



## Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y plátano (*Musa paradisiaca*) sobre la calidad tecnológica, fisicoquímica y sensorial del pan

Effect of the partial substitution of wheat flour with cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) and plantain (*Musa paradisiaca*) flour on the technological, physicochemical and sensory quality of bread.

Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) e de banana-da-terra (*Musa paradisiaca*) na qualidade tecnológica, físico-química e sensorial do pão.

### ARTÍCULO ORIGINAL

**Jhazmin Taipe Sedano**

[jhazmin.taipe@upsjb.edu.pe](mailto:jhazmin.taipe@upsjb.edu.pe)

<https://orcid.org/0009-0005-8377-9754>

Universidad Privada San Juan Bautista, Lima – Perú

**Fatima del Rosario Parian Mantari**

[fatima.parian@upsjb.edu.pe](mailto:fatima.parian@upsjb.edu.pe)

<https://orcid.org/0009-0005-6885-8956>

Universidad Privada San Juan Bautista, Lima – Perú

**Alexandra del Rosario Parian Mantari**

[alexandra.parian@upsjb.edu.pe](mailto:alexandra.parian@upsjb.edu.pe)

<https://orcid.org/0009-0003-4615-7388>

Universidad Privada San Juan Bautista, Lima – Perú

**Carlos Alberto Vilca de la Cruz**

[carlos.vilca@upsjb.edu.pe](mailto:carlos.vilca@upsjb.edu.pe)

<https://orcid.org/0009-0000-7318-4734>

Universidad Privada San Juan Bautista, Lima – Perú

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

### RESUMEN

El estudio buscó evaluar cómo influye la inclusión parcial de harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y de harina de plátano (*Musa paradisiaca*) en la calidad sensorial y la aceptación de productos de panificación. Para ello se prepararon cuatro mezclas mediante sustitución gradual de harina de trigo: T0 (control, 100% trigo), T1 (92,5% trigo, 2,5% cañihua y 5% plátano), T2 (85% trigo, 5% cañihua y 10% plátano) y T3 (77,5% trigo, 7,5% cañihua y 15% plátano). Los panes resultantes fueron evaluados por 30 consumidores no entrenados con una escala hedónica de 9 puntos, considerando color, aroma, sabor, textura y aceptación. Además, se registraron variables tecnológicas (volumen específico y pérdida durante el horneado) y parámetros fisicoquímicos (humedad, pH y).

Los resultados mostraron que la incorporación de las harinas alternativas mejoró significativamente los atributos sensoriales en comparación con el control. El tratamiento T3 presentó los mejores puntajes en todos los atributos evaluados (color: 8,20; aroma: 8,07; sabor: 8,33; textura: 8,03), lo que indica una mayor aceptación por parte de los consumidores. Aunque el volumen específico y la porosidad disminuyeron con el aumento de la sustitución, los valores se mantuvieron dentro de rangos aceptables para productos de panificación. La pérdida por horneado osciló entre 9,8 % y 11,4 %, y los valores de pH se mantuvieron en el rango óptimo (5,75-6,08 en masa y 5,82-5,98 en pan horneado). En consecuencia, la estrategia evaluada permite enriquecer el pan mediante el aporte adicional de proteína, fibra y minerales provenientes de insumos locales, sin comprometer de manera decisiva su aceptación sensorial. Así pues, se constituye en una alternativa viable para el desarrollo de productos de panificación con mejor perfil nutricional en el ámbito regional.

**Palabras clave:** harina de cañihua, harina de plátano, enriquecimiento, panificación, evaluación sensorial, alimentos funcionales.

### ABSTRACT

The study aimed to evaluate the influence of the partial inclusion of cañihua flour (*\*Chenopodium pallidicaule\**) and plantain flour (*\*Musa paradisiaca\**) on the sensory quality and acceptance of bakery products. To this end, four mixtures were prepared by gradually substituting wheat flour: T0 (control, 100% wheat), T1 (92.5% wheat, 2.5% cañihua, and 5% plantain), T2 (85% wheat, 5% cañihua, and 10% plantain), and T3 (77.5% wheat, 7.5% cañihua, and 15% plantain). The resulting breads were evaluated by 30 untrained consumers using a 9-point hedonic scale, assessing color, aroma, flavor, texture, and acceptance. Additionally, technological variables (specific volume and baking loss) and physicochemical parameters (moisture, pH) were recorded.

The results showed that the incorporation of alternative flours significantly improved sensory attributes compared to the control. Treatment T3 achieved the highest scores across all evaluated attributes (color: 8.20; aroma: 8.07; flavor: 8.33; texture: 8.03), indicating greater consumer acceptance. Although specific volume and porosity decreased as the substitution level increased, the values remained within acceptable ranges for bakery products. Baking loss ranged from 9.8% to 11.4%, and pH values remained within the optimal range (5.75–6.08 for dough and 5.82–5.98 for baked bread). Consequently, the evaluated strategy allows for enriching bread through the additional addition of protein, fiber, and minerals from local ingredients, without significantly compromising its sensory acceptance. Thus, it constitutes a viable alternative for the development of bakery products with a better nutritional profile in the region.

**Keywords:** cañihua flour, plantain flour, enrichment, breadmaking, sensory evaluation, functional foods.

### RESUMO

O estudo buscou avaliar como influenciaria a inclusão parcial de farinha de canihua (*Chenopodium pallidicaule*) e de farinha de plátano (*Musa paradisiaca*) na qualidade sensorial e na aceitação de produtos de panificação. Para isso, são preparadas quatro misturas mediante substituição gradual de trigo de trigo: T0 (controle, 100% trigo), T1 (92,5% trigo, 2,5% cañihua e 5% plátano), T2 (85% trigo, 5% cañihua e 10% plátano) e T3 (77,5% trigo, 7,5% cañihua e 15% plátano). Os painéis resultantes foram avaliados por 30 consumidores não treinados com uma escala hedônica de 9 pontos, considerando cor, aroma, sabor, textura e aceitação. Além disso, são registradas variáveis tecnológicas (volume específico e perda durante o aquecimento) e parâmetros físico-químicos (umidade, pH).

Os resultados mostraram que a incorporação de farinhas alternativas melhorou significativamente os atributos sensoriais em comparação com o controle. O tratamento T3 obteve as maiores pontuações em todos os atributos avaliados (cor: 8,20; aroma: 8,07; sabor: 8,33; textura: 8,03), indicando maior aceitação pelos consumidores. Embora o volume específico e a porosidade tenham diminuído com o aumento do nível de substituição, os valores permaneceram dentro de faixas aceitáveis para produtos de panificação. A perda de massa durante o fornecimento variou de 9,8% a 11,4%, e os valores de pH mantiveram-se na faixa ideal (5,75–6,08 para a massa e 5,82–5,98 para o pão assado). Consequentemente, a estratégia avaliada permite o enriquecimento do pão por meio da adição de proteínas, fibras e minerais provenientes de ingredientes locais, sem comprometer significativamente sua aceitação sensorial. Assim, constitui uma alternativa viável para o desenvolvimento de produtos de panificação com melhor perfil nutricional na região.

**Palavras-chave:** farinha de cañihua, farinha de banana-da-terra, enriquecimento, panificação, avaliação sensorial, alimentos funcionais.

## INTRODUCCIÓN

La tendencia actual muestra que las personas ya no solo buscan cubrir sus necesidades nutricionales básicas, sino también obtener beneficios adicionales que promuevan una vida saludable; esta demanda impulsa la reformulación de productos tradicionales, como el pan, incorporando ingredientes locales con propiedades funcionales que sumen valor nutricional, pero sin perder la aceptación del consumidor. La cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), pseudocereal andino, destaca por su elevado contenido de proteínas de buena calidad biológica, fibra, minerales como hierro y calcio y compuestos fenólicos con actividad antioxidante. Diversos estudios muestran que sus proteínas se digieren de forma eficiente y liberan aminoácidos esenciales, lo que la convierte en un candidato interesante para enriquecer distintas matrices alimentarias (Serena et al., 2023). Además su uso se ha ampliado a productos como extruidos y análogos alimenticios, evidenciando su versatilidad tecnológica (Quispe et al., 2024a). En panificación tanto en formulaciones sin gluten como en mezclas con harina de trigo la cañihua ha mejorado el perfil nutricional; sin embargo, también se han observado cambios en volumen y textura (Luque et al., 2024; Zegarra et al., 2019)

Por su parte, la harina de plátano (*Musa paradisiaca*), sobre todo la obtenida de plátano verde, aporta almidón resistente, fibra y compuestos bioactivos que benefician la salud digestiva. Estudios recientes indican que puede mejorar propiedades fisicoquímicas, favorecer la retención de humedad y prolongar la vida útil de productos procesados (Leiva et al., 2025a). Al combinarse con pseudocereales, la harina de plátano contribuye a la estructura y funcionalidad del alimento y de paso diversifica las materias primas disponibles para la industria (Bender & Schönlechner, 2021). Investigaciones sobre sustituciones parciales de harina de trigo por harina de plátano muestran que niveles moderados mantienen la aceptabilidad sensorial y aumentan el contenido de fibra y almidón resistente (Udomkun et al., 2022)

Reformular productos de panadería ofrece una oportunidad favorable para incorporar estos insumos. No obstante, sustituir parcial o totalmente la harina de trigo por harinas no convencionales puede alterar atributos clave como el volumen específico, textura, color y sabor. Por eso resulta esencial encontrar un punto medio entre la mejora nutricional y las preferencias del consumidor (Paucar et al., 2022). Varios estudios

sobre cultivos andinos indican que sustituir parte de la harina de trigo puede funcionar bien. Por ejemplo, mezclas con hasta 50% kiwicha, 25% kañiwa o 12,5% tarwi mantienen una buena aceptabilidad sensorial y muestran patrones termomecánicos aceptables. Sin embargo, las harinas 100% andinas rara vez producen una miga aireada por lo que bajo estas condiciones, los resultados con la cañihua llegan a ser más beneficiosas entre 5% y 15%, pero perjudicial por encima de ese intervalo para la esponjosidad y el color siguiendo la misma tendencia; pequeñas incorporaciones mejoran el valor nutricional sin comprometer en exceso la estructura ni la aceptación del pan (Chamorro et al., 2023; Rosell et al., 2009).

Aunque existe información sobre el uso individual de harina de cañihua y de plátano en productos horneados, la evidencia sobre su aplicación conjunta en pan tipo francés sigue siendo limitada. La mayoría de los trabajos se enfoca en sustituciones individuales o en otros formatos, por lo que aún no está claro cómo interactúan ambas harinas cuando se mezclan en distintas proporciones ni cómo se logra el equilibrio entre un perfil nutricional mejorado y la aceptabilidad sensorial, especialmente en la región sur del Perú. Considerando esa limitación, este estudio buscó evaluar la elaboración y la aceptabilidad sensorial de un pan enriquecido con harinas de cañihua y plátano, pensado como una alternativa innovadora con mayor valor nutricional. En vez de reemplazar totalmente la harina de trigo, se apostó por un enriquecimiento progresivo que conserva una base importante de trigo. Se plantearon cuatro tratamientos: un control (T0) hecho con 100% harina de trigo y tres formulaciones (T1, T2 y T3) con niveles crecientes de incorporación de cañihua y plátano.

Evalúamos los productos desde tres perspectivas: sensorial, tecnológica y fisicoquímica, buscando la formulación que mejor combine buena aceptación con aporte funcional. Además de generar conocimiento técnico sobre el uso de recursos locales en panificación, esta investigación impulsa el aprovechamiento sostenible de cultivos andinos y tropicales y aporta al desarrollo de productos funcionales alineados con la creciente demanda de alimentación saludable en el país.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de ejecución

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Tecnología Agroindustrial de Granos y Cereales de la Universidad Privada San Juan Bautista, filial Ica, Perú. Las actividades comprendieron la formulación, elaboración y evaluación de panes enriquecidos con harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y harina de plátano (*Musa paradisiaca*).

### Materia prima e insumos

Las materias primas e insumos empleados para la elaboración de los panes fueron adquiridos en establecimientos comerciales de la ciudad de Ica, Perú. Se utilizaron harina de trigo, harina de cañihua, harina de plátano, levadura seca instantánea, azúcar, sal, manteca vegetal y agua potable.

**Tabla 1.** *Materias primas e insumos empleados para la elaboración del pan enriquecido con harinas de cañihua y plátano(T1)*

| Materia prima e insumos | Cantidad (g) |
|-------------------------|--------------|
| Harina de trigo         | 925          |
| Harina de cañihua       | 25           |
| Harina de plátano       | 50           |
| Azúcar                  | 150          |
| Levadura seca           | 14           |
| Sal                     | 12           |
| Manteca vegetal         | 60           |
| Agua                    | 260          |
| Aceite                  | 18           |
| Mejorador               | 8            |
| Leche                   | 260          |
| Huevo (2)               | 120          |
| Esencia de vainilla     | 10 ml        |

**Nota:** Las materias primas e insumos utilizados en la investigación fueron adquiridos en establecimientos comerciales de la ciudad de Ica, Perú. Elaboración propia.

## Evaluadores sensoriales

La evaluación sensorial fue realizada por 30 consumidores no entrenados, seleccionados por conveniencia entre estudiantes, docentes y personal administrativo de la Universidad Privada San Juan Bautista. Los evaluadores participaron voluntariamente y calificaron los atributos sensoriales de los panes elaborados mediante una escala hedónica estructurada.

## Diseño experimental

Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos (T0, T1, T2 y T3), correspondientes a diferentes niveles de sustitución parcial de harina de trigo por harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y harina de plátano (*Musa paradisiaca*).

Cada tratamiento fue elaborado en tres lotes independientes, constituyendo tres repeticiones experimentales y un total de doce unidades experimentales. Posteriormente, los panes obtenidos fueron sometidos a la evaluación de sus propiedades tecnológicas (volumen específico, volumen del pan, pérdida por horneado, densidad real, densidad aparente, volumen de poros, porosidad), fisicoquímicas (humedad, pH) y sensoriales (color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad general), con la finalidad de determinar el efecto de los diferentes niveles de sustitución sobre la calidad del producto final.

volumen específico, volumen del pan, pérdida por horneado, densidad real, densidad aparente, volumen de poros, porosidad

**Tabla 2.** Composición porcentual de los tratamientos

| Tratamiento     | Harina de trigo (%) | Harina de cañihua (%) | Harina de plátano (%) | Sustitución total (%) |
|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| T0<br>(Control) | 100                 | 0                     | 0                     | 0                     |
| T1              | 92,5                | 2,5                   | 5                     | 7,5                   |
| T2              | 85                  | 5                     | 10                    | 15                    |
| T3              | 77,5                | 7,5                   | 15                    | 22,5                  |

**Nota:** Los porcentajes corresponden a la sustitución parcial de harina de trigo por harina de cañihua y harina de plátano. T0 representa el pan control sin sustitución.

## Formulación de los tratamientos

Los tratamientos fueron formulados utilizando una base de 1000 g de harina total. La cantidad de agua adicionada se ajustó de manera progresiva en función de la capacidad de absorción de cada mezcla, considerando el incremento en los niveles de sustitución por harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y harina de plátano (*Musa paradisiaca*). Este ajuste tuvo como finalidad obtener masas con adecuada consistencia, manejabilidad y desarrollo de la red de gluten, garantizando condiciones homogéneas durante el proceso de elaboración y permitiendo una comparación objetiva entre los tratamientos evaluados.

