette, H. R. (2022). Consumer Acceptance toward Functional Foods: A Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1217. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031217>
- Benayad, A., Taghouti, M., Benali, A., Aboussaleh, Y., & Benbrahim, N. (2021). Nutritional and technological assessment of durum wheat-faba bean enriched flours, and sensory quality of developed composite bread. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 635-642. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.10.053>
- Bosmali, I., Kotsiou, K., Matsakidou, A., Irakli, M., Madesis, P., & Biliaderis, C. G. (2025). Fortification of wheat bread with an alternative source of bean proteins using raw and roasted *Phaseolus coccineus* flours: Impact on physicochemical,

nutritional and quality attributes. *Food Hydrocolloids*, 158, 110527.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110527>

Cacak-Pietrzak, G., Sujka, K., Księżak, J., Bojarszczuk, J., Ziarno, M., Studnicki, M., Krajewska, A., & Dziki, D. (2024). Assessment of Physicochemical Properties and Quality of the Breads Made from Organically Grown Wheat and Legumes. *Foods*, 13(8), 1244. <https://doi.org/10.3390/foods13081244>

Canchumanya, M. B., Ponce, L. C., Rafaele, C. S., Villanueva, F. Y., Mallqui, L. A., & Cruz, V. R. D. la. (2021). COMPOSICIÓN QUÍMICA, VALOR BIOLÓGICO Y GLUCOSINOLATOS DE HARINA DE MACA NEGRA (*Lepidium meyenii* W.) EXTRUIDA Y OBTENCION DE MEZCLA CON AVENA (*Avena sativa*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(4). (2021).
<https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i4.359>

Cappelli, A., & Cini, E. (2021). Challenges and Opportunities in Wheat Flour, Pasta, Bread, and Bakery Product Production Chains: A Systematic Review of Innovations and Improvement Strategies to Increase Sustainability, Productivity, and Product Quality. *Sustainability*, 13(5), 2608.
<https://doi.org/10.3390/su13052608>

Chang, R.-C., Chia-Yen, L., & Shiau, S.-Y. (2015). Physico-chemical and sensory properties of bread enriched with lemon pomace fiber. *Czech Journal of Food Sciences*, 33(2), 180-185. <https://doi.org/10.17221/496/2014-CJFS>

Chinma, C. E., Ezeocha, V. C., Adedeji, O. E., Jolayemi, O. S., Onwuka, Q. I., Ilowefah, M. A., Adebo, J. A., Rosell, C. M., Bamidele, O. P., & Adebo, O. A. (2025a). Germinated/fermented legume flours as functional ingredients in wheat-based bread: A review. *Journal of Food Science*, 90(2), e70022.
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.70022>

Chinma, C. E., Ezeocha, V. C., Adedeji, O. E., Jolayemi, O. S., Onwuka, Q. I., Ilowefah, M. A., Adebo, J. A., Rosell, C. M., Bamidele, O. P., & Adebo, O. A. (2025b). Germinated/fermented legume flours as functional ingredients in wheat-based bread: A review. *Journal of Food Science*, 90(2), e70022.
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.70022>

Codex Alimentarius Commission. (2023). *General principles of food hygiene*. FAO; WHO; <https://doi.org/10.4060/cc6125en>

Conceição, L. dos S., Almeida, B. S. de, Souza, S. F. de, Martinez, V. O., Matos, M. F. R. de, Andrade, L. L., Ruggiero, W. F., & Pinto Matos, L. C. (2024). Critical conditions for the formation of Maillard Reaction Products (MRP) in bread: An integrative review. *Journal of Cereal Science*, 118, 103985. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103985>

de Sousa, P. B., da Rocha, N. G., de Carvalho Chaves, C., Freitas, A. K. N., Filho, E. G. A., & Zambelli, R. A. (2026). Galactomannan-Rich Ingredients from Caesalpinia Pulcherrima Seeds Reorganize Wheat Bread Microstructure and Enhance Technological and Nutritional Quality. *Food Biophysics*, 21(2), 44. <https://doi.org/10.1007/s11483-026-10134-8>

Doğan, İ. S., Yildiz, Ö., & Taşan, B. (s. f.). *Determination of the bread-making quality of flours using an automatic bread machine*. Recuperado 5 de junio de 2026, de <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol36/iss5/10>

Dragomir, C. (Neagu), Dossa, S., Velciov, A., Stoin, D., Cocan, I., Radu, F., Jianu, C., & Alexa, E. (2026). Chemical, Nutritional, Antinutritional, Physical and Technological Characterization of Breads Containing Germinated and Non-Germinated Black Lentil Flours Under Different Fermentation Conditions. *Molecules*, 31(4), 619. <https://doi.org/10.3390/molecules31040619>

Espinoza, J., Mariscal, R., Chuck, C., Serna, S., & Espiricueta, R. (s. f.). *Effects of the substitution of wheat flour with raw or germinated ayocote bean (Phaseolus coccineus) flour on the nutritional properties and quality of bread—Espinosa-Ramírez—2022—Journal of Food Science—Wiley Online Library*. Recuperado 2 de junio de 2026, de <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.16263>