**Tabla 3.** Composición de los tratamientos experimentales (g/1000 g de harina total)

| Ingrediente         | T0     | T1     | T2     | T3     |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| Harina de trigo     | 1000   | 925    | 850    | 775    |
| Harina de cañihua   | 0      | 25     | 50     | 75     |
| Harina de plátano   | 0      | 50     | 100    | 150    |
| Azúcar              | 150    | 150    | 150    | 150    |
| Levadura            | 14     | 14     | 14     | 14     |
| Sal                 | 12     | 12     | 12     | 12     |
| Manteca vegetal     | 60     | 60     | 60     | 60     |
| Agua                | 260    | 260    | 260    | 260    |
| Aceite              | 18     | 18     | 18     | 18     |
| Mejorador           | 8      | 8      | 8      | 8      |
| Leche               | 260    | 260    | 260    | 260    |
| Huevo               | 2      | 2      | 2      | 2      |
| Esencia de vainilla | 2 Cdta | 2 Cdta | 2 Cdta | 2 Cdta |

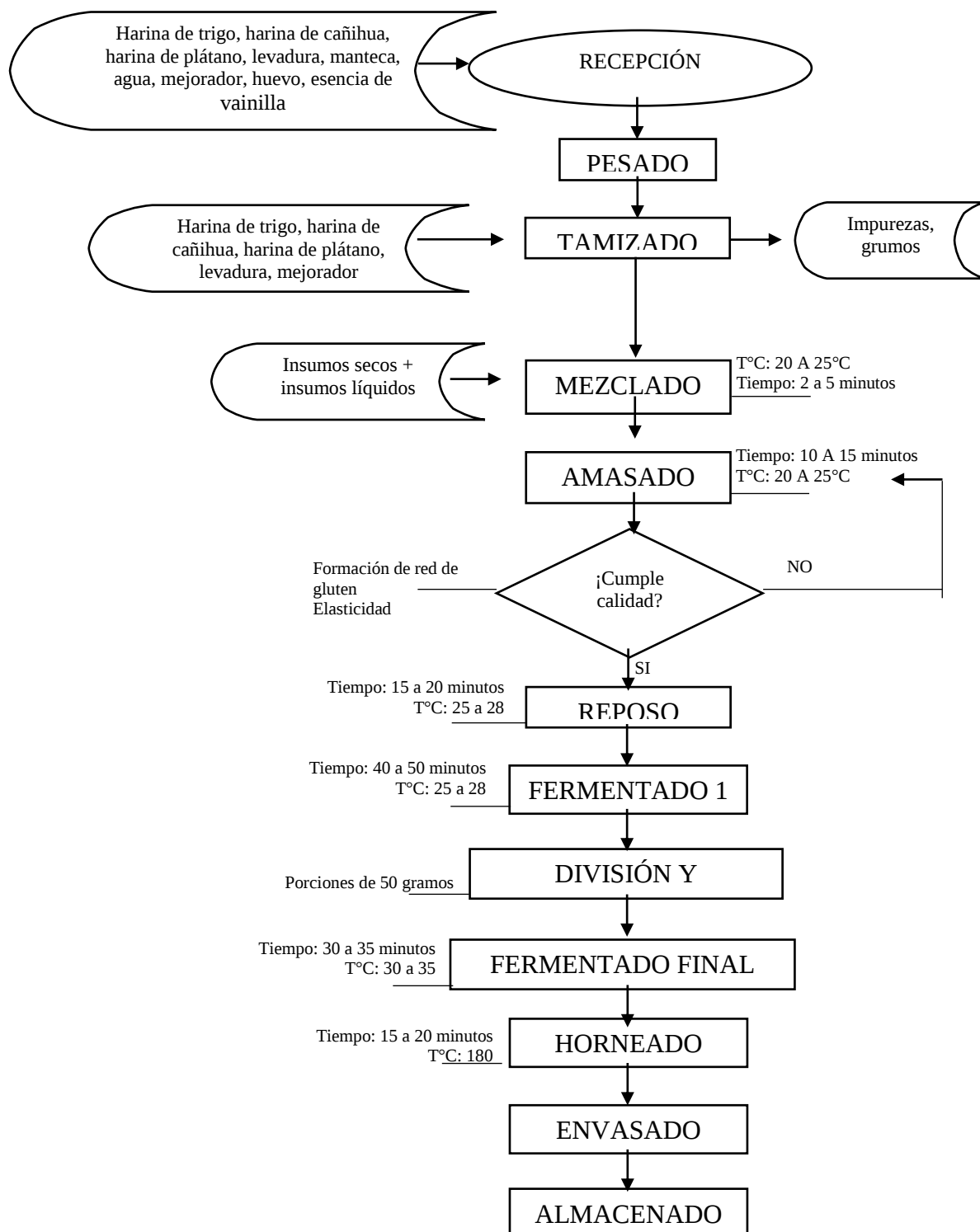
**Nota:** La cantidad de agua se ajustó empíricamente según la absorción de cada mezcla para obtener una masa con consistencia adecuada.

## Elaboración del pan

La elaboración de los panes se realizó siguiendo el procedimiento tradicional de panificación. Inicialmente se pesaron los ingredientes correspondientes a cada tratamiento. Posteriormente, las harinas, azúcar y sal fueron tamizadas para eliminar impurezas y favorecer la homogeneidad de la mezcla. La levadura fue previamente

hidratada en agua tibia y posteriormente incorporada a los ingredientes secos. La mezcla fue amasada durante 20 a 25 minutos hasta obtener una masa homogénea, elástica y con adecuada formación de gluten. Las masas obtenidas fueron sometidas a un periodo de reposo de 20 minutos para favorecer la hidratación de los componentes y mejorar las propiedades reológicas. Posteriormente se realizó una primera fermentación durante 40 a 50 minutos a una temperatura de 25 a 28 °C y humedad relativa de 75 a 80%. Luego del proceso de fermentación, las masas fueron divididas en porciones de 50 g y moldeadas manualmente. Seguidamente se efectuó una segunda fermentación durante 30 a 40 minutos a una temperatura de 30 a 35 °C. Finalmente, los panes fueron horneados a 180 °C durante 15 a 20 minutos. Una vez concluido el horneado, los productos fueron enfriados a temperatura ambiente, envasados y almacenados hasta la realización de los análisis correspondientes.

**Figura 1.** Flujograma de proceso



Nota: Elaboración propia

## Evaluación sensorial

La aceptación sensorial de las muestras de pan se evaluó siguiendo la metodología propuesta por (Coțovanu & Mironeasa, 2022). Esta prueba permitió conocer la percepción de los consumidores frente a las diferentes formulaciones elaboradas, considerando atributos que influyen directamente en la calidad y preferencia del producto.

La evaluación se realizó sobre cuatro tratamientos experimentales identificados como T0, T1, T2 y T3. Con el propósito de evitar que los participantes asociaran las muestras con alguna formulación específica, cada una fue codificada mediante números aleatorios de cuatro dígitos antes de ser presentada a los evaluadores. El panel estuvo conformado por 30 jueces no entrenados, seleccionados por conveniencia entre estudiantes, docentes y personal administrativo de la Universidad Privada San Juan Bautista. Los evaluadores analizaron los atributos de color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad general.

Para la calificación se utilizó una escala hedónica de nueve puntos, donde el valor 1 correspondió a “me disgusta muchísimo”, el valor 5 representó una opinión neutral (ni me gusta ni me disgusta) y el valor 9 indicó “me gusta muchísimo”. Entre la degustación de una muestra y otra, los panelistas consumieron agua y galletas con la finalidad de limpiar el paladar y reducir posibles interferencias sensoriales que pudieran afectar las evaluaciones posteriores.

Los puntajes obtenidos permitieron comparar el comportamiento sensorial de las formulaciones estudiadas y analizar el efecto de la incorporación de harina de cañihua y harina de plátano sobre las propiedades organolépticas del pan. A partir de esta información se identificó la formulación que presentó la mayor aceptación global por parte de los evaluadores, considerándose como aquella que logró mantener un equilibrio adecuado entre color, aroma, sabor y textura, sin comprometer la calidad sensorial del producto final (Coțovanu & Mironeasa, 2022).

## Técnicas e instrumentos

En la recaudación de datos se utilizó la siguiente técnica e instrumento:

**Tabla 4.** *Técnica e instrumento*

| Técnica  | Instrumentos    |
|----------|-----------------|
| Encuesta | Escala Hedónica |

**Nota:** Elaboración propia

**Tabla 5.** *Escala hedónica para evaluación escala hedónica de 9 puntos utilizada para la evaluación sensorial de las muestras de pan*

| Puntuación | Nivel de aceptación        |
|------------|----------------------------|
| 9          | Me gusta muchísimo         |
| 8          | Me gusta mucho             |
| 7          | Me gusta moderadamente     |
| 6          | Me gusta ligeramente       |
| 5          | Ni me gusta ni me disgusta |
| 4          | Me disgusta ligeramente    |
| 3          | Me disgusta moderadamente  |
| 2          | Me disgusta mucho          |
| 1          | Me disgusta muchísimo      |

**Nota:** Elaboración propia

### Variables evaluadas

Se consideraron variables tecnológicas (volumen específico, porosidad y pérdida por horneado), fisicoquímicas (pH) y sensoriales (color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad general).

**Tabla 6.** *Variables evaluadas y ecuaciones utilizadas en la investigación*

| Variable evaluada    | Parámetro determinado                             | Ecuación aplicada                           | Unidad   |
|----------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------|
| Volumen específico   | Capacidad de expansión del pan                    | $VE = V / m$                                | $cm^3/g$ |
| Volumen del pan      | Volumen desplazado por la muestra                 | $V = \pi \times r^2 \times D$               | $cm^3$   |
| Pérdida por horneado | Pérdida de masa durante el horneado               | $PPC (\%) = [(P_i - P_f) / P_i] \times 100$ | %        |
| Densidad real        | Densidad de la fase sólida del pan (sin poros)    | $\rho_r = m / V$                            | $g/cm^3$ |
| Densidad aparente    | Relación entre masa y volumen total de la muestra | $\rho_a = m / V_a$                          | $g/cm^3$ |

|                    |                                                      |                                                                 |                 |
|--------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|
| Volumen de poros   | Volumen ocupado por aire en la estructura            | $V_p = V_{b.wp} - V_{b.wop}$                                    | cm <sup>3</sup> |
| Porosidad          | Porcentaje de espacios vacíos en la muestra          | $P = \{1 - [(m_{pan} / p_{sólido}) / V_{muestra}] \times 100\}$ | %               |
| Análisis sensorial | Aceptabilidad general, color, aroma, sabor y textura | Escala hedónica de 9 puntos                                     | Puntos (1-9)    |

**Nota:** Elaboración propia

## Variables tecnológicas

### Volumen específico:

El pan al contener almidón y proteínas tiene una mayor densidad y menor volumen específico por tener una masa pesada. Esto debido a la alta incorporación de aire durante el batido y la formación de alveolos grandes y de textura “abierta”. (Chuquiviguel Cerna, 2025).

El volumen específico de las muestras de pan se determinó mediante el método de desplazamiento de semillas de colza, realizado dos horas después del proceso de horneado. Este procedimiento corresponde a una adaptación del método 10-05.01 de la American Association of Cereal Chemists, aplicado por (Calvo Carrillo et al., 2020). Para la medición, se empleó un vaso de precipitados de Vaso De Precipitado con capacidad de 500mL graduado plástico polipropileno, diámetro interno de 8.5 cm y altura de 11 cm. Inicialmente, el recipiente se llenó con semillas de chía en lugar de colza hasta alcanzar el nivel de referencia de 200 mL. Posteriormente, las semillas de chía fueron retiradas y se colocó la muestra de pan dentro del cilindro. A continuación, se reincorporaron las semillas hasta completar el espacio libre alrededor del producto, registrándose la altura de desplazamiento (cm) generado respecto al nivel inicial de referencia. Dicho desplazamiento permitió estimar el volumen ocupado por el pan cm<sup>3</sup>.

El volumen de cada muestra se calculó utilizando la siguiente expresión:

$$V = \pi \times r^2 \times D$$

Donde:

- V =volumen del pan (cm<sup>3</sup>)

- $\pi$  = constante matemática (3,1416)
- $r$  = radio interno del cilindro (cm)
- $D$  = distancia de desplazamiento registrada desde la marca de referencia (cm)

**Figura 2.** Metodología de desplazamiento de semillas de chía para estimar el volumen ocupado por el pan



Finalmente, el volumen específico se obtuvo relacionando el volumen calculado con el peso de la muestra, mediante la siguiente ecuación:

$$VE = \frac{\text{Volumen del pan (cm}^3\text{)}}{\text{Peso del pan (g)}}$$

Donde:

- VE = volumen específico (cm³/g)
- V = volumen del pan (cm³)
- m = masa o peso de la muestra de pan (g)

Este parámetro permitió evaluar la capacidad de expansión de las muestras y la estructura interna desarrollada durante el proceso de elaboración.

### ***Pérdida por horneado***

La pérdida por cocción de las muestras de pan se determinó siguiendo la metodología propuesta por (Gutierrez, 2022). Este análisis permitió cuantificar la disminución de peso que experimenta el producto durante el proceso de horneado y enfriamiento, principalmente debido a la evaporación de agua y a la liberación de compuestos volátiles generados por efecto de la temperatura. Para la evaluación, cada muestra fue pesada antes de ingresar al horno, registrándose el peso inicial de la masa. Una vez finalizado el horneado, los panes fueron retirados y dejados enfriar a temperatura ambiente hasta alcanzar condiciones estables. Posteriormente, se registró el peso final de cada muestra enfriada. La pérdida por cocción se calculó a partir de la diferencia entre el peso inicial de la masa y el peso final del pan después del enfriamiento. Los resultados fueron expresados en porcentaje (%) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida por cocción (\%)} = \frac{\text{Peso antes del horneado} - \text{Peso despues del horneado}}{\text{Peso antes del horneado}} \times 100$$

Donde:

- Peso de la masa antes del horneado (g): corresponde al peso registrado antes de someter la muestra al proceso de cocción.
- Peso del pan enfriado (g): corresponde al peso obtenido después del horneado y una vez que el producto alcanzó la temperatura ambiente.
- Pérdida por cocción (%): representa el porcentaje de masa perdida durante el proceso de elaboración. Este parámetro permitió evaluar el comportamiento de las muestras frente al tratamiento térmico, proporcionando información sobre la retención de humedad y la estabilidad del producto durante el horneado.

## ***Determinación del volumen de poros y porosidad***

### ***a) Determinación de la densidad real del pan sólido***

La densidad real de las muestras de pan se determinó siguiendo el procedimiento descrito por (Bodor et al., 2025), el cual se basa en la relación existente entre la masa del producto y el volumen ocupado únicamente por su fase sólida, excluyendo los espacios de aire presentes en la estructura interna. Para ello, se utilizó una balanza analítica para registrar la masa de cada muestra, un vaso precipitado con capacidad de 500 cm<sup>3</sup> graduado de polipropileno (diámetro interno de 8.5 cm y una altura de 11 cm) y semillas de pequeño tamaño como material de desplazamiento volumétrico, debido a que estas no son absorbidas por el pan y permiten adaptarse a las irregularidades de la superficie sin alterar la estructura de la muestra.

En primer lugar, cada muestra fue pesada para obtener su masa en gramos. Seguido a ello, en un recipiente se llenó con semillas de chía (en remplazo de semillas de colza) hasta alcanzar el nivel de referencia de 200 mL. Posteriormente, las semillas de chía fueron retiradas y luego a ello se colocó la muestra de pan en el vaso de precipitado y se adicionaron nuevamente las semillas completar el volumen necesario. La lectura obtenida correspondió al volumen total del pan con poros (Vb.wp) también conocido como el volumen aparente de la muestra, es decir con poros (cm<sup>3</sup>), considerando tanto la fase sólida como los espacios de aire presentes en la miga. Luego, las semillas fueron retiradas y la muestra se desmenuzó manualmente hasta desintegrar manualmente la miga eliminando por completo los poros y cavidades formadas durante los procesos de fermentación y horneado, teniendo una vez la masa compacta, se repitió la medición anterior bajo las mismas condiciones para determinar el volumen del pan sin poros (Vb.wop) conocido como el volumen de la muestra sin poros (cm<sup>3</sup>).

La densidad real ( $\rho_r$ ) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_r = m / V$$

Donde:

- $\rho_r$  = densidad real del pan sólido (g/cm<sup>3</sup>)

- $m$  = masa de la muestra (g)
- $V$  = volumen de la muestra sin poros ( $\text{cm}^3$ )

El valor obtenido permitió cuantificar la cantidad de materia sólida presente en cada muestra y fue empleado posteriormente para la determinación del porcentaje de porosidad.

Adicionalmente, la densidad aparente puede expresarse como la relación entre la masa del producto y el volumen total ocupado por la muestra, incluyendo los espacios de aire presentes en su estructura:

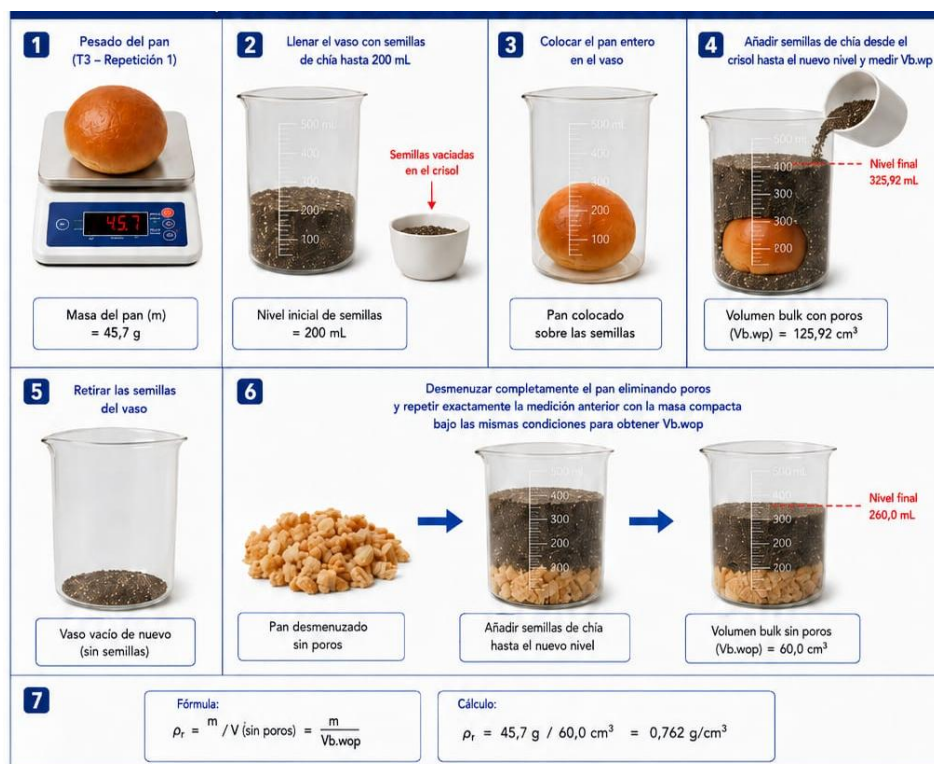
$$\rho_a = m / V_a$$

Donde:

- $\rho_a$  = densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
- $m$  = masa de la muestra (g)
- $V_a$  = volumen aparente de la muestra, es decir con poros ( $\text{cm}^3$ )

La densidad real obtenida fue empleada posteriormente para el cálculo del porcentaje de porosidad.

**Figura 3.** Procedimiento para la determinación de la densidad real y densidad aparente del pan



### b) Determinación del volumen de poros y porosidad de las muestras

El volumen de poros de cada muestra se obtuvo a partir de la diferencia entre ambas mediciones, según la siguiente expresión:

$$V_p = Vb.wp - Vb.wop$$

Donde:

- $V_p$  = volumen de poros de la muestra (cm³)
- $Vb.wp$  = volumen del pan con poros (cm³)
- $Vb.wop$  = volumen del pan sin poros (cm³)

Después de determinar la densidad real del pan sólido mediante el procedimiento descrito anteriormente, se calculó el porcentaje de porosidad utilizando la ecuación propuesta por (Glover, 2001):

$$P = \left\{ 1 - \left[ \frac{\frac{m_{pan}}{p_{sólido}}}{V_{muestra}} \right] \times 100 \right\}$$

Donde:

- $P$  =porosidad (%)
- $m_{pan}$  =masa de la muestra de pan (g)
- $p_{sólido}$  =densidad real del pan sólido sin poros (g/cm<sup>3</sup>)
- $V_{muestra}$  =volumen total del pan con poros o volumen aparente de la muestra (cm<sup>3</sup>)

La porosidad obtenida representa la proporción del volumen total ocupada por espacios de aire dentro de la estructura del pan. Este parámetro constituye un indicador importante de la calidad de la miga, ya que permite evaluar el grado de aireación desarrollado durante la fermentación y el horneado, aspectos que influyen directamente en la textura y apariencia final del producto.

### Variables fisicoquímicas

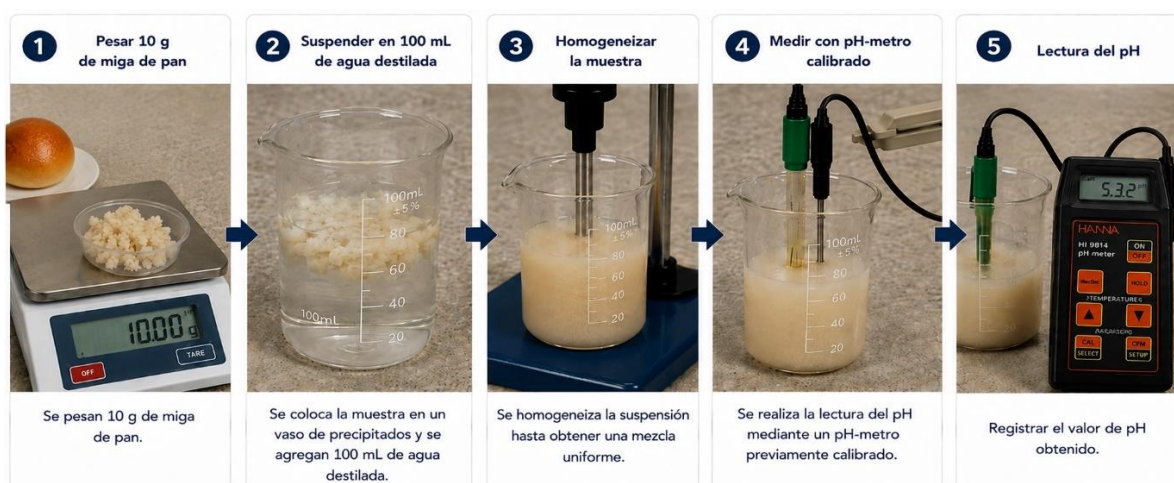
#### pH:

El pH es un indicador de la intensidad del sabor ácido en una matriz alimentaria y ejerce un rol determinante en la regulación de la actividad enzimática y el control del desarrollo microbiano. En la industria de la panificación, el monitoreo de este parámetro es un factor crítico para la prevención de Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA), ya que define los límites de acidez o alcalinidad que podrían propiciar la proliferación de patógenos, hongos y levaduras alterando la textura, el sabor y la apariencia del producto. Específicamente, valores de pH excesivamente elevados tienden a generar una miga densa y pegajosa, mientras que niveles demasiado bajos provocan una acidez sensorial indeseable. Por lo tanto, con el fin de estandarizar el proceso productivo y cumplir con los estándares mínimos de calidad, la medición continua del pH funciona como una herramienta de diagnóstico operativo; cualquier desviación significativa en este valor revela posibles anomalías durante la etapa de

fermentación o dosificaciones incorrectas en la formulación de los ingredientes.(Chuquiviguel Cerna, 2025).

La determinación del pH del pan se realizó siguiendo la metodología AACCI 02-52.01, la cual consiste en suspender 10 g de miga de pan en 100 mL de agua destilada, homogeneizar la muestra y efectuar la lectura mediante un pH-metro portátil marca Hanna Instruments, modelo HI 8424, previamente calibrado. Este procedimiento ha sido empleado en investigaciones de calidad de panificación y evaluación de productos de panadería (Scarton et al., 2020)

**Figura 4.** Procedimiento para la ejecución e metodología de medición de pH en masa y en pan.



### Análisis estadísticos

Los datos obtenidos para las variables tecnológicas (volumen específico y pérdida por horneado), fisicoquímicas (pH) y sensoriales (color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad general) fueron analizados bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), considerando cuatro tratamientos (T0, T1, T2 y T3) correspondientes a diferentes niveles de sustitución parcial de harina de trigo por harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) y harina de plátano (*Musa paradisiaca*).

Previamente al análisis estadístico, se verificaron los supuestos de normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza

(ANOVA) de una vía para determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos.

Cuando se detectaron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ), se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar las diferencias entre medias de los tratamientos. Los resultados fueron expresados como media  $\pm$  desviación estándar.

El procesamiento y análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el software R Studio versión 2025.05.1, empleando los paquetes estadísticos stats, car y agricolae, con un nivel de confianza del 95%.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Evaluación Sensorial

La evaluación de la aceptabilidad del producto se llevó a cabo mediante un panel semientrenado conformado por 30 jueces. Se empleó una escala hedónica estructurada de 9 puntos para valorar los atributos de Color, Olor, Sabor y Textura. El análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) demostraron diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones evaluadas.

**Figura 5.** Corteza del pan elaborado por tratamiento.

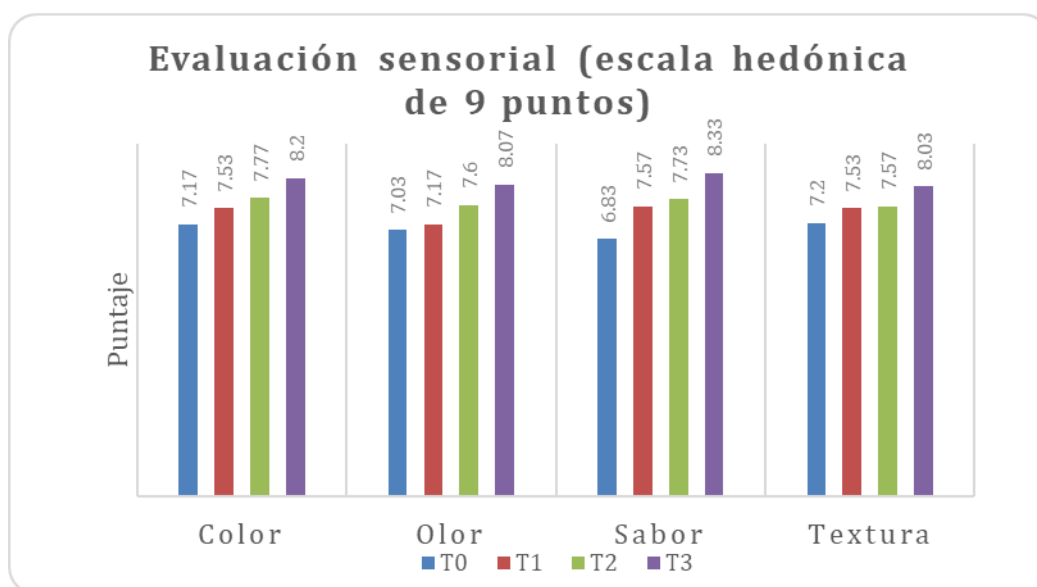
| T0                                                                                   | T1                                      | T2                                   | T3                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
|  |                                         |                                      |                                          |
| (Control, 100% trigo)                                                                | (92,5% trigo, 2,5% cañihua, 5% plátano) | (85% trigo, 5% cañihua, 10% plátano) | (77,5% trigo, 7,5% cañihua, 15% plátano) |

**Tabla 7.** Promedios de aceptabilidad sensorial por atributo y tratamiento

| Atributo | T0 (Control)  | T1             | T2             | T3            |
|----------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| Color    | 7.17 ± 0.65 a | 7.53 ± 0.63 ab | 7.77 ± 0.43 b  | 8.20 ± 0.41 c |
| Olor     | 7.03 ± 0.67 a | 7.17 ± 0.99 ab | 7.60 ± 0.67 bc | 8.07 ± 0.58 c |
| Sabor    | 6.83 ± 0.65 a | 7.57 ± 0.68 b  | 7.73 ± 0.58 b  | 8.33 ± 0.84 c |
| Textura  | 7.20 ± 0.66 a | 7.53 ± 0.68 a  | 7.57 ± 0.63 a  | 8.03 ± 0.56 b |

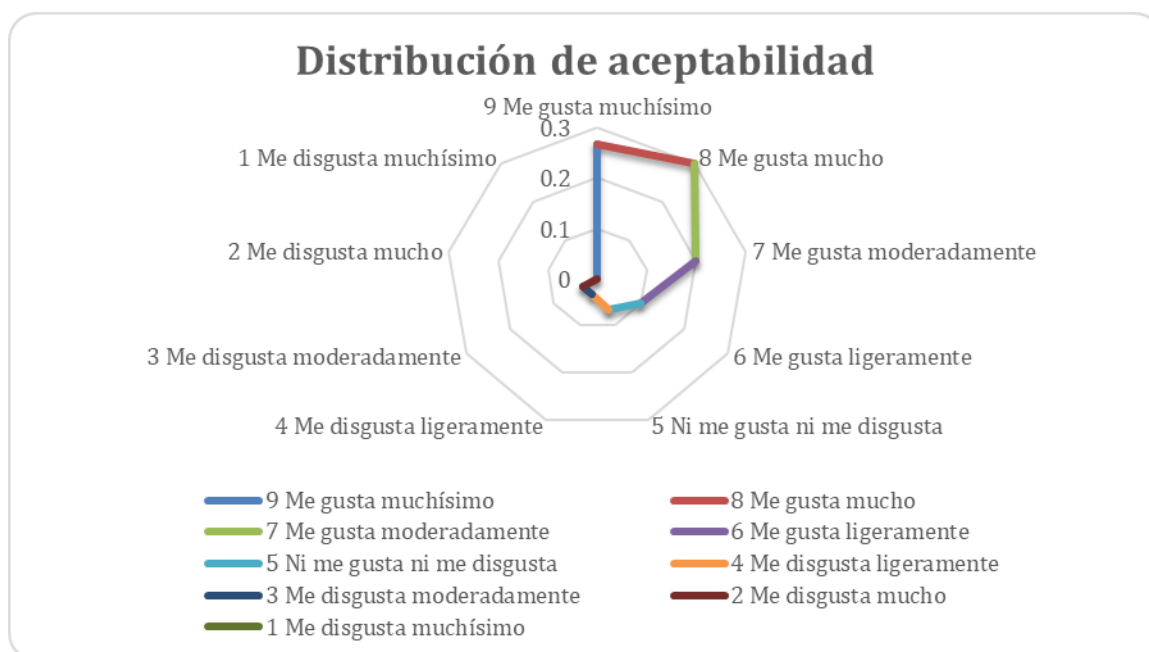
**Nota:** Escala hedónica estructurada de 9 puntos (1 = me disgusta muchísimo; 9 = me gusta muchísimo). n = 30 jueces semientrenados.

**Figura 6.** Evaluación sensorial (Escala hedónica de 9 puntos)



Para complementar este hallazgo, se evaluó la distribución global de aceptabilidad, donde las respuestas de los panelistas mostraron una clara tendencia hacia los extremos positivos de la escala.

**Figura 7. Distribución de aceptabilidad**



**Nota:** El análisis visual del gráfico radial (Figura 2) confirma la distribución favorable, donde las categorías de 'Me gusta mucho' y 'Me gusta muchísimo' agrupan más del 56% de las respuestas de los evaluadores, reflejando una aceptación contundente del producto.

- **Color**

Los resultados muestran un incremento progresivo y estadísticamente significativo del atributo Color conforme aumenta el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de cañihua y plátano, pasando de 7.17 (T0) a 8.20 (T3), con diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). Esta tendencia es coherente con lo reportado en productos de panificación enriquecidos con pseudocereales andinos, donde el mayor contenido de azúcares reductores y compuestos nitrogenados de la cañihua favorece el desarrollo de la reacción de Maillard durante el horneado, generando tonalidades doradas más atractivas para el panelista (Estalla et al., 2026). De manera similar, la incorporación de harina de plátano rica en almidón y compuestos fenólicos (Chamorro et al., 2023) modifica los parámetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de la miga, efecto que ha sido documentado en panes enriquecidos con harina de banano/plátano verde, donde niveles moderados de sustitución ( $\approx 10\%$ ) generan variaciones de color perceptibles pero no necesariamente negativas para el

consumidor, mientras que sustituciones muy altas oscurecen excesivamente el producto (Bashmil et al., 2025). En este sentido, (Udomkun et al., 2022) reportaron que la sustitución de harina de trigo con un 10% de harina de plátano mejoró la apariencia del pan en comparación con el control, resultado que respalda el comportamiento observado en el tratamiento T3 del presente estudio, donde la combinación equilibrada de cañihua y plátano potenció la aceptación visual sin comprometer la calidad del producto.

- **Aroma**

El atributo Olor evidenció el mismo patrón ascendente (7.03 en T0 hasta 8.07 en T3), con diferencias significativas entre el control y los tratamientos con mayor nivel de sustitución. El incremento en la percepción aromática puede explicarse por la formación de compuestos volátiles derivados de la reacción de Maillard y de la degradación de precursores presentes en la cañihua durante el procesamiento térmico, mecanismo que ha sido descrito como determinante en la mejora de la aceptabilidad global de productos elaborados con este pseudocereal andino (Estalla et al., 2026). Asimismo, en un estudio sobre galletas sin gluten elaboradas con harina de cañihua, suero de leche y almidón de papa, la formulación con mayor proporción de cañihua fue la que alcanzó el mejor puntaje de aroma, atribuido a la generación de notas tostadas propias del procesamiento de este grano andino (Luque et al., 2024). Cabe destacar que la incorporación de harinas no convencionales no siempre mejora el aroma; en productos con niveles muy altos de sustitución se han reportado notas verdes o herbáceas no deseadas propias del plátano en estado inmaduro. Sin embargo, en el rango de formulación empleado en el presente estudio (hasta 20%), el efecto combinado de ambas harinas resultó favorable, lo que explica por qué T3 fue calificado dentro de la categoría 'me gusta mucho'.

- **Sabor**

El sabor fue el atributo que mostró el mayor incremento relativo entre tratamientos, pasando de 6.83 (T0) a 8.33 (T3), con diferencias altamente significativas ( $p < 0.05$ ). Este comportamiento sugiere una sinergia positiva entre los compuestos bioactivos de la cañihua (proteínas de alta digestibilidad, compuestos fenólicos) y los azúcares naturales y el almidón del plátano, que en conjunto contribuyen a un perfil de sabor más equilibrado y agradable. Resultados similares fueron reportados por (Udomkun et al., 2022), quienes encontraron que la sustitución con harina de plátano, a

diferencia de la harina de soya, no afectó negativamente el sabor del pan e incluso mejoró la disposición de los consumidores a adquirir el producto. En productos horneados con cañihua, se ha señalado que su perfil ligeramente dulce y su capacidad de aportar notas tostadas contribuyen positivamente a la calidad sensorial cuando se combina con ingredientes que aportan dulzor natural, como el plátano (Luque et al., 2024). No obstante, es importante considerar que sustituciones excesivas de harinas no convencionales pueden intensificar sabores propios de la materia prima y disminuir la aceptación, tal como se ha documentado en panes con alta proporción de harinas alternativas (Chamorro et al., 2023); esto explica por qué el diseño experimental con niveles progresivos y controlados (hasta 20%) permitió maximizar la aceptación sin llegar a ese punto de rechazo.

- **Textura**

La textura fue el único atributo en el que solo el tratamiento T3 mostró diferencia estadísticamente significativa frente a los demás (T0, T1 y T2 compartieron el mismo subconjunto homogéneo 'a'), incrementándose de 7.20 a 8.03. Este resultado indica que, a niveles bajos e intermedios de sustitución (T1 y T2), la matriz del pan no logró un cambio estructural suficiente para ser percibido por el panel, mientras que en T3 la mayor proporción de almidón resistente y fibra dietaria aportados por la harina de plátano permitió estabilizar la red viscoelástica y mejorar la retención de humedad de la miga. Este mecanismo coincide con lo descrito por (Bashmil et al., 2025), quienes demostraron que la incorporación de harina de banano/plátano incrementa el contenido de almidón resistente y fibra dietética, favoreciendo una miga más blanda y con mejor capacidad de retención de agua cuando el nivel de sustitución se mantiene en rangos moderados. De manera consistente, Udomkun et al., (2022) señalaron que, si bien la sustitución de harina de trigo por otras harinas puede endurecer la miga y reducir el volumen específico del pan, el uso de harina de plátano generó un efecto menos perjudicial sobre la textura en comparación con otras harinas no convencionales como la de soya. Estos antecedentes respaldan que el tratamiento T3, con el mayor nivel de refuerzo funcional, logró el mejor desempeño textural del estudio.

### • Aceptabilidad General

Al integrar los cuatro atributos evaluados en un índice compuesto de aceptabilidad general, se observa una tendencia consistente: el tratamiento T3 (60% harina de trigo, 20% harina de cañihua y 20% harina de plátano) obtuvo el mayor puntaje promedio, seguido de T2, T1 y finalmente T0. Este hallazgo confirma que el enriquecimiento progresivo con harinas funcionales no solo no comprometió la aceptabilidad sensorial del producto, sino que la incrementó de manera significativa. Este comportamiento es consistente con la evidencia reportada en productos de panificación funcional enriquecidos con pseudocereales andinos, donde la incorporación combinada de cañihua con otras harinas no convencionales (como la kiwicha) mejoró significativamente los parámetros fisicoquímicos y sensoriales frente al control elaborado con 100% harina de trigo. Asimismo, la revisión de Estalla et al., (2026) sobre el uso de la cañihua en el desarrollo de alimentos funcionales concluye que, cuando el nivel de incorporación se maneja de forma progresiva y no se reemplaza totalmente la harina de trigo, es posible lograr productos con valor nutricional agregado sin sacrificar la aceptación del consumidor. En conjunto, estos resultados posicionan a T3 como la formulación tecnológicamente más equilibrada del presente estudio, en línea con la tendencia actual de la industria panificadora hacia alimentos funcionales con perfil sensorial competitivo (Luque et al., 2024; Udomkun et al., 2022).

### Volumen del pan con poros ( $V$ , $\text{cm}^3$ )

**Tabla 8.** Cálculo del volumen  $V$  ( $\text{cm}^3$ )

| Tratamiento | Repetición | D (cm) | Cálculo del volumen $V$ ( $\text{cm}^3$ )      |
|-------------|------------|--------|------------------------------------------------|
| T0          | 1          | 2.47   | $V = 56,745 \times 2,47 = 140,16 \text{ cm}^3$ |
| T0          | 2          | 2.49   | $V = 56,745 \times 2,49 = 141,30 \text{ cm}^3$ |
| T0          | 3          | 2.45   | $V = 56,745 \times 2,45 = 139,03 \text{ cm}^3$ |
| T0          | 4          | 2.47   | $V = 56,745 \times 2,47 = 140,16 \text{ cm}^3$ |
| T0          | 5          | 2.50   | $V = 56,745 \times 2,50 = 141,86 \text{ cm}^3$ |
| T0          | 6          | 2.49   | $V = 56,745 \times 2,49 = 141,30 \text{ cm}^3$ |
| T0          | 7          | 2.47   | $V = 56,745 \times 2,47 = 140,16 \text{ cm}^3$ |
| T0          | 8          | 2.45   | $V = 56,745 \times 2,45 = 139,03 \text{ cm}^3$ |
| T1          | 1          | 2.34   | $V = 56,745 \times 2,34 = 132,78 \text{ cm}^3$ |
| T1          | 2          | 2.33   | $V = 56,745 \times 2,33 = 132,21 \text{ cm}^3$ |
| T1          | 3          | 2.36   | $V = 56,745 \times 2,36 = 133,91 \text{ cm}^3$ |
| T1          | 4          | 2.34   | $V = 56,745 \times 2,34 = 132,78 \text{ cm}^3$ |
| T1          | 5          | 2.31   | $V = 56,745 \times 2,31 = 131,07 \text{ cm}^3$ |

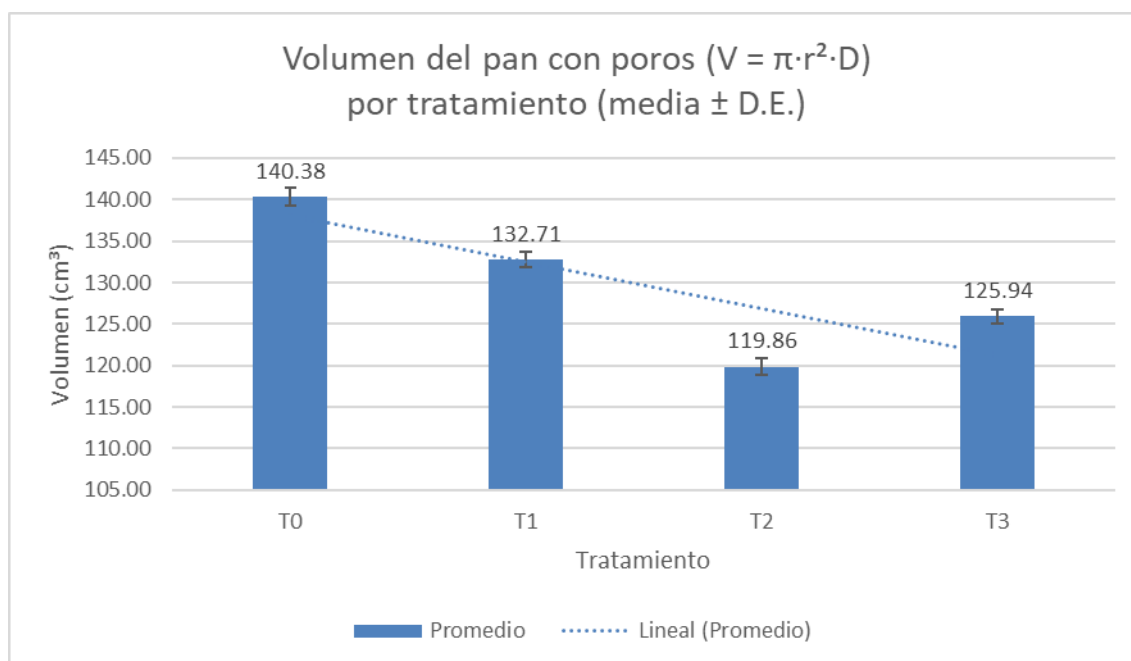
|    |   |      |                                                |
|----|---|------|------------------------------------------------|
| T1 | 6 | 2.33 | $V = 56,745 \times 2,33 = 132,21 \text{ cm}^3$ |
| T1 | 7 | 2.34 | $V = 56,745 \times 2,34 = 132,78 \text{ cm}^3$ |
| T1 | 8 | 2.36 | $V = 56,745 \times 2,36 = 133,91 \text{ cm}^3$ |
| T2 | 1 | 2.12 | $V = 56,745 \times 2,12 = 120,29 \text{ cm}^3$ |
| T2 | 2 | 2.10 | $V = 56,745 \times 2,10 = 119,14 \text{ cm}^3$ |
| T2 | 3 | 2.13 | $V = 56,745 \times 2,13 = 120,86 \text{ cm}^3$ |
| T2 | 4 | 2.12 | $V = 56,745 \times 2,12 = 120,29 \text{ cm}^3$ |
| T2 | 5 | 2.08 | $V = 56,745 \times 2,08 = 118,01 \text{ cm}^3$ |
| T2 | 6 | 2.10 | $V = 56,745 \times 2,10 = 119,14 \text{ cm}^3$ |
| T2 | 7 | 2.12 | $V = 56,745 \times 2,12 = 120,29 \text{ cm}^3$ |
| T2 | 8 | 2.13 | $V = 56,745 \times 2,13 = 120,86 \text{ cm}^3$ |
| T3 | 1 | 2.22 | $V = 56,745 \times 2,22 = 125,92 \text{ cm}^3$ |
| T3 | 2 | 2.24 | $V = 56,745 \times 2,24 = 127,07 \text{ cm}^3$ |
| T3 | 3 | 2.20 | $V = 56,745 \times 2,20 = 124,84 \text{ cm}^3$ |
| T3 | 4 | 2.22 | $V = 56,745 \times 2,22 = 125,92 \text{ cm}^3$ |
| T3 | 5 | 2.24 | $V = 56,745 \times 2,24 = 127,07 \text{ cm}^3$ |
| T3 | 6 | 2.22 | $V = 56,745 \times 2,22 = 125,92 \text{ cm}^3$ |
| T3 | 7 | 2.20 | $V = 56,745 \times 2,20 = 124,84 \text{ cm}^3$ |
| T3 | 8 | 2.22 | $V = 56,745 \times 2,22 = 125,92 \text{ cm}^3$ |

**Tabla 9.** Volumen promedio  $V$  ( $\text{cm}^3$ ) (por tratamiento)

| Tratamiento                    | n | Promedio ( $\text{cm}^3$ ) | Desv. Estándar |
|--------------------------------|---|----------------------------|----------------|
| T0 (control, 100% trigo)       | 8 | 140.373                    | 1.048          |
| T1 (2,5% cañihua, 5% plátano)  | 8 | 132.712                    | 0.932          |
| T2 (5% cañihua, 10% plátano)   | 8 | 119.874                    | 0.994          |
| T3 (7,5% cañihua, 15% plátano) | 8 | 125.974                    | 0.858          |

*Nota:* desviación estándar. n indica el número de repeticiones consideradas en el promedio.

**Figura 8.** Volumen específico del pan (VE)



El volumen del pan disminuyó de manera progresiva conforme aumentó el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de cañihua y harina de plátano. El tratamiento control T0 registró los valores más altos (139-142 cm<sup>3</sup>), mientras que T2 presentó los menores (118-121 cm<sup>3</sup>), con una ligera recuperación en T3. Esta disminución decreciente no fue estrictamente lineal, ya que T3 (22,5% de sustitución) presentó un volumen algo mayor que T2 (15% de sustitución), lo que sugiere que, a partir de cierto nivel de incorporación, otros factores de la formulación (posiblemente relacionados con el mayor contenido de plátano y su capacidad de retención de agua) modulan la expansión de la masa de forma no proporcional al nivel de sustitución. Esta tendencia coincide con lo reportado por (Bodor et al., 2025), quienes señalan que el método de desplazamiento de semillas permite estimar de forma confiable la expansión de la masa de pan y que dicha expansión depende directamente de la integridad de la red de gluten. (Massingue et al., 2023) describen un comportamiento similar en panes con harina de plátano verde, atribuyendo la reducción del volumen a la dilución del gluten y a la mayor capacidad de absorción de agua de las harinas no convencionales, lo que limita la retención de gases durante la fermentación. La leve recuperación observada en T3 podría relacionarse con el mayor aporte de almidón y compuestos pécticos del

plátano descrito por (Bender et al., 2021) para harinas de pseudocereales, que compensarían parcialmente la pérdida de capacidad de retención de gas.

### Volumen específico

El volumen específico (VE) expresa la capacidad de expansión del pan y se obtuvo relacionando el volumen de la pieza (determinado por el método de desplazamiento de semillas) con su masa, mediante la ecuación  $VE = V / m$ , expresada en  $cm^3/g$ . En la **Tabla 8** se presentan los resultados individuales por repetición y en la **Tabla 9** el resumen estadístico (media  $\pm$  desviación estándar) por tratamiento.

**Tabla 10.** *Volumen específico del pan por tratamiento y repetición*

| Tratamiento | Repetición | Volumen V ( $cm^3$ ) | Masa (g) | VE ( $cm^3/g$ ) |
|-------------|------------|----------------------|----------|-----------------|
| T0          | 1          | 140,16               | 45,2     | 3,10            |
| T0          | 2          | 141,30               | 45,0     | 3,14            |
| T0          | 3          | 139,03               | 45,0     | 3,09            |
| T0          | 4          | 140,16               | 44,6     | 3,14            |
| T0          | 5          | 141,86               | 45,2     | 3,14            |
| T0          | 6          | 141,30               | 44,6     | 3,17            |
| T0          | 7          | 140,16               | 44,8     | 3,13            |
| T0          | 8          | 139,03               | 45,2     | 3,08            |
| T1          | 1          | 132,78               | 44,7     | 2,97            |
| T1          | 2          | 132,21               | 45,2     | 2,93            |
| T1          | 3          | 133,91               | 45,0     | 2,98            |
| T1          | 4          | 132,78               | 45,5     | 2,92            |
| T1          | 5          | 131,07               | 45,2     | 2,90            |
| T1          | 6          | 132,21               | 45,2     | 2,93            |
| T1          | 7          | 132,78               | 44,8     | 2,96            |
| T1          | 8          | 133,91               | 45,2     | 2,96            |
| T2          | 1          | 120,29               | 44,5     | 2,70            |
| T2          | 2          | 119,14               | 44,4     | 2,68            |
| T2          | 3          | 120,86               | 44,6     | 2,71            |
| T2          | 4          | 120,29               | 44,1     | 2,73            |
| T2          | 5          | 118,01               | 44,5     | 2,65            |
| T2          | 6          | 119,14               | 43,9     | 2,71            |
| T2          | 7          | 120,29               | 43,7     | 2,75            |
| T2          | 8          | 120,86               | 44,5     | 2,72            |
| T3          | 1          | 125,92               | 45,7     | 2,76            |
| T3          | 2          | 127,07               | 45,0     | 2,82            |
| T3          | 3          | 124,84               | 44,6     | 2,80            |
| T3          | 4          | 125,92               | 45,5     | 2,77            |
| T3          | 5          | 127,07               | 44,8     | 2,84            |
| T3          | 6          | 125,92               | 44,5     | 2,83            |
| T3          | 7          | 124,84               | 44,5     | 2,81            |

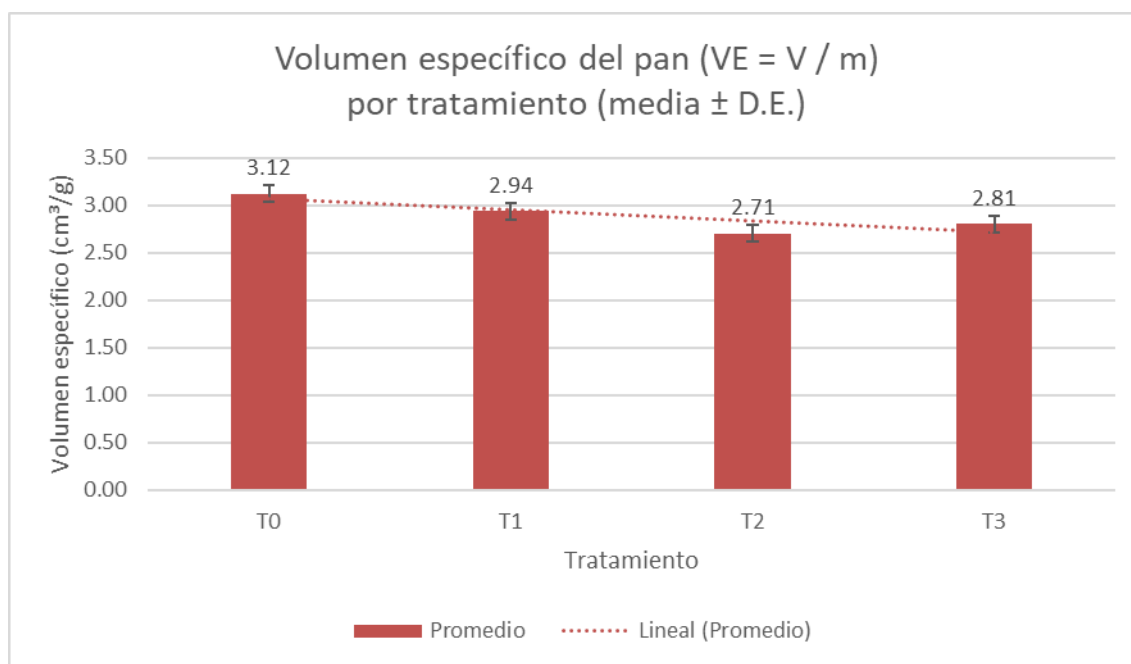
|    |   |        |      |      |
|----|---|--------|------|------|
| T3 | 8 | 125,92 | 44,8 | 2,81 |
|----|---|--------|------|------|

**Tabla 11.** Volumen específico promedio ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) por tratamiento

| Tratamiento                    | n | VE promedio $\pm$ DE ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) |
|--------------------------------|---|-------------------------------------------------|
| T0 (control, 100% trigo)       | 8 | $3,12 \pm 0,03$                                 |
| T1 (2,5% cañihua, 5% plátano)  | 8 | $2,94 \pm 0,03$                                 |
| T2 (5% cañihua, 10% plátano)   | 8 | $2,71 \pm 0,03$                                 |
| T3 (7,5% cañihua, 15% plátano) | 8 | $2,81 \pm 0,03$                                 |

*Nota:* desviación estándar. n indica el número de repeticiones consideradas en el promedio.

**Figura 9.** Volumen específico del pan (VE)



El volumen específico mostró una disminución progresiva a medida que se incrementó la sustitución de harina de trigo: T0 registró el valor más alto ( $3,12 \pm 0,03 \text{ cm}^3/\text{g}$ ), seguido de T1 ( $2,94 \pm 0,03$ ), T2, el menor de todo el ensayo ( $2,71 \pm 0,03$ ), y T3 con una leve recuperación ( $2,81 \pm 0,03 \text{ cm}^3/\text{g}$ ). Este comportamiento es coherente con lo señalado por (Bender et al., 2021), quienes indican que la incorporación de harinas de pseudocereales sin gluten reduce la red proteica responsable de retener el  $\text{CO}_2$  producido en la fermentación, limitando la expansión final de la miga. Chamorro et al., (2023), al evaluar panes enriquecidos con cañihua y kiwicha, reportaron reducciones

similares del volumen específico conforme aumentaba el nivel de sustitución, atribuyéndolo a la menor proporción de gluten disponible. La recuperación parcial observada en T3 sugiere un efecto compensatorio del almidón y los compuestos pécticos del plátano, en línea con lo discutido por (Ewunetu et al., 2025) para mezclas compuestas de trigo, amaranto y plátano.

La caída del volumen específico con la sustitución progresiva de harina de trigo es un hallazgo constante en la bibliografía reciente sobre panes compuestos. En panes con harina de plátano y soya, (Udomkun et al., 2022) reportaron diferencias significativas en el volumen específico de los panes sustituidos respecto al control, atribuidas a la menor capacidad de la matriz no triguera para desarrollar una red continua de gluten. En panes de trigo suave fortificados con harina de tiger nut, (Nedviha & Harasym, 2025) encontraron que el volumen específico no disminuye de forma estrictamente lineal, sino que alcanza un óptimo en un nivel intermedio de sustitución (10%) antes de decaer en niveles mayores, un patrón similar al observado aquí entre T2 y T3, donde el segundo mostró una ligera recuperación del volumen específico respecto al primero pese a tener mayor porcentaje de sustitución total. Asimismo, en panes con reemplazo parcial de harina de quinua evaluados en contexto peruano, (Quinte et al., 2025) señalan que la ausencia de una red de gluten funcional en las harinas andinas condiciona la capacidad de expansión de la masa, por lo que el uso de mejoradores (goma xantana, psyllium) puede ser una estrategia complementaria para mitigar la pérdida de volumen específico en los tratamientos con mayor sustitución, como podría explorarse en futuros trabajos con T2 y T3.

### Pérdida por horneado

La pérdida por horneado (PH) cuantifica la disminución de peso que experimenta la masa durante la cocción y el posterior enfriamiento, atribuible principalmente a la evaporación de agua y a la liberación de compuestos volátiles por efecto de la temperatura. Este parámetro se calculó como Pérdida por horneado (%) =  $[(P_i - P_f) / P_i] \times 100$ , donde  $P_i$  corresponde al peso de la porción de masa antes de hornear (50,0 g, valor constante para todas las unidades experimentales según el procedimiento de moldeado) y  $P_f$  al peso del pan ya frío. **La Tabla 10** presenta los registros individuales por repetición.

**Tabla 12.** Pérdida por horneado del pan por tratamiento y repetición

| Tratamiento | Repetición | Peso antes (g) | Peso después (g) | Pérdida por horneado (%) |
|-------------|------------|----------------|------------------|--------------------------|
| T0          | 1          | 50,0           | 45,2             | 9,6                      |
| T0          | 2          | 50,0           | 45,0             | 10,0                     |
| T0          | 3          | 50,0           | 45,0             | 10,0                     |
| T0          | 4          | 50,0           | 44,6             | 10,8                     |
| T0          | 5          | 50,0           | 45,2             | 9,6                      |
| T0          | 6          | 50,0           | 44,6             | 10,8                     |
| T0          | 7          | 50,0           | 44,8             | 10,4                     |
| T0          | 8          | 50,0           | 45,2             | 9,6                      |
| T1          | 1          | 50,0           | 44,7             | 10,6                     |
| T1          | 2          | 50,0           | 45,2             | 9,6                      |
| T1          | 3          | 50,0           | 45,0             | 10,0                     |
| T1          | 4          | 50,0           | 45,5             | 9,0                      |
| T1          | 5          | 50,0           | 45,2             | 9,6                      |
| T1          | 6          | 50,0           | 45,2             | 9,6                      |
| T1          | 7          | 50,0           | 44,8             | 10,4                     |
| T1          | 8          | 50,0           | 45,2             | 9,6                      |
| T2          | 1          | 50,0           | 44,5             | 11,0                     |
| T2          | 2          | 50,0           | 44,4             | 11,2                     |
| T2          | 3          | 50,0           | 44,6             | 10,8                     |
| T2          | 4          | 50,0           | 44,1             | 11,8                     |
| T2          | 5          | 50,0           | 44,5             | 11,0                     |
| T2          | 6          | 50,0           | 43,9             | 12,2                     |
| T2          | 7          | 50,0           | 44,5             | 11,0                     |
| T2          | 8          | 50,0           | 43,9             | 12,2                     |
| T3          | 1          | 50,0           | 45,7             | 8,6                      |
| T3          | 2          | 50,0           | 45,0             | 10,0                     |
| T3          | 3          | 50,0           | 44,6             | 10,8                     |
| T3          | 4          | 50,0           | 45,5             | 9,0                      |
| T3          | 5          | 50,0           | 44,8             | 10,4                     |
| T3          | 6          | 50,0           | 44,5             | 11,0                     |
| T3          | 7          | 50,0           | 44,5             | 11,0                     |
| T3          | 8          | 50,0           | 44,8             | 10,4                     |

**Tabla 13.** Pérdida de peso por horneado en el tratamiento T0

| MUESTRA (T0) | Peso después de horneado (g) | Pérdida relativa (%) |
|--------------|------------------------------|----------------------|
| 1            | 45,2                         | 9,6                  |
| 2            | 45,0                         | 10,0                 |
| 3            | 45,0                         | 10,0                 |
| 4            | 44,6                         | 10,8                 |
| 5            | 45,2                         | 9,6                  |
| 6            | 44,6                         | 10,8                 |
| 7            | 44,8                         | 10,4                 |
| 8            | 45,2                         | 9,6                  |
| Promedio     | 45,0                         | 10,1                 |

En el tratamiento T0, el peso después del horneado alcanzó un promedio de 45,0 g, lo que representa una pérdida de masa relativamente uniforme entre las ocho repeticiones. La pérdida por horneado promedio fue de 10,1%, con valores individuales que oscilaron en un rango estrecho de 9,6% a 10,8%. Esta baja variabilidad indica un comportamiento estable y predecible del proceso de horneado, típico de un tratamiento control, donde las condiciones de cocción y enfriamiento fueron consistentes.

**Tabla 14.** *Pérdida de peso por horneado en el tratamiento T1*

| MUESTRA (T1) | Peso después de horneado (g) | Pérdida relativa (%) |
|--------------|------------------------------|----------------------|
| 1            | 44,7                         | 10,6                 |
| 2            | 45,2                         | 9,6                  |
| 3            | 45,0                         | 10,0                 |
| 4            | 45,5                         | 9,0                  |
| 5            | 45,2                         | 9,6                  |
| 6            | 45,2                         | 9,6                  |
| 7            | 44,8                         | 10,4                 |
| 8            | 45,2                         | 9,6                  |
| Promedio     | 45,1                         | 9,8                  |

En el tratamiento T1, se registró un peso promedio después del horneado de 45,1 g, ligeramente superior al T0. La pérdida por horneado promedio fue de 9,8%, la más baja entre todos los tratamientos. Los valores individuales variaron entre 9,0% y 10,6%, mostrando una buena uniformidad. Estos resultados sugieren que este tratamiento pudo haber favorecido una mejor retención de humedad durante el horneado y enfriamiento.

**Tabla 15.** *Pérdida de peso por horneado en el tratamiento T2*

| MUESTRA (T2) | Peso después de horneado (g) | Pérdida relativa (%) |
|--------------|------------------------------|----------------------|
| 1            | 44,5                         | 11,0                 |
| 2            | 44,4                         | 11,2                 |
| 3            | 44,6                         | 10,8                 |
| 4            | 44,1                         | 11,8                 |
| 5            | 44,5                         | 11,0                 |
| 6            | 43,9                         | 12,2                 |
| 7            | 44,5                         | 11,0                 |
| 8            | 43,9                         | 12,2                 |
| 9            | 44,4                         | 11,2                 |

En el tratamiento T2, el peso después del horneado presentó un promedio de 44,3 g (basado en 9 repeticiones). La pérdida relativa promedio fue de 11,4%, la más alta observada entre los tratamientos. Los valores individuales oscilaron entre 10,8% y 12,2%, reflejando una mayor pérdida de masa durante el horneado y el enfriamiento.

Esta tendencia indica que el tratamiento T2 generó condiciones que favorecieron una mayor evaporación de agua y compuestos volátiles en comparación con los demás tratamientos, mostrando además una variabilidad moderada.

**Tabla 16.** *Pérdida de peso por horneado en el tratamiento T3*

| MUESTRA<br>(T3) | Peso después de horneado<br>(g) | Pérdida relativa<br>(%) |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------|
| 1               | 45,7                            | 8,6                     |
| 2               | 45,0                            | 10,0                    |
| 3               | 44,6                            | 10,8                    |
| 4               | 45,5                            | 9,0                     |
| 5               | 44,8                            | 10,4                    |
| 6               | 44,5                            | 11,0                    |
| 7               | 44,5                            | 11,0                    |
| 8               | 44,8                            | 10,4                    |
| Promedio        | 44,9                            | 10,2                    |

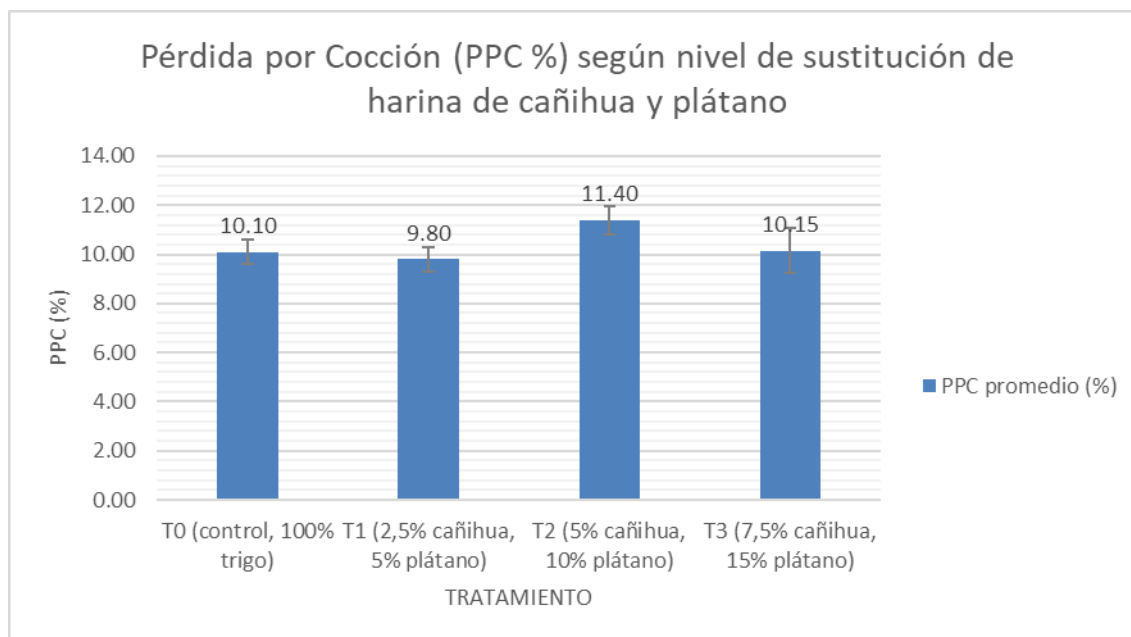
En el tratamiento T3, el peso promedio después del horneado fue de 44,9 g, con una pérdida relativa promedio de 10,2%. Se observó la mayor variabilidad individual (rango de 8,6% a 11,0%), incluyendo el valor más bajo de pérdida (8,6%) de todo el experimento. Esto sugiere un comportamiento intermedio, con repeticiones que mostraron tanto buena retención de humedad como algunas con mayor pérdida, posiblemente influenciado por factores de variabilidad en el proceso.

**Tabla 17.** *Pérdida de peso por horneado en el tratamiento*

| Tratamiento                    | n | PH promedio $\pm$ DE<br>(%) |
|--------------------------------|---|-----------------------------|
| T0 (control, 100% trigo)       | 8 | 10,10 $\pm$ 0,51            |
| T1 (2,5% cañihua, 5% plátano)  | 8 | 9,80 $\pm$ 0,51             |
| T2 (5% cañihua, 10% plátano)   | 8 | 11,38 $\pm$ 0,54            |
| T3 (7,5% cañihua, 15% plátano) | 8 | 10,15 $\pm$ 0,91            |

*Nota.* Los valores se expresan como media  $\pm$  desviación estándar (DE) de n = 8 repeticiones por tratamiento.

**Figura 10.** Pérdida por horneado (PPC)



La pérdida por horneado mostró un comportamiento no completamente lineal: T1 presentó el menor valor ( $9,80 \pm 0,51$  %), seguido muy de cerca por el control T0 ( $10,10 \pm 0,51$  %); T2 registró la mayor pérdida ( $11,38 \pm 0,54$  %) y T3 un valor intermedio ( $10,15 \pm 0,91$  %) con la mayor variabilidad entre repeticiones. (Udomkun et al., 2022), al comparar panes con harina de plátano y soya, reportan que la pérdida de peso durante el horneado depende del balance entre la capacidad de retención de agua de las harinas alternativas y la porosidad de la miga desarrollada durante la fermentación. El mayor valor observado en T2 podría explicarse por una estructura de miga más abierta en ese nivel intermedio de sustitución, mientras que en T3 el mayor contenido de plátano rico en azúcares y almidones higroscópicos habría contribuido a retener parte del agua, atenuando la pérdida de masa, tal como sugieren (Scarton et al., 2020) para sistemas de panificación con ingredientes de alta capacidad de hidratación.

(Bodor et al., 2025), en su caracterización fisicoquímica de panes comerciales, destacan que la pérdida de peso durante el horneado y el almacenamiento posterior está gobernada principalmente por la migración de agua desde la miga hacia la corteza y el ambiente, un mecanismo consistente con la mayor variabilidad observada en T3 del presente estudio, donde conviven repeticiones con alta y baja retención de humedad. Cabe recalcar que el rango óptimo de referencia un pan con buena calidad tecnológica

suele situarse entre 8 % y 12 % de pérdida por cocción; valores superiores a 12-13 % se asocian a una miga más seca y de menor vida útil sensorial, mientras que valores muy por debajo de 8 % pueden indicar una cocción insuficiente o una corteza poco desarrollada. De los cuatro tratamientos evaluados, T0, T1 y T3 se ubican dentro de este rango óptimo (9,8-10,2 %), mientras que T2 (11,38 %) se aproxima al límite superior, sin llegar a ser crítico para la calidad del producto (Chamorro et al., 2023; Scarton et al., 2020).

### Determinación de la densidad real (pr)

**Tabla 18.** *Determinación de la densidad real (pr) de las muestras de pan*

| Tratamiento | Repetición | Masa (g) | Volumen sin poros Vb.wop (cm <sup>3</sup> ) | Cálculo   | pr (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------|------------|----------|---------------------------------------------|-----------|-------------------------|
| T0          | 1          | 45,2     | 42                                          | 45,2 ÷ 42 | 1,076                   |
| T0          | 2          | 45,0     | 43                                          | 45,0 ÷ 43 | 1,047                   |
| T0          | 3          | 45,0     | 41                                          | 45,0 ÷ 41 | 1,098                   |
| T0          | 4          | 44,6     | 42                                          | 44,6 ÷ 42 | 1,062                   |
| T0          | 5          | 45,2     | 43                                          | 45,2 ÷ 43 | 1,051                   |
| T0          | 6          | 44,6     | 43                                          | 44,6 ÷ 43 | 1,037                   |
| T0          | 7          | 44,8     | 42                                          | 44,8 ÷ 42 | 1,067                   |
| T0          | 8          | 45,2     | 41                                          | 45,2 ÷ 41 | 1,102                   |
| Promedio    |            |          |                                             |           | 1,067 ± 0,024           |
| T1          | 1          | 44,7     | 48                                          | 44,7 ÷ 48 | 0,931                   |
| T1          | 2          | 45,2     | 48                                          | 45,2 ÷ 48 | 0,942                   |
| T1          | 3          | 45,0     | 49                                          | 45,0 ÷ 49 | 0,918                   |
| T1          | 4          | 45,5     | 48                                          | 45,5 ÷ 48 | 0,948                   |
| T1          | 5          | 45,2     | 47                                          | 45,2 ÷ 47 | 0,962                   |
| T1          | 6          | 45,2     | 48                                          | 45,2 ÷ 48 | 0,942                   |
| T1          | 7          | 44,8     | 48                                          | 44,8 ÷ 48 | 0,933                   |
| T1          | 8          | 45,2     | 49                                          | 45,2 ÷ 49 | 0,922                   |
| Promedio    |            |          |                                             |           | 0,937 ± 0,014           |
| T2          | 1          | 44,5     | 54                                          | 44,5 ÷ 54 | 0,824                   |
| T2          | 2          | 44,4     | 53                                          | 44,4 ÷ 53 | 0,838                   |
| T2          | 3          | 44,6     | 55                                          | 44,6 ÷ 55 | 0,811                   |
| T2          | 4          | 44,1     | 54                                          | 44,1 ÷ 54 | 0,817                   |
| T2          | 5          | 44,5     | 53                                          | 44,5 ÷ 53 | 0,840                   |
| T2          | 6          | 43,9     | 53                                          | 43,9 ÷ 53 | 0,828                   |
| T2          | 7          | 43,7     | 54                                          | 43,7 ÷ 54 | 0,809                   |

|          |   |      |    |                |                   |
|----------|---|------|----|----------------|-------------------|
| T2       | 8 | 44,5 | 55 | $44,5 \div 55$ | 0,809             |
| Promedio |   |      |    |                | $0,822 \pm 0,013$ |
| T3       | 1 | 45,7 | 60 | $45,7 \div 60$ | 0,762             |
| T3       | 2 | 45,0 | 61 | $45,0 \div 61$ | 0,738             |
| T3       | 3 | 44,6 | 59 | $44,6 \div 59$ | 0,756             |
| T3       | 4 | 45,5 | 60 | $45,5 \div 60$ | 0,758             |
| T3       | 5 | 44,8 | 61 | $44,8 \div 61$ | 0,734             |
| T3       | 6 | 44,5 | 60 | $44,5 \div 60$ | 0,742             |
| T3       | 7 | 44,5 | 59 | $44,5 \div 59$ | 0,754             |
| T3       | 8 | 44,8 | 60 | $44,8 \div 60$ | 0,747             |
| Promedio |   |      |    |                | $0,749 \pm 0,011$ |

*Nota.* La densidad real (pr) se calculó mediante la relación entre la masa de la muestra y el volumen del pan sin poros ( $pr = m/V$ ), expresándose los resultados como media  $\pm$  desviación estándar ( $n = 8$ ).

La densidad real presentó una disminución progresiva conforme aumentó el nivel de sustitución parcial de harina de trigo por harina de cañihua y harina de plátano. El tratamiento control (T0) registró el mayor valor promedio ( $1,067 \pm 0,024 \text{ g/cm}^3$ ), mientras que el tratamiento T3 presentó la menor densidad real ( $0,749 \pm 0,011 \text{ g/cm}^3$ ). Los tratamientos T1 ( $0,937 \pm 0,014 \text{ g/cm}^3$ ) y T2 ( $0,822 \pm 0,013 \text{ g/cm}^3$ ) mostraron valores intermedios, evidenciando una reducción gradual de la masa contenida por unidad de volumen de la fase sólida.

### Determinación de la densidad aparente (pa)

**Tabla 19.** Determinación de la densidad aparente (pa) de las muestras de pan

| Tratamiento | Rep. | Masa (g) | Volumen con poros Vb.wp (cm <sup>3</sup> ) | Cálculo         | pa (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------|------|----------|--------------------------------------------|-----------------|-------------------------|
| T0          | 1    | 45,2     | 140                                        | $45,2 \div 140$ | 0,323                   |
| T0          | 2    | 45,0     | 141                                        | $45,0 \div 141$ | 0,319                   |
| T0          | 3    | 45,0     | 139                                        | $45,0 \div 139$ | 0,324                   |
| T0          | 4    | 44,6     | 140                                        | $44,6 \div 140$ | 0,319                   |
| T0          | 5    | 45,2     | 142                                        | $45,2 \div 142$ | 0,318                   |
| T0          | 6    | 44,6     | 141                                        | $44,6 \div 141$ | 0,316                   |
| T0          | 7    | 44,8     | 140                                        | $44,8 \div 140$ | 0,320                   |
| T0          | 8    | 45,2     | 139                                        | $45,2 \div 139$ | 0,325                   |
| Promedio    |      |          |                                            |                 | $0,321 \pm 0,003$       |
| T1          | 1    | 44,7     | 133                                        | $44,7 \div 133$ | 0,336                   |
| T1          | 2    | 45,2     | 132                                        | $45,2 \div 132$ | 0,342                   |

|          |   |      |     |                 |                   |
|----------|---|------|-----|-----------------|-------------------|
| T1       | 3 | 45,0 | 134 | $45,0 \div 134$ | 0,336             |
| T1       | 4 | 45,5 | 133 | $45,5 \div 133$ | 0,342             |
| T1       | 5 | 45,2 | 131 | $45,2 \div 131$ | 0,345             |
| T1       | 6 | 45,2 | 132 | $45,2 \div 132$ | 0,342             |
| T1       | 7 | 44,8 | 133 | $44,8 \div 133$ | 0,337             |
| T1       | 8 | 45,2 | 134 | $45,2 \div 134$ | 0,337             |
| Promedio |   |      |     |                 | $0,340 \pm 0,003$ |
| T2       | 1 | 44,5 | 120 | $44,5 \div 120$ | 0,371             |
| T2       | 2 | 44,4 | 119 | $44,4 \div 119$ | 0,373             |
| T2       | 3 | 44,6 | 121 | $44,6 \div 121$ | 0,369             |
| T2       | 4 | 44,1 | 120 | $44,1 \div 120$ | 0,368             |
| T2       | 5 | 44,5 | 118 | $44,5 \div 118$ | 0,377             |
| T2       | 6 | 43,9 | 119 | $43,9 \div 119$ | 0,369             |
| T2       | 7 | 43,7 | 120 | $43,7 \div 120$ | 0,364             |
| T2       | 8 | 44,5 | 121 | $44,5 \div 121$ | 0,368             |
| Promedio |   |      |     |                 | $0,370 \pm 0,004$ |
| T3       | 1 | 45,7 | 126 | $45,7 \div 126$ | 0,363             |
| T3       | 2 | 45,0 | 127 | $45,0 \div 127$ | 0,354             |
| T3       | 3 | 44,6 | 125 | $44,6 \div 125$ | 0,357             |
| T3       | 4 | 45,5 | 126 | $45,5 \div 126$ | 0,361             |
| T3       | 5 | 44,8 | 127 | $44,8 \div 127$ | 0,353             |
| T3       | 6 | 44,5 | 126 | $44,5 \div 126$ | 0,353             |
| T3       | 7 | 44,5 | 125 | $44,5 \div 125$ | 0,356             |
| T3       | 8 | 44,8 | 126 | $44,8 \div 126$ | 0,356             |
| Promedio |   |      |     |                 | $0,357 \pm 0,004$ |

*Nota.* La densidad aparente ( $\rho_a$ ) se determinó mediante la relación entre la masa de la muestra y el volumen total del pan con poros ( $\rho_a = m/V_a$ ). Los resultados se expresan como media  $\pm$  desviación estándar de ocho repeticiones por tratamiento.

La densidad aparente presentó diferencias entre los tratamientos evaluados, reflejando cambios en la relación entre la masa del pan y el volumen total ocupado por la pieza horneada. El tratamiento control (T0) registró la menor densidad aparente ( $0,321 \pm 0,003 \text{ g/cm}^3$ ), mientras que T2 presentó el valor más elevado ( $0,370 \pm 0,004 \text{ g/cm}^3$ ). Los tratamientos T1 ( $0,340 \pm 0,003 \text{ g/cm}^3$ ) y T3 ( $0,357 \pm 0,004 \text{ g/cm}^3$ ) mostraron valores intermedios.

## Determinación del volumen de poros (Vp)

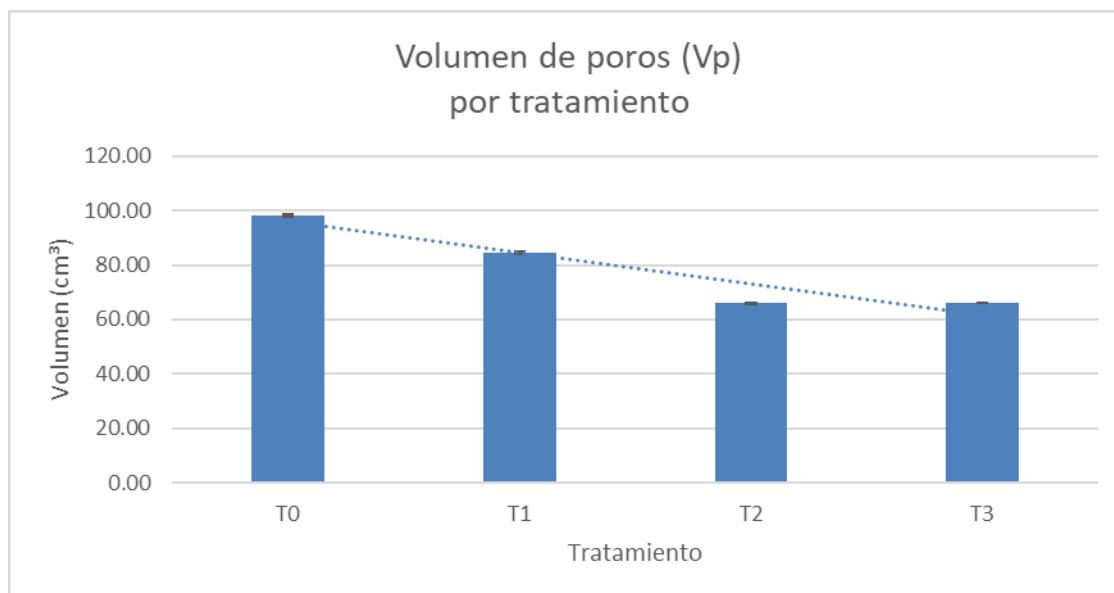
**Tabla 20.** Determinación del volumen de poros (Vp) de las muestras de pan

| Tratamiento | Rep. | Volumen con<br>poros Vb.wp<br>(cm <sup>3</sup> ) | Volumen sin<br>poros Vb.wop<br>(cm <sup>3</sup> ) | Cálculo  | Volumen de<br>poros Vp (cm <sup>3</sup> ) |
|-------------|------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------|
| T0          | 1    | 140                                              | 42                                                | 140 – 42 | 98                                        |
| T0          | 2    | 141                                              | 43                                                | 141 – 43 | 98                                        |
| T0          | 3    | 139                                              | 41                                                | 139 – 41 | 98                                        |
| T0          | 4    | 140                                              | 42                                                | 140 – 42 | 98                                        |
| T0          | 5    | 142                                              | 43                                                | 142 – 43 | 99                                        |
| T0          | 6    | 141                                              | 43                                                | 141 – 43 | 98                                        |
| T0          | 7    | 140                                              | 42                                                | 140 – 42 | 98                                        |
| T0          | 8    | 139                                              | 41                                                | 139 – 41 | 98                                        |
| Promedio    |      |                                                  |                                                   |          | 98,13 ± 0,35                              |
| T1          | 1    | 133                                              | 48                                                | 133 – 48 | 85                                        |
| T1          | 2    | 132                                              | 48                                                | 132 – 48 | 84                                        |
| T1          | 3    | 134                                              | 49                                                | 134 – 49 | 85                                        |
| T1          | 4    | 133                                              | 48                                                | 133 – 48 | 85                                        |
| T1          | 5    | 131                                              | 47                                                | 131 – 47 | 84                                        |
| T1          | 6    | 132                                              | 48                                                | 132 – 48 | 84                                        |
| T1          | 7    | 133                                              | 48                                                | 133 – 48 | 85                                        |
| T1          | 8    | 134                                              | 49                                                | 134 – 49 | 85                                        |
| Promedio    |      |                                                  |                                                   |          | 84,63 ± 0,52                              |
| T2          | 1    | 120                                              | 54                                                | 120 – 54 | 66                                        |
| T2          | 2    | 119                                              | 53                                                | 119 – 53 | 66                                        |
| T2          | 3    | 121                                              | 55                                                | 121 – 55 | 66                                        |
| T2          | 4    | 120                                              | 54                                                | 120 – 54 | 66                                        |
| T2          | 5    | 118                                              | 53                                                | 118 – 53 | 65                                        |
| T2          | 6    | 119                                              | 53                                                | 119 – 53 | 66                                        |
| T2          | 7    | 120                                              | 54                                                | 120 – 54 | 66                                        |
| T2          | 8    | 121                                              | 55                                                | 121 – 55 | 66                                        |
| Promedio    |      |                                                  |                                                   |          | 65,88 ± 0,35                              |
| T3          | 1    | 126                                              | 60                                                | 126 – 60 | 66                                        |
| T3          | 2    | 127                                              | 61                                                | 127 – 61 | 66                                        |
| T3          | 3    | 125                                              | 59                                                | 125 – 59 | 66                                        |
| T3          | 4    | 126                                              | 60                                                | 126 – 60 | 66                                        |
| T3          | 5    | 127                                              | 61                                                | 127 – 61 | 66                                        |
| T3          | 6    | 126                                              | 60                                                | 126 – 60 | 66                                        |
| T3          | 7    | 125                                              | 59                                                | 125 – 59 | 66                                        |
| T3          | 8    | 126                                              | 60                                                | 126 – 60 | 66                                        |
| Promedio    |      |                                                  |                                                   |          | 66,00 ± 0,00                              |

*Nota.* El volumen de poros (Vp) se obtuvo mediante la diferencia entre el volumen del pan con poros (Vb.wp) y el volumen del pan sin poros (Vb.wop), de

acuerdo con la ecuación  $V_p = V_b.w_p - V_b.w_o.p$ . Los resultados se expresan como media  $\pm$  desviación estándar de ocho repeticiones por tratamiento.

**Figura 11.** Volumen de poros ( $V_p$ ,  $\text{cm}^3$ ).



El volumen de poros presentó una disminución marcada con la sustitución de harina de trigo: T0 registró el mayor volumen de poros (98,13  $\pm$  0,35  $\text{cm}^3$ ), seguido de T1 (84,63  $\pm$  0,52  $\text{cm}^3$ ), mientras que T2 (65,88  $\pm$  0,35  $\text{cm}^3$ ) y T3 (66,00  $\pm$  0,00  $\text{cm}^3$ ) mostraron los valores más bajos. Esta reducción indica una menor capacidad de la masa para retener los gases de fermentación conforme se incorpora harina de cañihua y de plátano, lo cual es consistente con lo indicado por (Paucar Luna, 2024), quienes describen que la incorporación de harinas de pseudocereales germinados modifica la continuidad de la red de gluten y limita la expansión de las celdas gaseosas en productos horneados. Aunque T2 y T3 mostraron valores de volumen de poros muy similares, (Bodor et al., 2025) resaltan que este parámetro debe interpretarse en conjunto con la densidad real y aparente para describir integralmente la estructura física del producto, ya que estructuras con volúmenes de poros equivalentes pueden diferir en la distribución de la fase sólida.

## Determinación del porcentaje de porosidad (%) de las muestras de pan

**Figura 12.** Porosidad de los panes elaborados por tratamiento

| T0                                                                                | T1                                                                                | T2                                                                                 | T3                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| (Control, 100% trigo)                                                             | (2,5% cañihua, 5% plátano)                                                        | (5% cañihua, 10% plátano)                                                          | (7,5% cañihua, 15% plátano)                                                         |

**Tabla 21.** Determinación del porcentaje de porosidad (%) de las muestras de pan

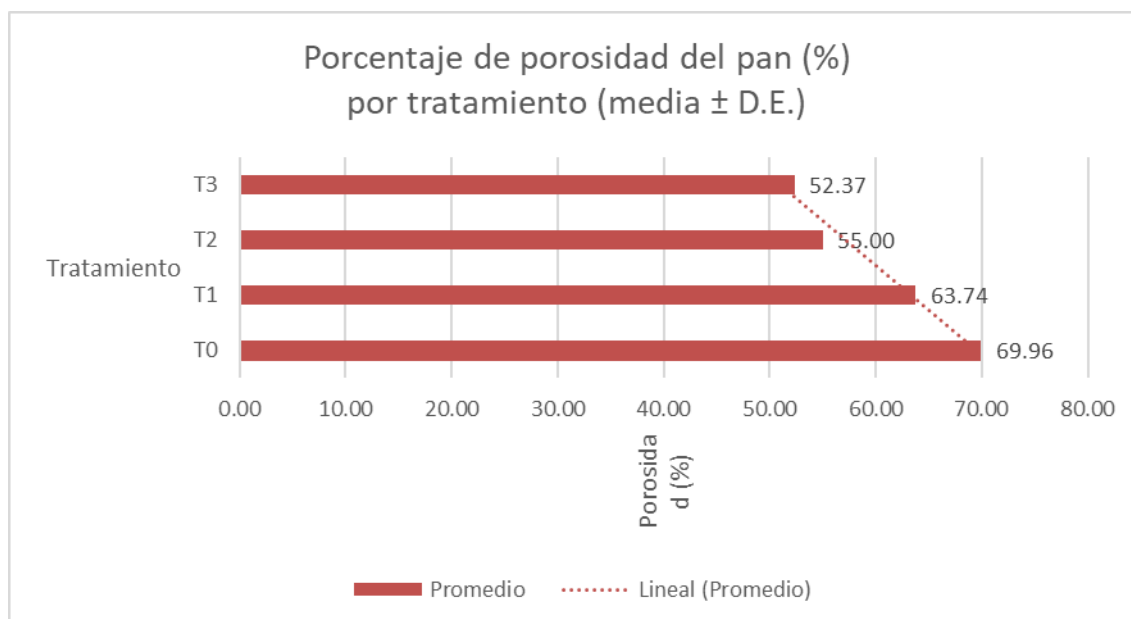
| Tratamiento | Rep. | Masa (g) | Densidad real (g/cm <sup>3</sup> ) | Volumen con poros Vb.wp (cm <sup>3</sup> ) | Cálculo                                   | Porosidad (%) |
|-------------|------|----------|------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------|
| T0          | 1    | 45,2     | 1,076                              | 140                                        | $\{1 - [((45,2/1,076)/140)] \times 100\}$ | 70,00         |
| T0          | 2    | 45,0     | 1,047                              | 141                                        | $\{1 - [((45,0/1,047)/141)] \times 100\}$ | 69,50         |
| T0          | 3    | 45,0     | 1,098                              | 139                                        | $\{1 - [((45,0/1,098)/139)] \times 100\}$ | 70,52         |
| T0          | 4    | 44,6     | 1,062                              | 140                                        | $\{1 - [((44,6/1,062)/140)] \times 100\}$ | 70,00         |
| T0          | 5    | 45,2     | 1,051                              | 142                                        | $\{1 - [((45,2/1,051)/142)] \times 100\}$ | 69,71         |
| T0          | 6    | 44,6     | 1,037                              | 141                                        | $\{1 - [((44,6/1,037)/141)] \times 100\}$ | 69,50         |
| T0          | 7    | 44,8     | 1,067                              | 140                                        | $\{1 - [((44,8/1,067)/140)] \times 100\}$ | 70,00         |
| T0          | 8    | 45,2     | 1,102                              | 139                                        | $\{1 - [((45,2/1,102)/139)] \times 100\}$ | 70,46         |
| Promedio    |      |          |                                    |                                            |                                           | 69,96 ± 0,42  |

|          |   |      |       |     |                                           |                  |
|----------|---|------|-------|-----|-------------------------------------------|------------------|
| T1       | 1 | 44,7 | 0,931 | 133 | $\{1 - [((44,7/0,931)/133)] \times 100\}$ | 63,91            |
| T1       | 2 | 45,2 | 0,942 | 132 | $\{1 - [((45,2/0,942)/132)] \times 100\}$ | 63,65            |
| T1       | 3 | 45,0 | 0,918 | 134 | $\{1 - [((45,0/0,918)/134)] \times 100\}$ | 63,42            |
| T1       | 4 | 45,5 | 0,948 | 133 | $\{1 - [((45,5/0,948)/133)] \times 100\}$ | 63,87            |
| T1       | 5 | 45,2 | 0,962 | 131 | $\{1 - [((45,2/0,962)/131)] \times 100\}$ | 64,11            |
| T1       | 6 | 45,2 | 0,942 | 132 | $\{1 - [((45,2/0,942)/132)] \times 100\}$ | 63,65            |
| T1       | 7 | 44,8 | 0,933 | 133 | $\{1 - [((44,8/0,933)/133)] \times 100\}$ | 63,90            |
| T1       | 8 | 45,2 | 0,922 | 134 | $\{1 - [((45,2/0,922)/134)] \times 100\}$ | 63,41            |
| Promedio |   |      |       |     |                                           | 63,74 $\pm$ 0,25 |
| T2       | 1 | 44,5 | 0,824 | 120 | $\{1 - [((44,5/0,824)/120)] \times 100\}$ | 54,99            |
| T2       | 2 | 44,4 | 0,838 | 119 | $\{1 - [((44,4/0,838)/119)] \times 100\}$ | 55,47            |
| T2       | 3 | 44,6 | 0,811 | 121 | $\{1 - [((44,6/0,811)/121)] \times 100\}$ | 54,53            |
| T2       | 4 | 44,1 | 0,817 | 120 | $\{1 - [((44,1/0,817)/120)] \times 100\}$ | 55,01            |
| T2       | 5 | 44,5 | 0,840 | 118 | $\{1 - [((44,5/0,840)/118)] \times 100\}$ | 55,08            |
| T2       | 6 | 43,9 | 0,828 | 119 | $\{1 - [((43,9/0,828)/119)] \times 100\}$ | 55,43            |
| T2       | 7 | 43,7 | 0,809 | 120 | $\{1 - [((43,7/0,809)/120)] \times 100\}$ | 54,96            |
| T2       | 8 | 44,5 | 0,809 | 121 | $\{1 - [((44,5/0,809)/121)] \times 100\}$ | 54,50            |
| Promedio |   |      |       |     |                                           | 55,00 $\pm$ 0,34 |
| T3       | 1 | 45,7 | 0,762 | 126 | $\{1 - [((45,7/0,762)/126)] \times 100\}$ | 52,40            |
| T3       | 2 | 45,0 | 0,738 | 127 | $\{1 - [((45,0/0,738)/127)] \times 100\}$ | 51,97            |
| T3       | 3 | 44,6 | 0,756 | 125 | $\{1 - [((44,6/0,756)/125)] \times 100\}$ | 52,80            |
| T3       | 4 | 45,5 | 0,758 | 126 | $\{1 - [((45,5/0,758)/126)] \times 100\}$ | 52,31            |
| T3       | 5 | 44,8 | 0,734 | 127 | $\{1 - [((44,8/0,734)/127)] \times 100\}$ | 51,91            |
| T3       | 6 | 44,5 | 0,742 | 126 | $\{1 - [((44,5/0,742)/126)] \times 100\}$ | 52,42            |
| T3       | 7 | 44,5 | 0,754 | 125 | $\{1 - [((44,5/0,754)/125)] \times 100\}$ | 52,78            |

|          |   |      |       |     |                                           |              |
|----------|---|------|-------|-----|-------------------------------------------|--------------|
| T3       | 8 | 44,8 | 0,747 | 126 | $\{1 - [((44,8/0,747)/126)] \times 100\}$ | 52,36        |
| Promedio |   |      |       |     |                                           | 52,37 ± 0,33 |

*Nota.* El porcentaje de porosidad (P) se determinó siguiendo la metodología descrita por Bodor et al. (2025), basada en la ecuación propuesta por Glover (2001)

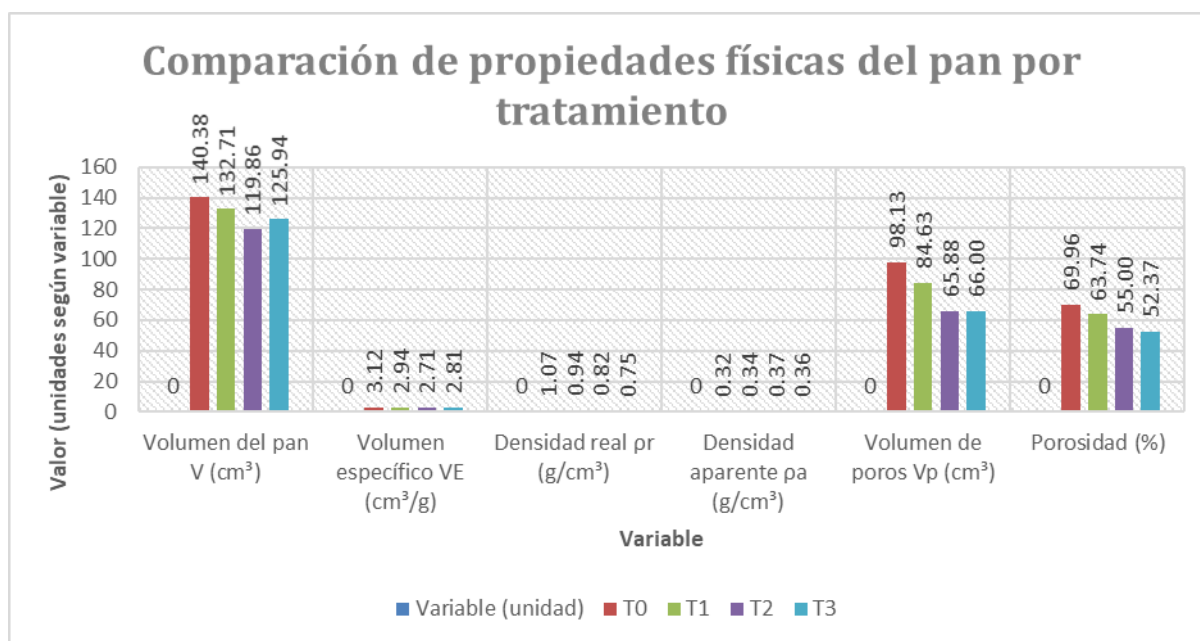
**Figura 13.** Porcentaje de porosidad de los panes



El porcentaje de porosidad mostró diferencias claras entre tratamientos: T0 presentó el mayor valor promedio (69,96 ± 0,42 %), seguido de T1 (63,74 ± 0,25 %), mientras que T2 (55,00 ± 0,34 %) y T3 (52,37 ± 0,33 %) registraron los menores porcentajes. Esta reducción progresiva coincide con la disminución del volumen de poros y con el incremento de la densidad aparente descritos en las tablas anteriores, confirmando una estructura interna cada vez más compacta a medida que aumenta la sustitución de harina de trigo. Bodor et al., (2025) señalan que la porosidad, al integrar la densidad real y el volumen total del producto, constituye un indicador robusto de la calidad estructural de panes elaborados con harinas compuestas. Resultados en la misma dirección fueron reportados por (Leiva et al., 2025) en hojuelas de pseudocereales andinos adicionadas con harina de plátano, donde la porosidad se redujo conforme aumentó la proporción de ingredientes no convencionales, debido a la menor capacidad de la matriz para retener los gases de fermentación.

En panes con tiger nut, (Nedviha & Harasym, 2025) reportaron que la porosidad alcanza un valor óptimo (67,0%) en un nivel intermedio de sustitución (10%), superior al de sus tratamientos con mayor sustitución, lo que confirma que la relación entre nivel de sustitución y porosidad no es necesariamente lineal en todos los sistemas, aunque en el presente estudio la tendencia decreciente fue consistente entre T0 y T3. Asimismo, en panes con harina de plátano y soya, (Udomkun et al., 2022) asociaron la pérdida de porosidad a la reducción de la extensibilidad de la masa y a la menor retención de dióxido de carbono durante la fermentación, mecanismo que resulta plenamente aplicable a la tendencia observada en los tratamientos T1 a T3 del presente trabajo, donde la harina de cañihua y de plátano sustituyen progresivamente la fracción proteica formadora de gluten del trigo.

**Figura 14.** Resumen comparativo de propiedades físicas del pan por tratamiento



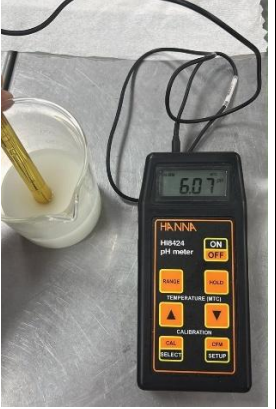
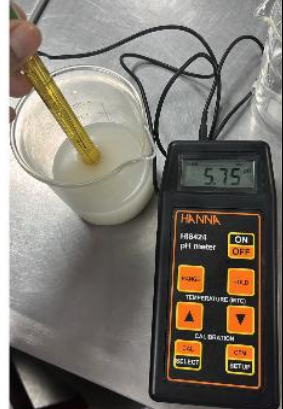
En conjunto, los seis parámetros físicos evaluados muestran una tendencia coherente: la sustitución parcial de harina de trigo por harina de cañihua y harina de plátano reduce progresivamente la capacidad de expansión de la masa (menor volumen, menor volumen específico, menor volumen de poros y menor porosidad) y compacta la estructura del pan (mayor densidad aparente, menor densidad real). El tratamiento T2 (15% de sustitución) representa, en la mayoría de las variables, el punto de mayor

impacto estructural, mientras que T3 (22,5%) muestra en algunos parámetros (volumen, volumen específico y densidad aparente) una ligera atenuación de esta tendencia respecto a T2, lo que abre la posibilidad de estudiar en trabajos futuros el uso de mejoradores de masa (por ejemplo, goma xantana o psyllium, como en (Quinte et al., 2025) para optimizar la calidad física de los tratamientos con mayor nivel de sustitución sin sacrificar el aporte nutricional de la cañihua y el plátano.

## Ph

Se realizaron mediciones de la masa en fresco para los tratamientos (T0,T1,T2,T3) las cuales se observan en la tabla

**Tabla 22.** Evidencias fotográficas del proceso de medición de pH en masa fresca

| Muestra (T0)                                                                        | Muestra (T1)                                                                        | Muestra (T2)                                                                         | Muestra (T3)                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |   |
|  |  |  |  |
| Medición                                                                            | Medición                                                                            | Medición                                                                             | Medición                                                                              |
|  |  |  |  |

Posteriormente después del horneado, teniendo el pan a temperatura ambiente se procedió a realizar la medición del pan como tal, iniciando por la toma de muestra de 10g.

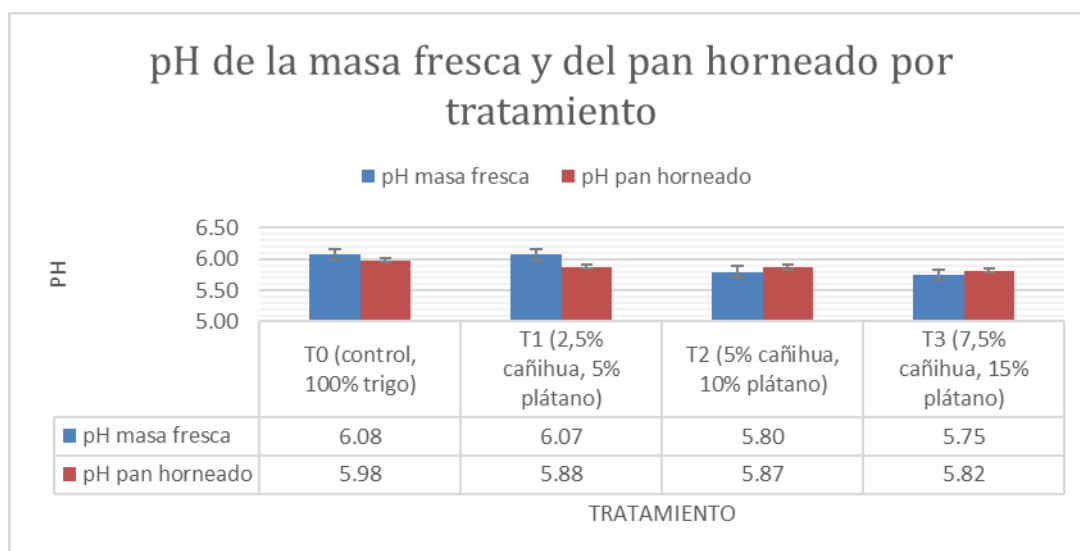
**Tabla 23.** Evidencias fotográficas del proceso de medición de pH pan como producto terminad.

| Muestra (T0)                                                                        | Muestra (T1)                                                                        | Muestra (T2)                                                                         | Muestra (T3)                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   |   |
| Medición                                                                            | Medición                                                                            | Medición                                                                             | Medición                                                                              |
|  |  |  |  |

**Tabla 24.** Resultados de la medición de pH en masa fresca y pan.

| Tratamiento                    | pH masa fresca | pH pan horneado | Variación ( $\Delta$ pH) |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------------------|
| T0 (control, 100% trigo)       | 6.08           | 5.98            | -0.10                    |
| T1 (2,5% cañihua, 5% plátano)  | 6.07           | 5.88            | -0.19                    |
| T2 (5% cañihua, 10% plátano)   | 5.80           | 5.87            | +0.07                    |
| T3 (7,5% cañihua, 15% plátano) | 5.75           | 5.82            | +0.07                    |

**Figura 15.** Los valores de pH de la masa fresca y del pan horneado



El pH tanto en la masa fresca como en el pan horneado disminuyó levemente conforme aumentó el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de cañihua y de plátano, pasando de 6,08 (masa) y 5,98 (pan) en T0 a 5,75 (masa) y 5,82 (pan) en T3. Esta ligera acidificación es consistente con lo reportado por Quispe et al., (2024), son similares a los reportados por (Chuquiviguel Cerna, 2025) para masas panarias fermentadas con levadura comercial, así como a los valores descritos por Scarton et al., (2021) para pan de molde elaborado bajo un enfoque de "clean label", quienes emplearon la misma metodología de referencia (AACCI) utilizada en este estudio. La ligera reducción de pH observada al aumentar el nivel de sustitución (de 6,08 en T0 a 5,75 en T3, en masa fresca) puede atribuirse al contenido de ácidos orgánicos propio de la harina de cañihua y a los azúcares fermentables aportados por el plátano, que favorecen una mayor actividad de las levaduras durante la fermentación (Bashmil et al., 2025; Zegarra et al., 2019).

Bashmil et al., (2025), en su estudio sobre sustituciones de harina de trigo por harina de plátano verde, reportaron un comportamiento análogo; una disminución moderada del pH de la masa a medida que se incrementa la proporción de plátano, sin que ello comprometa la calidad microbiológica del producto final. De forma similar, (Leiva et al., 2025), trabajando con hojuelas de pseudocereales andinos y harina de plátano, señalan que estas materias primas no convencionales tienden a generar una acidificación leve pero controlada de la matriz alimentaria. De acuerdo con

Chuquiviguel Cerna, (2025), el pH del pan de trigo debe mantenerse aproximadamente entre 5,3 y 6,2 para garantizar un adecuado control de actividad enzimática y microbiana, evitando tanto una acidez sensorial indeseable (pH muy bajo) como una miga densa y propensa a contaminación (pH excesivamente alto). Los cuatro tratamientos evaluados en este estudio (5,75-6,08 en masa fresca; 5,82-5,98 en pan) se ubican dentro de este rango óptimo, lo que indica que la sustitución de harina de trigo por cañihua y plátano, en los niveles ensayados, no compromete la estabilidad fisicoquímica ni la inocuidad del producto.

## CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio muestran que reemplazar parte de la harina de trigo por harina de cañihua y harina de plátano no solo es posible, sino que puede mejorar la calidad sensorial del pan. La mezcla con mayor cantidad de estos ingredientes (T3) fue la que mejor calificación recibió en color, aroma, sabor y textura por parte de los evaluadores.

Aunque al aumentar la sustitución se observó una reducción en el volumen y en la cantidad de poros del pan, estos cambios no afectaron la aceptación general del producto. Los demás parámetros, como la pérdida de peso durante el horneado y el pH, se mantuvieron en valores adecuados.

En definitiva, combinar estas dos harinas locales permite obtener un pan más nutritivo, con mejor aporte de proteínas y fibra, sin perder el agrado de quienes lo consumen. Esta alternativa abre una puerta interesante para elaborar productos de panadería más saludables y que aprovechen recursos de nuestra zona. Trabajos futuros podrían probar pequeñas modificaciones en la receta para mejorar aún más el volumen en las mezclas con mayor sustitución.

## Referencias Bibliográficas

Bashmil, Y. M., Bekes, F., Ruderman, M., Suleria, H. A. R., Appels, R., & Dunshea, F. R. (2025). The Physicochemical and Rheological Properties of Green Banana Flour–Wheat Flour Bread Substitutions. *Plants*, 14(2), 207. <https://doi.org/10.3390/PLANTS14020207/S1>

- Bender, D., & Schönlechner, R. (2021). Recent developments and knowledge in pseudocereals including technological aspects. In *Acta Alimentaria* (Vol. 50, Number 4, pp. 583–609). Akademiai Kiado ZRt. <https://doi.org/10.1556/066.2021.00136>
- Bender, D., Schönlechner, R., Bender, D., & Schönlechner, R. (2021). Recent developments and knowledge in pseudocereals including technological aspects. *Acta Alimentaria*, 50(4), 583–609. <https://doi.org/10.1556/066.2021.00136>
- Bodor, K., Szilágyi, J., Incze, J., Ungvári, B., & Bodor, Z. (2025). Examination of the physico-chemical parameters of some romanian breads. *Applied Food Research*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2025.100744>
- Calvo Carrillo, M., López Méndez, O., Carranco, M., & Marines, J. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp*) y chícharo (*Pisum sativum L.*). *Biotecnia*, 22(3), 116–124. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672972612009>
- Chamorro, R. E., Abad, D., Natividad, Á. D., Estacio, R., Ríos, G., Muñoz, S. G., Rojas, R. M., Cueto, C. R., & Villanueva, J. E. (2023). Physicochemical and sensory characteristics of bread leaf enriched with Kiwicha (*Amaranthus caudatus L.*) and Cañihua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10(2), 102–116. <https://doi.org/10.23850/24220582.5943>
- Chuquiviguel Cerna, C. (2025). *Caracterización fisicoquímica y colorimétrica del pan torta de la ciudad de Cajamarca* [Universidad Nacional de Cajamarca Tesis para optar el título profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias)]. chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgclcfndmkaj/<https://repositorio.unc.edu.pe/server/api/core/bitstreams/79f670b9-5052-48f6-9bef-2db254e8b2e9/content>
- Coțovanu, I., & Mironeasa, S. (2022). Effects of molecular characteristics and microstructure of amaranth particle sizes on dough rheology and wheat bread characteristics. *Scientific Reports*, 12(1), 7883-. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12017-7>

- Estalla, A., Alvarez, J., Eduardo, K., Coaguila, M., Barreto, G., Rios, J. D., & Saldaña, E. (2026). Trends, Challenges, and Opportunities of Cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) for Functional Food Development and Sustainable Agriculture: A Bibliometric and Systematic Approach. *Agriculture (Switzerland)*, 16(9), 992. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE16090992/S1>
- Ewunetu, M., Tessema, A., Tuba, T., Berhane, D., & Woldie, Z. T. (2025). Response surface optimization, nutritional, and sensory evaluation of bread developed from wheat, amaranth, and banana composite flour. *Discover Food* 2025 5:1, 5(1), 354-. <https://doi.org/10.1007/S44187-025-00641-X>
- Glover, P. (2001). *Chapter 5: Porosity in Reservoir Rocks - Properties & Calculations - Studocu*. <https://www.studocu.com/row/document/jamaa%D8%A9-trabls/applied-reservoir-engineering/chapter-5-porosity-reservoir-rock-properties/113979377>
- Gutierrez, C. (2022). *Elaboración de pan de molde con sustitución parcial de harina de Quinoa y Tarwi*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5393>
- Leiva, B., Mamani, L., Elías, C., Comettant, R., Silva, R., Olivera, L., & Paredes, P. (2025a). Andean Pseudocereal Flakes with Added Pea Protein Isolate and Banana Flour: Evaluation of Physical–Chemical, Microstructural, and Sensory Properties. *Foods*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/foods14040620>
- Leiva, B., Mamani, L., Elías, C., Comettant, R., Silva, R., Olivera, L., & Paredes, P. (2025b). Andean Pseudocereal Flakes with Added Pea Protein Isolate and Banana Flour: Evaluation of Physical–Chemical, Microstructural, and Sensory Properties. *Foods* 2025, Vol. 14, Page 620, 14(4), 620. <https://doi.org/10.3390/FOODS14040620>
- Luque, O. M., Paredes, J. Y., Quille, L., Choque, T. J., Cabel, D. J., Rivera, T. A., & Silva, R. J. (2024). Utilization of Sustainable Ingredients (Cañihua Flour, Whey, and Potato Starch) in Gluten-Free Cookie Development: Analysis of Technological and Sensorial Attributes. *Foods*, 13(10), 1491. <https://doi.org/10.3390/FOODS13101491>

- Massingue, A., Machalela, A., Djedje, F., & Nanelo, R. (2023). Physico-chemical and sensory characterization of bread based on green banana (*Musa* spp.) flour. *Universal Journal of Food Science and Technology* 2023, Vol. 1, 1(1), 56–70. <https://doi.org/10.31586/UJFST.2023.817>
- Nedviha, S., & Harasym, J. (2025). Characteristics of Soft Wheat and Tiger Nut (*Cyperus esculentus*) Composite Flour Bread. *Foods*, 14(2), 229. <https://doi.org/10.3390/FOODS14020229/S1>
- Paucar, L., Simpalo, W., Castillo, W., Esquivel, L., & Martínez, C. (2022). Improving Nutritional and Health Benefits of Biscuits by Optimizing Formulations Based on Sprouted Pseudocereal Grains. *Foods*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/foods11111533>
- Paucar Luna, J. (2024). *Gestión de riesgo de seguridad industrial en empresas agroindustriales - procesadoras esparrago fresco* [Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/8864>
- Quinte, L., Valderrama, I., & Best, I. (2025). Evaluation of the Effect of Improvers: Psyllium and Xanthan Gum in Bread Loaf with Partial Replacement of Quinoa Flour. *Foods* 2025, Vol. 14, Page 418, 14(3), 418. <https://doi.org/10.3390/FOODS14030418>
- Quispe, A., Moreno, M., Leon, A., Bouchon, P., & Medina, W. (2024a). Design of cañihua-rice: Development and characterization of an analogue of rice by warm-extrusion of cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) and rice (*Oryza sativa*) flours. *Food and Humanity*, 2, 100193. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2023.12.001>
- Quispe, A., Moreno, M., Leon, A., Bouchon, P., & Medina, W. (2024b). Design of cañihua-rice: Development and characterization of an analogue of rice by warm-extrusion of cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) and rice (*Oryza sativa*) flours. *Food and Humanity*, 2. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2023.12.001>
- Rosell, C. M., Cortez, G., & Repo, R. (2009). Breadmaking use of andean crops quinoa, Kañiwa, Kiwicha, and Tarwi. *Cereal Chemistry*, 86(4), 386–392.

<https://doi.org/10.1094/CCHEM-86-4-0386;WGROUP:STRING:PUBLICATION>

- Scarton, M., Ganancio, Crepaldi, J., Mariz, M., & Silva, M. (2021). Lime juice and enzymes in clean label pan bread: baking quality and preservative effect. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 1819–1828. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04693-Y>
- Scarton, M., Ganancio, J., de Avelar, M., Clerici, M., & Steel, C. (2020). Lime juice and enzymes in clean label pan bread: baking quality and preservative effect. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 1828. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04693-Y>
- Serena, G., Ignat, A., Conde, O., Lima, M., Martínez, A., Guajardo, D., & Cruz, E. (2023). Impact of In Vitro Digestion on the Digestibility, Amino Acid Release, and Antioxidant Activity of Amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) and Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) Proteins in Caco-2 and HepG2 Cells. *Antioxidants*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/antiox12122075>
- Udomkun, P., Masso, C., Swennen, R., Romuli, S., Innawong, B., Fotso Kuate, A., Akin-Idowu, P. E., Alakonya, A., & Vanlauwe, B. (2022). Comparative study of physicochemical, nutritional, phytochemical, and sensory properties of bread with plantain and soy flours partly replacing wheat flour. *Food Science & Nutrition*, 10(9), 3085. <https://doi.org/10.1002/FSN3.2907>
- Zegarra, S., Muñoz, A. M., Ramos-Escudero, F., Zegarra, S., Muñoz, A. M., & Ramos-Escudero, F. (2019). Elaboración de un pan libre de gluten a base de harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y evaluación de la aceptabilidad sensorial. *Revista Chilena de Nutrición*, 46(5), 561–570. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182019000500561>

## 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 **Jhazmin Taipe Sedano, Fatima del Rosario Parian Mantari, Alexandra del Rosario Parian Mantari, Carlos Alberto Vilca de la Cruz**



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.