FAO/WHO. (2025). *Codex Alimentarius Commission Procedural Manual*. FAO; WHO; <https://doi.org/10.4060/cd7978en>

- Feller, N., Föste, M., Hörmann, H., Verheyen, C., & Jekle, M. (2026). Beyond the crumbs: A comprehensive assessment of compositional, nutritional, technological, and sensory properties of gluten-free bread products. *European Food Research and Technology*, 252(6), 235. <https://doi.org/10.1007/s00217-026-05136-2>
- García-Segovia, P., Igual, M., & Martínez-Monzó, J. (2020). Physicochemical Properties and Consumer Acceptance of Bread Enriched with Alternative Proteins. *Foods*, 9(7), 933. <https://doi.org/10.3390/foods9070933>
- Hernández Clemente, D., Martínez Cruz, E., Lozano Grande, A., Morales Guzmán, V., Solís Moya, E., & Hortelano Santa Rosa, R. (2021). Características de calidad de la masa de harina integral y refinada y la relación con volumen de pan. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(3), 555-560. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i3.2803>
- Johnston, C., Ying Leong, S., Teape, C., Liesaputra, V., & Oey, I. (2023a). In vitro digestion properties and use of automatic image analysis to assess the quality of wheat bread enriched with whole faba bean (*Vicia faba* L.) flour and its protein-rich fraction. *Food Research International*, 174, 113630. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113630>
- Johnston, C., Ying Leong, S., Teape, C., Liesaputra, V., & Oey, I. (2023b). In vitro digestion properties and use of automatic image analysis to assess the quality of wheat bread enriched with whole faba bean (*Vicia faba* L.) flour and its protein-rich fraction. *Food Research International*, 174, 113630. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113630>
- Krause, M., Sørensen, J. C., Petersen, I. L., Duque-Estrada, P., Cappello, C., Tlais, A. Z. A., Di Cagno, R., Ispiryan, L., Sahin, A. W., Arendt, E. K., & Zannini, E. (2023). Associating Compositional, Nutritional and Techno-Functional Characteristics of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Protein Isolates and Their Production Side-Streams with Potential Food Applications. *Foods*, 12(5), 919. <https://doi.org/10.3390/foods12050919>

- Maravić, N., Hadnađev, M., Dapčević Hadnađev, T., Pestorić, M., & Tomić, J. (2026). (PDF) Faba bean flour and protein isolate as partial substitutes in wheat-triticale bread: Technological and sensory properties. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.5937/ffr0-53247>
- Margier, M., Georgé, S., Hafnaoui, N., Remond, D., Nowicki, M., Du Chaffaut, L., Amiot, M.-J., & Reboul, E. (2018). Nutritional Composition and Bioactive Content of Legumes: Characterization of Pulses Frequently Consumed in France and Effect of the Cooking Method. *Nutrients*, 10(11), 1668. <https://doi.org/10.3390/nu10111668>
- Mayer Labba, I.-C., Frøkiær, H., & Sandberg, A.-S. (2021). Nutritional and antinutritional composition of fava bean (*Vicia faba* L., var. Minor) cultivars. *Food Research International*, 140, 110038. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110038>
- Miñarro, B., Albanell, E., Aguilar, N., Guamis, B., & Capellas, M. (2012). Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 476-481. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.04.012>
- Molina-Montero, C., Igual, M., Martínez-Monzó, J., & García-Segovia, P. (2026). Influence of Leavening Agent on the Stability of Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Gluten-Free Bread with Beetroot By-Product. *Molecules*, 31(4), 741. <https://doi.org/10.3390/molecules31040741>
- Monteiro, J. S., Farage, P., Zandonadi, R. P., Botelho, R. B. A., de Oliveira, L. de L., Raposo, A., Shakeel, F., Alshehri, S., Mahdi, W. A., & Araújo, W. M. C. (2021). A Systematic Review on Gluten-Free Bread Formulations Using Specific Volume as a Quality Indicator. *Foods*, 10(3), 614. <https://doi.org/10.3390/foods10030614>
- Olakanmi, S. J., Jayas, D. S., & Paliwal, J. (2022). Implications of Blending Pulse and Wheat Flours on Rheology and Quality Characteristics of Baked Goods: A Review. *Foods*, 11(20), 3287. <https://doi.org/10.3390/foods11203287>

- Olakanmi, S. J., Jayas, D. S., Paliwal, J., Chaudhry, M. M. A., & Findlay, C. R. J. (2024). Quality Characterization of Fava Bean-Fortified Bread Using Hyperspectral Imaging. *Foods*, 13(2), 231. <https://doi.org/10.3390/foods13020231>
- Olojede, A. O., Sanni, A. I., & Banwo, K. (2020). Effect of legume addition on the physiochemical and sensorial attributes of sorghum-based sourdough bread. *LWT*, 118, 108769. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108769>
- Polo, S. (2022). Formulación y evaluación de palitos de pan con harina de haba (Vicia faba L.), Cúrcuma (Cúrcuma longa L.) y aceite de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) como alternativa de alimento funcional para niños. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.58720/ibs.v2i3.47>
- Pradhan, D., Ray, A., & Islam, S. (2026). Dough Functional Properties and Bread Quality of Stone-Milled Refined Flours in Comparison to Traditional HRS Wheat Flours. *Foods*, 15(12), 2046. <https://doi.org/10.3390/foods15122046>
- Ramashia, S. E., Ratau, M. A., & Olamiti, G. (2026). Cereal–Legume Food Matrices as Functional Systems: Processing-Driven Synergies in Nutrition, Bioactive Compounds and Sensory Acceptability. *Molecules*, 31(12), 2033. <https://doi.org/10.3390/molecules31122033>
- Romero, V., Tirado, A., Durán, M., & Dávalos, J. Z. (2016). Propiedades energéticas de la harina de maca (Lepidium peruvianum Chacón o Lepidium meyenii Walpers). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(1), 38-48.
- Ryu, K. M., Kim, H., Woo, J., Lim, J., Kang, C. G., Kim, S. W., Kim, T., & Kim, D. (2024). Enhancement of the bioactive compounds and biological activities of maca (Lepidium meyenii) via solid-state fermentation with Rhizopus oligosporus. *Food Science and Biotechnology*, 33(11), 2585-2596. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01508-6>
- Sacón Vera, E. F., Gema Fernanda, R. V., Dueñas Rivadeneira, A., Alcívar Cedeño, U. E., Zambrano Rueda, J. F., & López Bello, N. (2016). Evaluación de las

propiedades elásticas y mecánicas de una masa de pan con sustitución de harina de camote (ipomoea batata). *Revista centro azúcar*, 43(4), 5.

Seis Subaşı, A., & Ercan, R. (2024). Technological characteristics of whole wheat bread: Effects of wheat varieties, sourdough treatments and sourdough levels. *European Food Research and Technology*, 250(10), 2593-2608. <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04560-6>

Subiria-Cueto, R., Reyes-Blas, H., Olivas-Armendáriz, I., Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A., de la Rosa, L. A., Martínez-Ruiz, N. del R., & Alvarez-Parrilla, E. (2025). Grape pomace and pecan shell fortified bread: The effect of dietary fiber-phenolic compounds interaction on the *in vitro* accessibility of phenolic compounds and *in vitro* glycemic index. *Food Chemistry*, 462, 140925. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140925>

Tilami, S. K., Jurkaninová, L., Kotíková, Z., Škvorová, P., Ferusová, Ž., & Kouřimská, L. (2025). Quality and nutritional evaluation of bakery products enriched with cricket meal. *Applied Food Research*, 5(2), 101303. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101303>

Tuccillo, F., Kantanen, K., Wang, Y., Martin Ramos Diaz, J., Pulkkinen, M., Edelmann, M., Knaapila, A., Jouppila, K., Piironen, V., Lampi, A.-M., Sandell, M., & Katina, K. (2022). The flavor of faba bean ingredients and extrudates: Chemical and sensory properties. *Food Research International*, 162, 112036. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112036>

Villanueva, E. Y., & Cruz, V. R. D. L. (2019). La Maca (*Lepidium meyenii* Walpers) alimento funcional andino: Bioactivos, bioquímica y actividad biológica. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 21(2), 139-152. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.457>

Waldert, K., Bittermann, S., Martinović, N., Schottroff, F., & Jäger, H. (2025). Ohmic baking of wheat bread – effect of process parameters on physico-chemical quality attributes. *Journal of Food Engineering*, 392, 112493. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2025.112493>

Wasilewicz, A., & Grienke, U. (2026). Maca (*Lepidium meyenii*) as a Functional Food and Dietary Supplement: A Review on Analytical Studies. *Foods*, 15(2), 306. <https://doi.org/10.3390/foods15020306>

Zhai, J., Lu, L., Mi, J., & Zhou, W. (2026). Stimulation of probiotics by ultrasound pre-treatment and their subsequent incorporation in bread system: A new strategy for bread containing live probiotic. *Ultrasonics Sonochemistry*, 128, 107828. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2026.107828>

Financiamiento de la investigación

Con recursos propios.

Declaración de intereses

Declaro no tener ningún conflicto de intereses, que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas.

Declaración de consentimiento informado

El estudio se realizó respetando el Código de ética y buenas prácticas editoriales de publicación.

Derechos de uso

Copyright© 2026 por **Jose Maycol Palacios Condori, Daniel Jhon Seminario Mejia, Yadira Mayerlis Duran Vera, Juan Benito Kenyo Perez Salazar**



Este texto está protegido por la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que cumpla la condición de atribución: usted debe reconocer el crédito de una obra de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace.