

INFLUENCIA DEL PREFERMENTO BIGA EN LA ACEPTACIÓN SENSORIAL DEL PANETÓN CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE CAÑAHUA (*Chenopodium pallidicaule* Aellen)

Influence of biga preferment on sensory acceptance of panetón with partial supplement of cañahua flour (*Chenopodium pallidicaule* Aellen)

Sandra Patricia Monasterios Yapu^{1*}

RESUMEN

El estudio evaluó la influencia de la cantidad de levadura y el tiempo de fermentación del prefermento biga sobre las características sensoriales del panetón con sustitución parcial de harina de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). El prefermento biga se utilizó por su baja hidratación y fermentación prolongada, condiciones que permiten controlar la acidificación y analizar el efecto del tiempo y del nivel de levadura sobre la calidad tecnológica y sensorial del producto. Se aplicaron seis tratamientos combinando dos niveles de levadura (0.16% y 0.62%) y tres tiempos de fermentación (12, 18 y 24 horas). Se determinaron pH y acidez titulable expresada en ácido láctico mediante métodos estandarizados, y se realizó una evaluación sensorial afectiva con 50 consumidores. El ANOVA bifactorial mostró que tanto el tiempo de fermentación como la cantidad de levadura afectaron significativamente la acidez titulable, sin interacción entre factores, confirmando un aumento de acidez con tiempos más prolongados y mayor dosis de levadura. El pH no presentó diferencias significativas, aunque mostró una ligera tendencia a disminuir. Asimismo, se estandarizó un proceso tecnológico de elaboración de panetón empleando prefermentos tipo biga y esponja, logrando un desarrollo óptimo de la masa. El tratamiento con 24 horas de fermentación y 0.62% de levadura obtuvo las mejores valoraciones sensoriales, correlacionándose con una acidez promedio de 0.51% de ácido láctico y un pH de 4.77. La inclusión de harina de cañahua mejoró el perfil sensorial del panetón y mostró excelente aceptación, constituyendo una alternativa innovadora y nutritiva.

Palabras clave: prefermento biga, fermentación, acidez titulable, pH, evaluación sensorial.

ABSTRACT

The study evaluated the influence of the amount of yeast and the fermentation time of the biga pre-ferment on the sensory characteristics of panettone with partial substitution of cañahua flour (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). The biga pre-ferment was used because of its low hydration and prolonged fermentation, conditions that allow acidification to be controlled and the effect of time and yeast level on the technological and sensory quality of the product to be analyzed. Six treatments were applied, combining two yeast levels (0.16% and 0.62%) and three fermentation times (12, 18, and 24 hours). pH and titratable acidity expressed as lactic acid were determined using standardized methods, and an affective sensory evaluation was performed with 50 consumers. The two-factor ANOVA showed that both fermentation time and yeast quantity significantly affected titratable acidity, with no interaction between factors, confirming an increase in acidity with longer times and higher yeast doses. The pH did not show significant differences, although it showed a slight tendency to decrease. Likewise, a technological process for making panettone was standardized using biga and sponge pre-ferments, achieving optimal dough development. The treatment with 24 hours of fermentation and 0.62% yeast obtained the best sensory ratings, correlating with an average acidity of 0.51% lactic acid and a pH of 4.77. The inclusion of cañahua flour improved the sensory profile of panettone and was very well received, making it an innovative and nutritious alternative.

Keywords: biga prefermenter, fermentation, titratable acidity, pH, sensory evaluation.

Artículo original

DOI: <https://doi.org/10.53287/pkmz3931tt33w>

Recibido: 10/05/2025

Aceptado: 15/12/2025

¹ *Autor de correspondencia: Docente, Carrera Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0484-1109.monasteriossandra@gmail.com>

INTRODUCCIÓN

El panetón es el producto moldeado en forma cilíndrica, de consistencia esponjosa, de masa dulce, resultante de la cocción de una masa obtenida en condiciones higiénicas y técnicas adecuadas, por la mezcla de ingredientes inocuos como harina de trigo, agua potable, levadura natural o agria, sal, azúcar, grasa y/o harina de uno o más cereales, tubérculos y leguminosas, y otros ingredientes que le otorgan características particulares y con aditivos permitidos, al que podrá además agregarse o no ingredientes autorizados tales como: almendras, nueces, pasas de uva, chocolate, frutas confitadas y otros, fermentado por la adición de levaduras activas (NB 39007, 2012).

Para la producción del panetón, el principal insumo es la harina de trigo (*Triticum* spp.); sin embargo, en los últimos años se han realizado estudios sobre la sustitución por otras harinas, como la harina de linaza dorada (*Linum usitatissimum* L.), sustituyendo hasta un 30% (Zanqui et al., 2014). Asimismo, Bigne et al. (2018) analizaron el uso de la harina de mezquite (*Prosopis alba*) como un ingrediente innovador para la elaboración de panetón, que aumentó la adhesividad, lo que afectó el tamaño de los alvéolos y, en consecuencia, la textura del producto, sin embargo, favoreció su calidad nutricional.

Se han desarrollado diversos estudios sobre la sustitución parcial de harina de trigo por otras de mejor calidad. Gostin (2019) investigó sobre el efecto de la sustitución de harina de trigo refinada por harina integral y de quinua (*Chenopodium quinoa*) sobre las características tecnológicas y sensoriales de los panes reducidos en sal. Así mismo, Salovaara y Valjakka (1987) evaluaron cómo la temperatura de fermentación, el tipo de harina y el origen del fermento afectan la acidez, volumen y conservación del pan de trigo agrio.

Respecto a la adición de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) para fabricar panes, Zegarra et al. (2019) analizaron la elaboración de pan libre gluten a base de harina de cañahua y la aceptabilidad sensorial de los mismos, que concluye que la harina de cañahua es un recurso adecuado y aceptable para los consumidores celiacos y puede utilizarse para la producción de panes. Asimismo, la adición de granos andinos, contribuye a la aceptación del consumo de

panes en personas celiacas (Martínez-Villaluenga et al., 2020). Chamorro-Gómez et al. (2023) evaluaron las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del pan de molde enriquecido con kiwicha y cañahua, que concluyen que los panes elaborados con adición de kiwicha y cañahua a la formulación de la harina son una buena fuente de proteínas, hierro y aminoácidos.

En la actualidad, existe una tendencia creciente hacia la innovación y desarrollo de productos alimenticios que equilibren sus características nutricionales y sensoriales. La incorporación de pseudocereales andinos en la formulación de panetones no solo mejora su valor nutricional, especialmente en cuanto al aporte de proteínas vegetales, sino que también representa una alternativa viable a las proteínas animales, gracias a sus excelentes propiedades funcionales y alta digestibilidad (Alrosan et al., 2022).

La calidad sensorial de los panetones depende en gran medida del uso y la elaboración de prefermentos, un procedimiento importante en su proceso de producción que influye directamente en la textura y en los atributos sensoriales del producto (Jamanca-Gonzales et al., 2022). Un prefermento es una mezcla de harina, agua y levadura que se deja reposar durante un tiempo determinado antes de incorporarlo a la masa final del producto (The Food Tech, 2023). Elegir el tipo de prefermento depende de las características que se requiera desarrollar en el producto, el método de masa prefermentada se caracteriza por una etapa de prefermentación, en la cual parte de la harina, el agua y la levadura se mezclan, y la masa desarrollada reposa algunas horas desarrollando una estructura esponjosa (Delcour y Hoseney, 2010).

En Norteamérica predomina en panificación comercial el método de prefermento esponja (Delcour y Hoseney, 2010). El proceso de esponja se ha cambiado por el proceso de masa directa como acondicionador de masa; tiene una absorción del 60 al 63% de humedad y genera una masa más consistente (Castiblanco, 2020). El método esponja normalmente no contiene sal y la cantidad de levadura es calculada dependiendo de la longitud de la fermentación en algunos casos al 1% con respecto a la harina (Baptista, 2012).

El prefermento biga es de origen italiano, y se

caracteriza por ser una masa firme y seca, que aporta sabor y mejora la estructura de los productos de panificación (Jamanca-Gonzales et al., 2022). Es elaborado a base de harina, agua y levadura, formado una masa firme que aporta sabor, una corteza crujiente, una miga abierta y esponjosa; así como su aroma característico a nuez de cereal (Castiblanco, 2020).

Según el propósito y alcance del estudio, este fue descriptivo y explicativo, dado que se determinó la relación causa efecto de usar prefermento biga en el proceso de elaboración de panetones con sustitución parcial de harina de cañahua, con el fin de desarrollar un producto palatable desde el punto de vista sensorial y nutritivo. Los pseudocereales andinos como la quinua, el amaranto (*Amaranthus* spp.) y la cañahua aportan un excelente valor nutricional y nutracéutico (Paucar-Menacho et al., 2022), sin embargo, el amaranto y la cañahua han recibido menos atención, y requieren mayor investigación, ya que presentan características nutricionales, agronómicas y culinarias que podrían beneficiar tanto a productores como a consumidores (Rodríguez et al., 2020).

Según los antecedentes descritos, el objetivo general fue evaluar el efecto del prefermento biga en la aceptación sensorial del panetón con sustitución parcial de harina de cañahua, con los siguientes objetivos específicos: a) realizar la caracterización fisicoquímica de pH y acidez titulable en diferentes tratamientos de prefermento biga, para su uso en la elaboración de panetón; b) estandarizar el proceso tecnológico de elaboración de panetón con prefermento biga y esponja con sustitución parcial de harina de cañahua; y c) evaluar la calidad sensorial de los tratamientos desarrollados.

La hipótesis de la investigación es que el uso del prefermento biga, en combinación con diferentes cantidades de levadura y tiempos de fermentación, influye significativamente en el pH y la acidez titulable, afectando la calidad sensorial del panetón con sustitución parcial de harina de cañahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó en el Centro de Investigación en Transformación de Granos y

Cereales de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Mayor de San Andrés, situada en el municipio de Viacha de la provincia Ingavi del departamento de La Paz (Bolivia), ubicado a 25 km de distancia de la ciudad de La Paz; entre los 16° 32' 39" y 16° 54' 44" de latitud sur y entre los meridianos 68° 16' 56" y 68° 22' 72" de longitud Oeste, tiene una altitud promedio de 3 876 m s.n.m. (PDM Viacha, 2016).

Equipos y materiales

Las materias primas utilizadas fueron harina de trigo 000 (El Trigo de Oro, Molino Andino S.A.) y harina de cañahua tamizado en un tamiz con apertura de 180 μ m (Sindan Organic S.R.L.). Los insumos utilizados fueron agua, levadura instantánea, azúcar, gluten de trigo, leche en polvo, sal, huevos, miel de abeja, manteca, margarina, chocolate, ralladura de naranja y esencias de panetón, vainilla y chocolate.

Los equipos utilizados en el proceso tecnológico fueron un horno con capacidad de 12 bandejas y quemador a gas; una amasadora con capacidad de 12 kg, entrada nominal de 1.1 kW y velocidad de rotación del eje 185 revoluciones por minuto; una fermentadora de masa (temperatura 35 °C; Humedad relativa 60%) y una balanza analítica; entre los utensilios se utilizaron tamices para harinas; pirómetro; termohidrómetro, jarras, bandejas y mesas de acero inoxidable; entre los equipos y material de laboratorio se utilizaron un pH-metro, una bureta para dosificar la solución de hidróxido de sodio, un matraz aforado de 250 ml, vasos de precipitados y matraz Erlenmeyer de 100 ml, balanza de precisión, pizetas, hornilla eléctrica, varillas de vidrio, vidrio de reloj, mortero, goteros para fenolftaleína, jarras volumétricas y determinador de humedad. Los reactivos utilizados fueron hidróxido de sodio (NaOH) de pureza analítica, fenolftaleína, soluciones buffer y agua destilada.

Metodología

De acuerdo con el nivel de investigación el trabajo realizado fue descriptivo, debido a que se analizaron los fenómenos del proceso tecnológico de elaboración de panetones con sustitución parcial de cañahua y la evaluación del uso de prefermentos. El proceso se describe mediante un diagrama de proceso que detalla las actividades y operaciones unitarias propias

del mismo, descrito en Figura 3, a través de la medición de parámetros de control, que determinan la calidad sensorial del panetón. El alcance explicativo, se enfocó en explicar por qué ocurrió un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables (Sampieri, 2014). Desde el punto de vista explicativo se trató de explicar la influencia del tiempo de prefermentación y la cantidad de levadura utilizada en los tratamientos desarrollados, evaluando la acidez titulable y el pH de las masas biga, así como el efecto del proceso tecnológico en los parámetros de calidad sensorial.

Según el alcance de estudio este fue transversal, debido a que se realizó en un determinado momento (marzo 2025).

Caracterización fisicoquímica de pH y acidez titulable en diferentes tratamientos de prefermento biga

Se desarrollaron seis tratamientos, donde se analizaron el factor tiempo de fermentación a temperatura ambiente promedio de 15 °C y la cantidad de levadura en la formulación del prefermento biga, según lo detallado en Tabla 1:

Tabla 1. Formulaciones de prefermento biga y tiempos de prefermentación.

Tiempo de fermentación (horas)	Descripción de insumos	Tratamiento - T1 Biga 1		Tratamiento -T2 Biga 2	
		Cantidad (g)	Porcentaje (%)	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
12	Harina	520	64.41	520	64.12
18	Agua	286	35.43	286	35.27
24	Levadura	1	0.16	5	0.62

La medición del pH y de la acidez titulable total en harina, masa y productos de panificación son fundamentales para el control de calidad. Estos parámetros influyen en la fermentación, el sabor y la vida útil del producto final. Para su determinación se emplean métodos estandarizados reconocidos internacionalmente (Metrohm AG, s.f.; Hanna Instruments Bolivia, s.f.).

Según Tyl y Sadler (2017) dos conceptos relacionados en el análisis de alimentos que tienen que ver con la acidez son el pH y la acidez titulable. Cada uno se determina analíticamente de formas distintas y tiene su propia repercusión particular en la calidad de los alimentos. La acidez titulable se ocupa de medir la concentración total de ácido que contiene un alimento, también llamada acidez total.

La acidez titulable y el pH son conceptos relacionados en el análisis de alimentos. El pH es importante para evaluar la capacidad de un microorganismo para crecer en un alimento, la acidez titulable predice mejor que el pH el impacto de los ácidos orgánicos del alimento en el sabor y características sensoriales. A diferencia de los ácidos fuertes, que se disocian totalmente, los ácidos alimentarios sólo se ionizan parcialmente (Tyl y Sadler, 2017). El pH se mide con un pH-metro. La acidez titulable, que mide la concentración total de ácido en un alimento, se

determina mediante la valoración de los ácidos intrínsecos con una base estándar (Tyl, 2024).

La medición de la acidez titulable se realizó con base en la Norma Boliviana (2009) NB 39006: 2009 (Harina y derivados-pastas alimenticias o fideos, biscochos, galletas y panes-determinación de la acidez titulable), que indica que se entiende por acidez titulable a la capacidad que tienen los alimentos de neutralizar los álcalis.

- A 5 g de la muestra, agregar 50 ml de alcohol neutralizado al 50%. Mezclar bien y agitar.
- Filtrar, y del filtrado tomar 10 ml que se colocan en un Erlenmeyer con 2 o 3 gotas de fenolftaleína.
- Titular con una solución 0.02 N de hidróxido de sodio, hasta obtener un color rosado suave que perdure 30 segundos.
- Registrar el volumen de NaOH utilizado
- Determinar la acidez titulable expresada como porcentaje de ácido láctico.

Para la determinación de la acidez titulable en base seca se determinó la humedad mediante la NB/ISO 712:2010 (Norma Boliviana, 2010) (Cereales y derivados: Determinación del contenido de humedad) con el siguiente procedimiento:

- Para la porción de ensayo se realizó el pesado de una cantidad de 5 g de muestra en el plato.

- Se realizó el secado a 130 °C hasta obtener un peso constante, para luego colocar en el desecador.
- Una vez frío el plato se realizó el pesado para la determinación de humedad.

Con base en la Norma Venezolana (COVENIN 1315-2021), se utilizó el siguiente protocolo para medir el pH:

- Acondicionar la muestra a la temperatura indicada 20 ± 5 °C.
- Pesar 10 ± 0.05 g de la muestra. Homogenizar la suspensión hasta que quede libre de grumos.
- Añadir 90 ml de agua destilada libre de CO₂, hirviendo agua destilada, tapando y dejando enfriar. Así se evita que se forme ácido carbónico que aporte iones hidrógeno (H⁺).
- Agitar suavemente hasta disolver u homogeneizar, evite generar burbujas.
- Separar las fases usando filtración a través de tamizado o cualquier método adecuado para separar la fase líquida de la fase sólida.
- Usar la fase líquida filtrada para la determinación del pH y descartar la fase sólida.
- Medir el pH de la muestra de ensayo, siguiendo las indicaciones del fabricante del potenciómetro y electrodo empleado.
- Anotar el resultado.
- Lavar con agua destilada el electrodo antes y después de las mediciones.

La prueba se realizó por duplicado, tomando dos lecturas para cada muestra, con el fin de validar los datos.

Montgomery (2012) define los diseños factoriales como aquellos que permiten estudiar los efectos de dos o más factores de manera simultánea y evaluar tanto los efectos principales como sus interacciones. Con el fin de evaluar el efecto simultáneo de los factores independientes (tiempo de fermentación y cantidad de levadura) sobre una variable dependiente (acidez titulable y pH), y también para evaluar si existe interacción entre ambos factores se realizó un análisis bifactorial (ANOVA de dos factores); $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$, donde Y_{ijk} (acidez titulable); μ (media general); α_i (efecto fijo del i-ésimo nivel del tiempo de fermentación-horas); β_j (efecto fijo del j-ésimo nivel de la cantidad de levadura-%);

$(\alpha\beta)_{ij}$ (efecto de la interacción del i-ésimo nivel del tiempo de fermentación y el j-ésimo nivel de la cantidad de levadura); ε_{ijk} (error experimental-0, σ_e^2); con las siguientes hipótesis: Ho α : la media de la acidez titulable de los prefermentos biga es igual para cualquier tiempo de fermentación; Ho β : la media de la acidez titulable de los prefermentos biga es igual para cualquier cantidad de levadura; Ho $\alpha\beta$: no hay interacción entre el tiempo de fermentación y la cantidad de levadura en la acidez titulable de la biga. De igual forma para el análisis del pH. Para la resolución del diseño factorial se utilizó el software Minitab 18.

Estandarización del proceso tecnológico de elaboración de panetón con prefermento biga y esponja con sustitución parcial de harina de cañahua

Según Jamanca-Gonzales et al. (2022), en la preparación del panetón es esencial considerar la consistencia y textura de la masa obtenida durante la fermentación. Este proceso puede llevarse a cabo mediante dos métodos principales: esponja, una fermentación intermedia en la que se elabora una masa inicial con harina, agua y una cantidad de levadura, permitiendo su fermentación antes de incorporar el resto de los ingredientes para formar la masa final, también conocida como masa madre con levadura; y biga, un prefermento más seco y firme, similar a la masa madre, que fermenta a temperatura ambiente y es ampliamente utilizado en panaderías. Estas fermentaciones influyeron en la estructura de la miga, afectando la porosidad, la esponjosidad y el volumen específico del producto.

El proceso estandarizado se describe en el flujograma de proceso, en Figura 3, que contempla actividades y operaciones unitarias; Para el control de calidad de materias primas e insumos se aplicaron recomendaciones de las buenas prácticas de manufactura según la NB 324:2013 (Norma Boliviana, 2013), priorizando a proveedores con registro sanitario. Al pesar los insumos, se realizó una inspección visual que verificó apariencia, etiquetado y fecha de vencimiento. La documentación adecuada asegura la trazabilidad y seguridad del producto final. Las materias primas e insumos deben cumplir con normas específicas: la harina con la NB 680:2016 (Norma Boliviana, 2016), el agua potable con la NB 512:2016 (Norma Boliviana, 2016) y el azúcar

refinado con la NB/NA 0011:2008 (Norma Boliviana, 2008).

En la etapa de recepción de materiales, es fundamental evaluar la calidad fisicoquímica de la harina de trigo, especialmente en lo referente a su fuerza panadera y contenido de gluten, como se muestra en la Tabla 2. Si bien la harina cumple con los requisitos mínimos establecidos por la norma boliviana NB 680:2016, presenta un bajo contenido proteico. Por ello, es necesario incorporar gluten de trigo. Al respecto, Ortolan y Steel (2017) señalan que el uso de gluten vital en la industria panadera tiene como finalidad mejorar las características reológicas de harinas que no cumplen con los estándares requeridos para productos que exigen una alta resistencia, como los panetones. Para mejorar propiedades como la tolerancia al amasado, la resistencia de la masa y el volumen del producto final, el gluten vital se añade a la harina en proporciones que oscilan entre el 2% y el 10% (base harina), siendo el 5% una dosificación comúnmente empleada.

Tabla 2. Requisitos Fisicoquímicos y nutricionales de harina de trigo.

Parámetros nutricionales de harina de trigo	Unidad u/100g	La Suprema Trigo de oro	Harina de trigo NB 680:2016
Valor energético	Kcal	340.00	
Proteínas	g	11.00	Min 8.00%
Grasa	g	0.40	
Carbohidratos	g	60.00	
Calcio	mg	38.00	
Hierro	mg	30.00	

Con base en información nutricional declarada en envase de harina de trigo (Molino Andino S.A., 2025) y requisitos fisicoquímicos NB 680:2016 (Norma Boliviana, 2016). Biesiekierski (2017) señala que el gluten, compuesto principalmente por gliadina y glutenina, es la principal proteína del trigo y forma una red compleja que influye en las propiedades reológicas de la masa, además de usarse en alimentos procesados para mejorar textura, sabor y humedad.

Cada componente tiene funciones ligeramente diferentes, cruciales para determinar las propiedades viscoelásticas (atrapamiento del dióxido de carbono liberado durante el leudado del pan) y la calidad del producto final. Por ejemplo, las gliadinas hidratadas purificadas contribuyen más a la viscosidad y

extensibilidad de la masa, mientras que las gluteninas hidratadas son cohesivas y contribuyen a la resistencia y elasticidad de la masa (Wieser, 2007).

Para la elaboración de los prefermento biga y esponja, se consideraron los métodos sugeridos por Castiblanco (2020) y la experiencia de trabajo en el Centro de Investigación en Granos y Cereales.

- Elaboración del prefermento biga: se realizó el pesado y diluido de la levadura instantánea en agua fría, a la cual se añadió la harina, y se mezcló hasta formar una masa homogénea. Se tapó el recipiente y dejó reposar la mezcla a temperatura ambiente (13 a 18 °C) durante 12, 18 y 24 horas. Durante este tiempo, la biga fermentó lentamente, desarrollando su sabor, burbujas de aire visibles y una textura esponjosa. Se alcanzó un ligero olor y sabor ácido, lo que indicó que la fermentación fue adecuada. Se realizaron las mediciones de acidez correspondientes.
- Elaboración del prefermento esponja: se colocó el prefermento biga en porciones aproximadas de 20 g, se añadió harina, azúcar, levadura, agua y gluten de trigo para garantizar una harina de fuerza, se mezcló hasta formar una masa homogénea. Se tapó el recipiente y dejó fermentar la mezcla en la fermentadora a temperatura de 35 °C y humedad relativa de 60%, durante 1 hora. Se controló el proceso con un termohigrómetro.
- Elaboración de la masa de panetón: se mezcló el prefermento esponja y los insumos referidos en Figura 3, para proceder con el primer amasado, que activó las proteínas de la harina, principalmente el gluten y las proteínas solubles en agua que contribuyen al desarrollo de la estructura de la miga. El tiempo de amasado varió según factores como la amasadora, motor, gancho y cantidad de masa, además de la calidad de la harina y la hidratación. El control de calidad se realizó mediante la prueba de la membrana, que consiste en verificar la elasticidad de la masa.
- Amasado: cuando el gluten se desarrolló, se añadieron las grasas y esencias para proceder con el segundo amasado.
- Formado: se añadieron chips de chocolate aptos para horneado, se bolearon las masas con peso de 700 g y colocaron en pirotines para panetón.

- Tercer fermentado: se realizó en la fermentadora, por 1 hora a temperatura de 30 °C y humedad relativa de 50%.
- Horneado: fue una etapa crítica en la producción de panetón que transformó la masa fermentada en un producto final con una corteza dorada y una miga cocida y aireada. El panetón se horneó durante 40 minutos a temperatura de 155 °C.
- Enfriamiento: una vez que el panetón estuvo cocido, se sacó del horno y se dejó enfriar. El enfriamiento permitió que el panetón pierda humedad y se establezca su textura final.
- Control de calidad de panetón: se realizó control de calidad sensorial según el método definido.

Evaluación de la calidad sensorial de los tratamientos desarrollados

La aceptabilidad del panetón depende directamente de los atributos sensoriales percibidos por los panelistas; Meiselman et al. (2022) analizaron los

avances y desafíos actuales en la ciencia sensorial y del consumidor, lo cual puede aplicarse al producto de investigación. En este proceso, un panel de evaluadores utilizó sus sentidos (vista, olfato, oído, gusto y tacto) para recopilar información (Espinilla et al., 2008). La evaluación sensorial es una herramienta valiosa en la industria alimentaria para evaluar la aceptabilidad del consumidor, con directrices estándar que guían las buenas prácticas en la disposición del laboratorio, las muestras y los especialistas en evaluación (Pop, 2023).

En la investigación se aplicó una prueba afectiva hedónica, que es de frecuente uso en el ámbito industrial e investigación, con 50 panelistas consumidores y sin ninguna relación con el proceso o investigación (NB/ISO 11056,2006). Se utilizó una escala hedónica de prueba afectiva con ponderaciones de 1 a 5 (Certified Laboratories, 2022). La boleta de evaluación fue diseñada considerando parámetros sensoriales descritos en la Tabla 3:

Tabla 3. Variables y descriptores utilizados en la evaluación sensorial del panetón.

Variables		Descripción
Apariencia	Forma	Uniformidad, volumen, proporción típica de panetón
	Corteza	Color (dorado uniforme), grosor, aspecto deseable
	Miga	Color interno, alveolos, estructura homogénea
	Inclusiones	Distribución de chocolate, visibilidad
Aroma-olor	Intensidad del olor	Presencia y potencia del aroma (cañahua, grasas, esencias)
	Calidad	aroma fresco, natural, sin olores extraños al producto
Textura tacto y boca	Suavidad (mano)	Tacto de la miga, sensación al presionar
	Esponjosidad	Aireado, liviano, sin densidad excesiva
	Humedad	Cantidad adecuada mínima, sin resequedad ni humedad excesiva
	Elasticidad	Capacidad de recuperación tras presión
	Masticabilidad	Sensación agradable al masticar, sin ser gomoso o seco
Sabor	Dulzura	Nivel de azúcar equilibrado
	Sabor característico	cañahua, grasas, chocolate, esencias
	Regusto	Persistencia agradable después de tragar
	Acidez percibida	propia del producto debido a procesos intensivos de fermentación

El método utilizado consideró los siguientes pasos:

- Preparación de las muestras de evaluación sensorial de los seis tratamientos, empacadas en bolsas de polipropileno con su respectiva codificación.
- Selección del panel de evaluación sensorial, para la selección y el entrenamiento del panel se siguieron los lineamientos establecidos en la norma NB/ISO 8586-1:2004 (Norma Boliviana, 2004). Los evaluadores se seleccionaron por su

capacidad para discriminar y por la consistencia de esa discriminación recomendada por NB/ISO 6658:2007 (Norma Boliviana, 2007). Según recomendación de la NB/ISO 11056:2006 (Norma Boliviana, 2006) el panel analítico de investigación estuvo constituido por 50 panelistas consumidores.

- Entrega de los seis tratamientos codificados a los panelistas, acompañado de un vaso de agua.
- Evaluación sensorial de los tratamientos registrados en hoja de cateo.

- Tabulación y análisis estadístico de los datos.
- Análisis de resultados.

Para el análisis estadístico de los seis tratamientos se realizó el análisis de varianza de las variables sensoriales, que es utilizado para verificar si existen diferencias estadísticas significativas entre la media de más de dos muestras o grupos de muestras en un mismo planteamiento. Según Ochoa (2016), la ANOVA es una técnica estadística que sirve para analizar la variación total de los resultados experimentales de un diseño en particular, descomponiendo en fuentes de variación independientes atribuibles a cada uno de los efectos

en que constituye el diseño experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica de pH, humedad y acidez titulable de prefermento biga

Se desarrollaron seis tratamientos para evaluar el efecto del tiempo de fermentación (12, 18 y 24 horas) a una temperatura ambiente promedio de 15 °C y de dos niveles de levadura: 0.16% (T1) y 0.62% (T2). Los resultados obtenidos de pH, humedad (%) y ácido láctico (%) se presentan en Tabla 4.

Tabla 4. Características fisicoquímicas del prefermento biga según el tiempo de fermentación y la cantidad de levadura.

Cantidad de levadura	Tiempo de prefermento								
	12 horas			18 horas			24 horas		
	pH	Humedad (%)	Ácido láctico (%)	pH	Humedad (%)	Ácido láctico (%)	pH	Humedad (%)	Ácido láctico (%)
0.16%	5.51	43.05	0.410	5.46	42.94	0.41	5.59	45.63	0.440
levadura	5.53	43.08	0.411	5.50	43.01	0.41	5.10	45.53	0.430
	5.45	43.02	0.379	5.25	42.89	0.43	5.15	45.58	0.463
0.62%	5.42	40.76	0.400	5.52	53.78	0.43	5.40	43.09	0.470
levadura	5.23	40.80	0.426	4.89	43.74	0.48	4.56	43.20	0.507
	5.36	41.01	0.397	5.15	43.68	0.45	4.35	43.12	0.538

La Figura 1 muestra cómo la acidez titulable del prefermento biga (expresada como porcentaje de ácido láctico) varía en función del tiempo de fermentación (12, 18 y 24 horas) y la cantidad de levadura utilizada (0.16% y 0.62%). Los tratamientos del prefermento biga tuvieron estructuras firmes con porcentajes de humedad entre el 40 y 46%, resultado de la humedad propia de la harina de trigo y la cantidad de agua utilizada para la elaboración de la biga, dosificación sugerida por Castiblanco (2020).

En los prefermentos biga con 0.16% de levadura, la acidez titulable (entre 0.38% y 0.46%) muestra poca variación entre las 12 y 18 horas, lo que indica una fermentación lenta con una producción gradual de ácidos, lo cual se acelera ligeramente a las 24 horas. Por otro lado, cuando se utiliza un 0.62% de levadura, la acidez aumenta de manera significativa (entre 0.40% y 0.54%), lo que refleja una fermentación intensa y rápida. Esto demuestra que la cantidad inicial de levadura influye directamente en la velocidad de fermentación y en el desarrollo de

la acidez, factores que son clave para el sabor, aroma y estructura del panetón, tal como analizaron Balestra et al. (2015) en su estudio sobre diferentes métodos de fermentación.

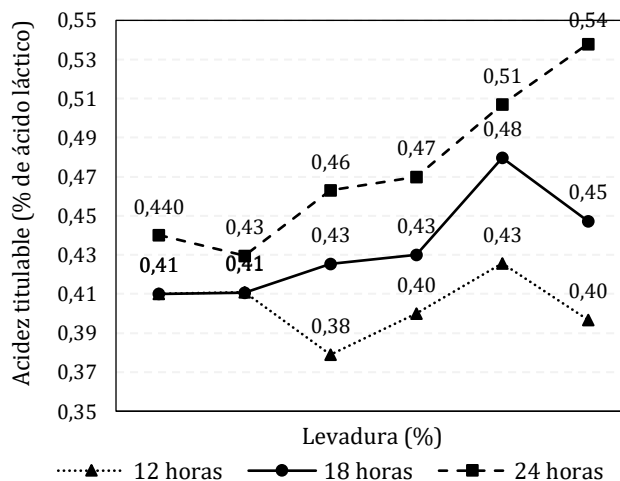


Figura 1. Acidez titulable.

Resultado de la evaluación entre la acidez titulable y el pH promedio de los resultados obtenidos, se aprecia en la Figura 2, que la acidez titulable varía de forma inversamente proporcional con el pH de la masa, donde el pH reduce ante incrementos de ácido láctico, de forma lenta con 0.16% de levadura y con mayor velocidad con 0.62%.

Durante la fermentación, las levaduras producen ácidos orgánicos (principalmente ácido acético y láctico), lo que resulta en una disminución del pH. A medida que el pH desciende, se incrementa la acidez titulable, ya que esta última mide la cantidad de ácidos presentes en el medio.

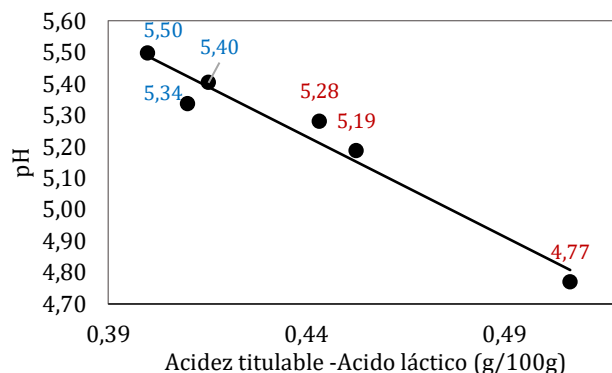


Figura 2. Relación entre la acidez titulable y el pH Promedio en biga.

En el análisis bifactorial, se evaluaron el efecto simultáneo de los factores tiempo de fermentación y cantidad de levadura, y su interacción sobre la acidez titulable, así como la interacción entre ambos factores. Los resultados se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5. Análisis de varianza bifactorial (ANOVA) para la acidez titulable según el tiempo de fermentación y la cantidad de levadura.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados ajustada	Media de cuadrados ajustada	Valor F	Valor p
Modelo	5	0.02	0.01	9.99	0.00
Lineal	3	0.02	0.01	15.09	0.00
Tiempo de fermentación (horas)	2	0.02	0.01	16.59	0.00
Cantidad de levadura (%)	1	0.01	0.01	12.09	0.01
Tiempo de fermentación x cantidad de levadura	2	0.00	0.00	2.34	0.14
Error	12	0.01	0.00		
Total	17	0.03			

Valor F: Estadístico F del análisis de varianza; Valor p: Nivel de significancia estadística.

Según los resultados presentados en la Tabla 5, se observa que el efecto del tiempo de fermentación sobre la acidez titulable es estadísticamente significativo ($p = 0.00$), por lo que se rechaza la hipótesis nula $H_0\alpha$. El resultado muestra que no todas las medias de acidez titulable son iguales a lo largo de los distintos tiempos de 12, 18 y 24 horas. Esto significa que el factor tiempo de prefermentación tuvo un efecto significativo en la acidez resultante.

Asimismo, la cantidad de levadura también muestra un efecto altamente significativo sobre la acidez ($p = 0.01$), lo que conduce al rechazo de $H_0\beta$, evidenciando que este factor influye de manera importante en la acidez titulable. Por último, la interacción entre el tiempo de fermentación y la cantidad de levadura no resultó estadísticamente significativa ($p = 0.14$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula de interacción

$H_0\beta$. Esto implica que el efecto del tiempo sobre la acidez titulable no varía significativamente según el nivel de levadura utilizado, y viceversa; es decir, los efectos de los factores son aditivos.

En general, se observó que los tratamientos con un tiempo de fermentación más prolongado (24 horas) y una mayor concentración de levadura (0.62 %) mostraron los niveles más altos de acidez titulable. Estos resultados indican una clara tendencia al aumento de la producción de ácido láctico con el incremento de ambos factores. La independencia de sus efectos (confirmada por la interacción no significativa) sugiere que, para optimizar la acidez, los efectos del tiempo y la levadura pueden considerarse por separado. Las diferencias observadas entre las combinaciones se deben principalmente a los fuertes efectos principales del tiempo y la levadura.

Tabla 6. Análisis de varianza bifactorial (ANOVA) para el pH según el tiempo de fermentación y la cantidad de levadura.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados ajustada	Media de cuadrados ajustada	Valor F	Valor p
Modelo	5	0.98	0.20	2.32	0.11
Lineal	3	0.88	0.29	3.45	0.05
Tiempo de fermentación (horas)	2	0.48	0.24	2.85	0.10
Cantidad de levadura (%)	1	0.39	0.39	4.66	0.05
Tiempo de fermentación x cantidad de levadura	2	0.11	0.05	0.62	0.55
Error	12	1.02	0.08		
Total	17	2.00			

Valor F: estadístico F del análisis de varianza; Valor p: nivel de significancia estadística.

La Tabla 6 muestra el efecto del tiempo de fermentación, la cantidad de levadura, y su interacción sobre el pH del prefermento. El análisis de varianza mostró que ni el tiempo de fermentación ni la cantidad de levadura producen cambios estadísticamente significativos en el pH del prefermento. Sin embargo, la cantidad de levadura presentó una tendencia más marcada ($p = 0.05$), indicando que niveles mayores podrían favorecer una ligera disminución del pH por una fermentación más activa. El tiempo de fermentación también mostró una tendencia ($p = 0.10$), pero sin alcanzar significancia. Además, no se encontró interacción entre tiempo y levadura, lo que indica que ambos factores actúan de manera independiente. En conjunto, los resultados sugieren que el pH del prefermento se mantiene relativamente estable bajo las condiciones evaluadas, con variaciones suaves asociadas principalmente al nivel de levadura.

Aunque el pH ofrece información sobre la concentración de iones hidrógeno, la acidez titulable refleja la cantidad total de ácidos presentes, lo cual es crucial para determinar el perfil sensorial del panetón. La fermentación lenta (con un bajo porcentaje de levadura), produce una acidez gradual, lo que se refleja en un descenso leve del pH y en un sabor menos ácido, adecuado para panes más suaves. En una fermentación rápida (con un alto porcentaje de levadura), se produce un aumento más notorio en la acidez titulable, lo que se refleja en un pH más bajo y un sabor más ácido, que puede afectar tanto el sabor como la textura del panetón. Según Hasenay et al. (2006), el valor de pH disminuye durante la fermentación de la masa de pan, independientemente del tipo de acidificación utilizado.

Estandarización del proceso tecnológico para la elaboración de panetón con prefermento biga y Esponja, con sustitución parcial de harina de cañahua

En la Figura 3. se observa la secuencia de operaciones unitarias y actividades del proceso productivo, así como el balance de masa correspondiente. Además, se han establecido parámetros de control que deben ser verificados durante el desarrollo del proceso para garantizar la calidad del producto final.

- En la elaboración del prefermento biga, las variables de control fueron:
 - Peso de la harina, agua y levadura, según porcentajes indicados en Tabla 1.
 - Tiempo de mezcla (5 minutos) a velocidad 1 en amasadora (lenta).
 - La temperatura ambiente de reposo de la masa de prefermento (13 a 18 °C).
 - Tiempo de fermentación lenta, durante 12, 18 y 24 horas.
 - Control de calidad de acidez del prefermento a 12, 18 y 24 horas, mediante la medición del pH y la acidez titulable.
- Elaboración del prefermento Esponja, las variables de control fueron:
 - Peso de insumos, según la dosificación en balance de masa.
 - Tiempo de mezcla (10 minutos) a velocidad 1 en amasadora (lenta).
 - Fermentado a temperatura de 35 °C y humedad relativa de 60%, se verificó con un termohigrómetro.
 - Tiempo de fermentación durante 1 hora.

- Control de calidad de acidez del prefermento esponja, mediante la medición del pH y la acidez titulable promedio (12 horas-0.16%: PH-5.50; 0.40% ácido láctico; 12 horas-0.62%: PH-5.34; 0.41% ácido láctico); (18 horas-0.16%: PH-5.40; 0.42% ácido láctico; 18 horas-0.62%: PH-5.19; 0.45% ácido láctico); y (24 horas-0.16%: PH-5.28; 0.44% ácido láctico; 24 horas-0.62%: PH-4.77; 0.51% ácido láctico).
- Elaboración de la masa de panetón, las variables de control son:
 - o Peso de insumos, según la dosificación en balance de masa.
 - o Tiempo de amasado sin grasas (10 minutos) a velocidad 2 en amasadora (rápida).
 - o El control de calidad cualitativo para evaluar las propiedades reológicas de la masa, como la elasticidad y la extensibilidad, se lleva a cabo mediante pruebas prácticas. La prueba de la ventana permite observar el desarrollo del gluten: se toma una pequeña porción de masa y se estira suavemente entre los dedos hasta formar una película delgada, lo que indica un buen desarrollo del gluten. La prueba del rebote evalúa la elasticidad al presionar la masa con un dedo; si esta recupera su forma lentamente, está bien amasada. Finalmente, la prueba de estirado manual consiste en alargar la masa para determinar cuánta extensión soporta antes de romperse, lo que refleja su extensibilidad, sugerido por Castiblanco (2020).
- o Tiempo de amasado con grasas (4 minutos) a velocidad 2 en amasadora (rápida).
- o Fermentado a temperatura de 35 °C y humedad relativa de 60%, se verificó con un termohigrómetro.
- o Tiempo de fermentación durante 1 hora.
- o Control de calidad de acidez del prefermento esponja, mediante la medición del pH y la acidez titulable.
- En el formado, se añaden chips de chocolate aptos para horno, y se pesan masas de 700 g para colocar en pirotines para panetón.
- El tercer fermentado, se realizó en la fermentadora, por 1 hora a temperatura de 30 °C y humedad relativa de 50%.
- El horneado fue por 40 minutos a temperatura de 155 °C, con turbo.
- Control de calidad de panetón: se realizó control de calidad sensorial y fisicoquímico.

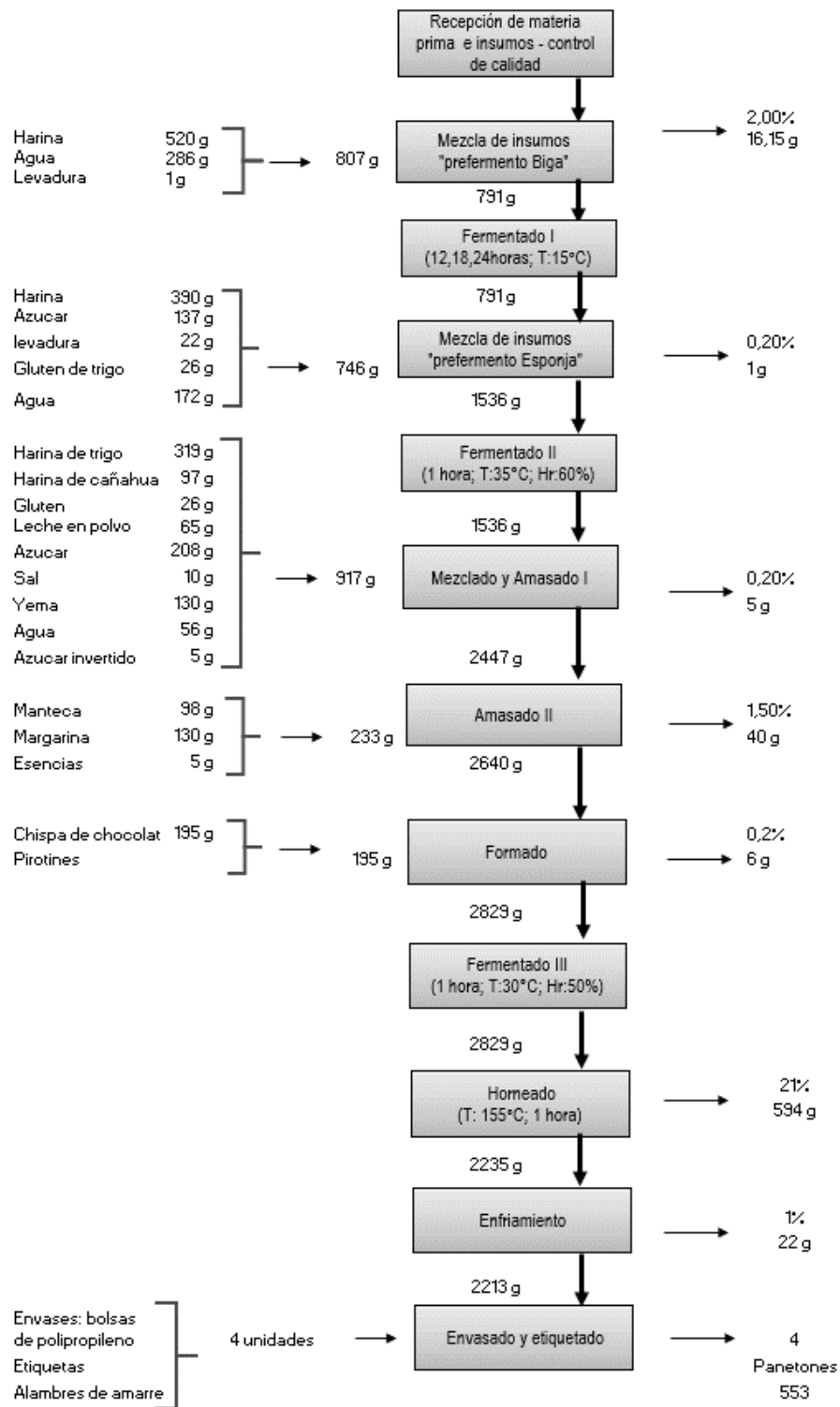


Figura 3. Diagrama de proceso y balance másico de panetón con sustitución parcial de harina de cañahua.

Evaluación de la calidad sensorial de los tratamientos desarrollados

Se realizó un análisis sensorial de seis tratamientos de panetón elaborados con diferentes prefermentos biga, desarrollados a diferentes tiempos (12, 18 y 24 horas) y cantidades de levadura (T1: 0.16% y T2:

0.62%). La ficha de valoración incluyó variables específicas para el panetón, descritas en la Tabla 3, con base en los resultados obtenidos de cada variable se obtuvo una tabla con datos promedio de respuestas de la prueba afectiva realizada, como se detalla en Tabla 7.

Tabla 7. Promedio de respuestas de prueba afectiva hedónica.

N°	Género	TA: T12H0.16%L				TB: T12H0.62%L				TC: T18H0.16%L				TD: T18H0.62%L				TE: T24H0.16%L				TF: T24H0.62%L			
		Apariencia	Aroma/olor	Textura: tacto y boca	Sabor	Apariencia	Aroma/olor	Textura: tacto y boca	Sabor	Apariencia	Aroma/olor	Textura: tacto y boca	Sabor	Apariencia	Aroma/olor	Textura: tacto y boca	Sabor	Apariencia	Aroma/olor	Textura: tacto y boca	Sabor	Apariencia	Aroma/olor	Textura: tacto y boca	Sabor
1	M	4.00	5.00	3.40	4.50	3.75	3.00	3.40	3.50	4.00	5.00	4.20	4.00	2.50	3.50	3.00	4.00	3.50	3.00	3.20	4.50	4.50	4.00	4.60	4.75
2	F	3.25	2.00	4.60	3.50	3.00	3.50	2.20	3.00	4.00	4.00	2.40	4.00	4.00	4.00	4.00	3.50	2.75	3.50	4.20	4.75	3.75	4.50	3.60	4.25
3	F	3.25	3.00	4.00	4.00	3.00	2.50	2.60	3.25	3.50	4.00	3.60	3.25	3.00	3.00	3.40	2.50	4.75	4.50	3.40	3.25	4.00	4.00	4.00	5.00
4	M	3.25	3.50	3.80	3.25	3.75	3.50	3.40	2.75	2.75	3.00	3.20	3.25	3.75	3.00	3.40	4.25	3.75	3.00	3.40	4.00	4.00	4.00	4.00	4.25
5	M	2.75	4.00	3.20	3.00	2.50	4.00	3.00	3.50	3.50	3.00	3.60	2.00	3.50	3.00	3.60	3.00	3.50	3.00	4.00	3.00	4.25	4.00	4.20	3.75
6	F	4.50	3.50	4.40	3.50	4.50	3.50	4.60	4.00	4.75	4.00	4.80	4.25	4.75	4.00	4.80	3.75	4.25	4.00	4.40	4.75	4.75	4.00	4.20	4.00
7	F	3.25	4.00	2.20	3.50	3.50	3.50	3.20	3.50	3.50	4.00	2.80	3.75	3.00	3.00	2.80	3.50	3.00	4.00	3.20	3.25	4.25	4.00	4.20	3.50
8	F	3.25	4.00	4.20	3.00	4.50	3.50	3.00	3.75	2.50	3.50	3.20	3.75	2.50	2.50	4.00	4.25	3.00	2.50	3.60	3.50	4.00	4.00	4.60	4.25
9	F	3.75	3.50	2.00	3.50	3.25	2.00	4.00	4.00	3.25	4.00	3.60	3.75	4.00	2.00	3.20	3.25	3.50	2.50	2.00	2.50	3.75	3.50	3.40	3.50
10	F	3.00	2.50	4.00	3.50	3.50	3.00	3.20	3.25	1.50	2.50	2.00	2.50	3.00	3.50	3.40	2.50	1.75	2.00	3.00	3.00	3.75	4.00	3.80	4.25
11	F	3.25	4.00	4.20	3.75	3.50	4.00	4.40	3.25	4.00	5.00	4.20	4.00	3.50	4.50	4.40	4.00	4.25	4.50	3.80	3.75	3.50	4.00	3.60	4.50
12	F	3.25	2.50	2.80	3.00	3.50	2.50	3.00	3.00	3.00	4.00	3.00	3.00	2.75	2.50	3.00	3.50	3.50	2.00	2.60	2.75	4.00	4.00	3.40	4.00
13	M	3.75	4.00	3.20	3.25	3.25	3.50	2.60	3.25	3.75	2.50	2.60	2.50	4.00	2.50	3.80	3.50	3.25	2.50	3.00	3.25	4.00	3.50	4.00	3.50
14	M	3.00	3.00	2.80	3.25	3.50	4.00	3.40	3.25	3.00	3.50	4.00	3.25	3.50	4.00	3.40	3.25	2.75	3.50	3.60	3.25	3.75	3.50	3.60	3.50
15	F	3.25	4.00	2.80	3.50	3.50	3.50	3.20	4.50	4.50	3.50	3.00	3.75	4.75	3.50	2.80	4.00	3.75	3.50	3.40	4.00	4.25	3.50	4.60	4.25
16	F	3.75	4.50	3.60	3.50	3.75	2.50	2.80	2.75	4.75	5.00	3.60	2.75	2.50	3.00	2.80	3.00	4.25	4.50	4.40	4.00	3.00	4.00	3.80	4.00
17	F	4.00	4.00	4.20	4.00	4.50	4.00	4.80	4.50	4.50	4.50	4.60	4.25	4.25	4.00	4.20	4.50	4.25	4.00	4.00	3.75	4.50	4.00	5.00	4.75
18	F	3.75	3.50	3.80	4.00	2.25	2.00	2.60	3.00	2.75	2.50	2.80	2.50	3.25	3.50	2.80	3.75	3.00	3.00	3.40	3.75	3.50	4.50	4.00	4.50
19	F	3.75	3.50	4.00	3.50	3.75	3.50	3.80	3.75	3.50	4.00	4.40	3.50	3.25	4.00	3.60	3.50	3.75	3.00	3.60	3.75	3.75	4.50	4.00	4.25
20	F	2.75	3.00	2.40	3.25	2.25	3.50	2.80	3.00	3.75	2.50	3.40	3.25	3.25	3.50	3.60	3.25	2.50	3.50	3.80	3.25	3.75	4.00	3.60	3.75
21	F	3.00	3.00	2.60	3.25	3.75	3.50	3.20	2.75	3.50	3.50	3.60	3.50	3.25	3.00	3.40	3.50	2.50	3.50	2.20	3.00	3.75	3.50	3.60	3.50
22	F	3.00	3.00	2.60	3.00	3.50	3.00	3.40	4.00	3.00	2.00	3.40	2.50	2.50	2.50	3.40	2.75	3.75	3.50	3.40	4.25	3.75	3.50	3.80	3.75
23	M	3.50	3.00	2.80	4.00	3.50	2.00	3.00	3.75	3.00	3.00	3.60	3.50	3.00	3.50	3.80	4.00	2.25	2.00	3.00	2.75	4.00	4.00	4.40	5.00
24	M	3.25	3.50	2.20	3.25	2.75	2.50	3.20	2.75	3.25	3.00	3.00	3.00	2.75	2.50	3.40	3.00	2.25	2.50	2.60	2.75	3.75	4.00	4.40	4.25
25	M	4.75	4.50	4.00	4.00	4.75	4.00	3.80	3.50	4.00	3.50	3.40	3.00	2.25	3.50	3.40	3.75	3.00	3.50	3.40	3.75	3.75	4.00	4.40	4.25
26	F	2.25	3.00	4.00	3.50	3.00	3.50	3.40	3.25	2.75	4.00	3.40	3.00	3.25	3.50	4.00	3.75	3.25	3.50	2.80	3.50	4.00	4.50	4.20	3.75
27	F	3.25	4.00	4.00	4.00	3.00	3.50	3.20	3.75	3.00	2.50	3.40	3.75	3.50	3.50	3.00	3.25	3.75	4.00	2.60	3.25	4.00	4.50	3.80	3.50
28	F	4.50	4.50	3.80	4.25	4.50	4.00	4.00	4.00	3.75	3.50	3.80	3.50	4.50	4.00	4.40	4.25	4.50	4.50	4.40	4.00	5.00	4.50	4.60	4.75
29	F	4.50	2.50	2.20	3.50	4.25	3.50	2.40	2.50	1.75	1.50	2.40	2.50	4.25	3.00	3.20	3.50	1.75	1.50	1.80	2.50	2.25	2.00	3.40	3.50
30	F	3.75	3.50	3.80	4.75	3.75	3.50	3.20	3.25	4.25	5.00	4.40	4.50	4.25	4.00	3.40	3.25	4.25	4.00	4.20	3.25	4.50	4.50	3.60	3.75
31	F	4.25	5.00	4.40	4.25	4.75	4.50	4.20	4.25	4.25	5.00	4.40	4.75	4.50	4.00	4.20	4.75	4.75	5.00	4.40	4.50	4.50	4.50	4.40	4.50
32	F	5.00	4.00	3.80	4.75	3.25	3.50	4.00	4.00	4.50	5.00	3.00	4.75	4.75	3.50	4.00	5.00	3.00	4.00	3.80	3.00	4.75	5.00	4.00	4.50
33	F	4.50	5.00	4.60	4.25	4.50	4.50	4.60	4.25	4.50	5.00	4.40	5.00	5.00	3.50	4.60	4.75	5.00	5.00	4.60	5.00	5.00	4.50	4.60	5.00
34	M	3.50	4.50	4.60	4.75	3.50	4.50	4.40	4.00	3.75	3.50	4.20	3.75	3.50	4.00	4.40	4.75	4.50	4.50	4.00	3.75	4.50	4.50	4.60	4.50
35	F	3.25	3.00	3.20	3.25	4.25	4.50	4.40	4.25	3.75	4.00	4.20	3.50	3.25	3.50	3.60	3.50	3.00	3.50	3.60	3.00	3.00	2.50	3.00	2.50
36	M	4.75	4.50	3.20	5.00	3.25	3.00	1.80	3.50	3.50	5.00	3.80	4.25	2.75	4.00	2.80	4.25	4.00	4.00	3.00	4.50	3.75	4.00	3.40	4.75
37	F	3.75	3.50	3.40	3.75	4.50	4.50	4.40	4.50	3.50	4.00	3.40	3.75	4.00	4.00	3.60	3.75	4.75	4.00	4.60	5.00	4.50	4.00	4.20	4.25
38	M	3.75	3.50	3.20	3.50	4.25	4.50	3.20	5.00	4.50	3.50	3.20	4.25	3.75	5.00	3.00	3.75	5.00	4.50	4.80	4.50	4.00	4.00	3.60	3.50
39	F	3.25	2.00	3.00	3.75	4.25	2.00	3.60	5.00	3.25	4.00	3.20	3.00	4.00	4.00	3.40	4.00	4.25	4.50	4.40	5.00	4.50	5.00	5.00	5.00
40	F	3.75	4.00	4.20	3.75	4.50	4.50	3.80	4.25	4.25	4.50	4.40	4.75	4.00	4.00	5.00	4.25	4.00	4.00	4.20	3.75	4.00	4.50	4.60	4.75
41	M	3.00	2.50	3.40	2.75	2.75	3.00	3.00	2.75	3.50	4.00	3.60	3.50	4.00	3.00	3.60	3.75	3.75	2.50	3.60	3.25	4.00	4.50	3.80	4.00
42	M	3.75	4.00	3.80	3.75	3.75	3.50	4.60	3.75	3.75	4.00	4.00	4.25	4.75	4.50	3.00	3.50	5.00	4.50	4.00	3.75	4.75	4.50	4.40	4.75
43	F	3.50	4.50	4.00	3.75	3.75	3.50	3.60	4.00	3.75	3.50	4.00	3.50	4.00	4.00	3.80	3.75	3.75	3.50	3.00	3.50	4.25	3.00	3.60	4.25
44	F	4.00	5.00	3.80	4.00	4.00	4.50	3.40	4.50	2.75	3.00	3.60	3.75												

desarrollado durante la fermentación. Según investigaciones realizadas el método de uso del prefermento esponja ha demostrado producir panes con mejor aroma y sabor, mayor volumen y una miga de textura superior (Delcour y Hoseney, 2010; Poutanen et al., 2009). Asimismo, se ha evidenciado

que una fermentación más prolongada da lugar a una masa más ácida, lo cual resulta beneficioso para mejorar la textura y la palatabilidad de productos ricos en fibra, además de estabilizar o potenciar los niveles de compuestos bioactivos (Katina et al., 2005).

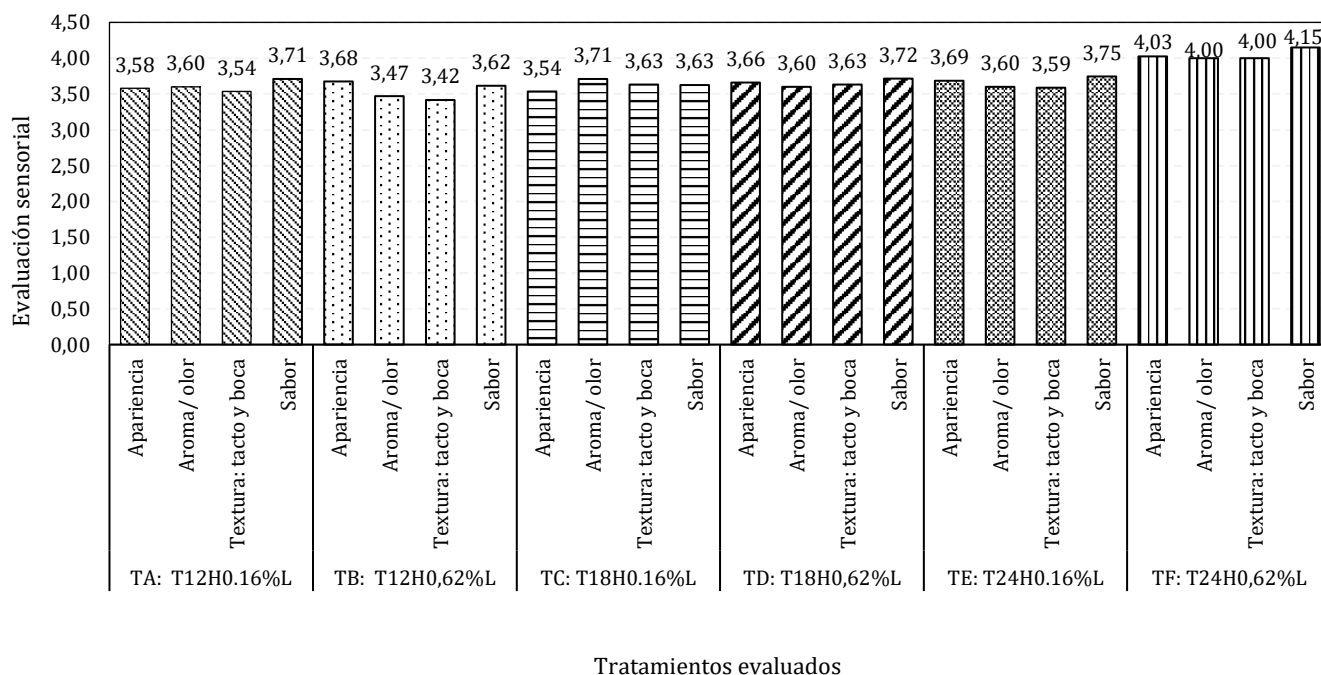


Figura 4. Evaluación sensorial del panetón con sustitución parcial de harina de cañahua utilizando diferentes tipos de prefermento biga.

Los análisis de varianza (ANOVA) de las variables apariencia, aroma – olor, textura de tacto y boca y sabor, por el uso de diferentes tratamientos de prefermento biga son los siguientes:

Análisis de varianza de apariencia

En el análisis de ANOVA, la varianza de las medias entre tratamientos se comparó con la varianza dentro de la muestra (llamada también error experimental

aleatorio). Mediante el software Minitab 18, se realizó el cálculo del valor de F, el cual se comparó con el valor de tablas $F_{(5,294)} = 2.24$, a un nivel de significancia de 0.05. Respecto a la prueba hedónica de apariencia de los seis tratamientos, el F calculado es mayor que el F de tablas, por lo que existe una diferencia significativa entre los puntajes hedónicos promedio, lo que indica que los tratamientos de prefermento biga utilizados influyeron en la apariencia del panetón, según lo detallado en Tabla 8.

Tabla 8. Análisis de varianza para la prueba hedónica de apariencia.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculado	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7.47	5.00	1.49	3.30	0.01	2.24
Dentro de los grupos	133.32	294.00	0.45			
Total	140.79	299.00				

Con el propósito de contrastar las medias individuales obtenidas a partir de un análisis de varianza aplicado a diversas muestras de tratamientos distintos, se recurrió a la prueba de Tukey, descrito en la Tabla 9,

donde se establece que las medias que no comparten una letra presentan diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 9. Comparación en parejas de Tukey para la apariencia.

Factor (apariciencia)	N	Media	Agrupación	
TF	50	4.025	A	
TB	50	3.685	A	B
TC	50	3.675	A	B
TA	50	3.660	A	B
TE	50	3.580		B
TD	50	3.535		B

Con base en resultado de Minitab.

La apariencia del panetón, relacionada con su forma (uniformidad, volumen, proporción típica de panetón), corteza (color dorado uniforme, grosor, aspecto deseable), miga (color interno, alveolos,

estructura homogénea) e inclusiones de chocolate, presentó variaciones las cuales son visibles en la Figura 5:



Figura 5. Comparación de apariencia del panetón con sustitución parcial de harina de cañahua.

El tratamiento TF: T24H0.62%L presentó la mayor media de aceptación, debido a su aspecto deseable

de corteza, miga con estructura homogénea y presentación de alveolos, descrito en Figura 6.



Figura 6. Comparación de apariencia (miga con estructura homogénea y presentación de alveolos) del panetón con sustitución parcial de harina de cañahua.

El panetón de calidad se caracteriza por una miga bien estructurada, con alta porosidad y alvéolos distribuidos de forma regular. En la Figura 5 se observa que cada tratamiento presenta una configuración particular de alvéolos, los cuales se forman cuando el aire queda atrapado dentro de la red de gluten durante la fermentación. Aunque todos los tratamientos mostraron una estructura aireada, se aprecian alvéolos de mayor tamaño en el tratamiento TF: T24H0.62%L. Un factor que influyó en el volumen

real de la miga fue la incorporación de chips de chocolate, que pueden interferir en el desarrollo uniforme del gluten. Respecto a la prueba hedónica de sabor de los seis tratamientos, el F calculado fue mayor que el F de tablas, por lo que existe una diferencia significativa entre los puntajes hedónicos promedio, lo que indica que los tratamientos de prefermento biga utilizados influyeron en el sabor del panetón, según lo detallado en Tabla 10.

Tabla 10. Análisis de varianza para la prueba hedónica de sabor.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F Calculado	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	9.81	5.00	1.96	5.19	0.00	2.24
Dentro de los grupos	111.04	294.00	0.38			
Total	120.85	299.00				

Con el propósito de contrastar las medias individuales obtenidas a partir de un análisis de varianza aplicado a tratamientos distintos, se recurrió a la prueba de Tukey, descrito en la Tabla 11, donde se establece que las medias que no comparten una letra presentan diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 11. Comparación en parejas de Tukey para el sabor.

Factor (apariencia)	N	Media	Agrupación	
TF	50	4.00	A	
TC	50	3.71	A	B
TE	50	3.60	A	B
TD	50	3.60	A	B
TA	50	3.60	A	B
TB	50	3.47		B

Con base en resultado de Minitab.

El sabor del panetón con biga TF: T24H0.62%L, fue el parámetro mejor valorado, con un promedio de aceptación de 4.00, basado en la dulzura, el sabor característico, el regusto agradable y la acidez percibida. Según The Food Tech (2023), el uso de prefermentos contribuye significativamente a mejorar el sabor, la textura y la calidad del producto final.

Respecto a la prueba hedónica de textura de los seis tratamientos, el F calculado es mayor que el F de tablas, por lo que existe una diferencia significativa entre los puntajes hedónicos promedio, lo que indica que los tratamientos de prefermento biga utilizados influyeron en la textura del panetón, según lo detallado en Tabla 12.

Tabla 12. Análisis de varianza para la prueba hedónica de textura.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F Calculado	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	9.66	5.00	1.93	4.77	0.00	2.24
Dentro de los grupos	119.07	294.00	0.41			
Total	128.73	299.00				

Con el propósito de contrastar las medias individuales obtenidas a partir de un análisis de varianza aplicado a tratamientos distintos, se recurrió a la prueba de Tukey, descrito en Tabla 13, donde se establece que las medias que no comparten una letra presentan diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 13. Comparación en parejas de Tukey para la textura.

Factor (apariencia)	N	Media	Agrupación	
TF	50	4.0	A	
TD	50	3.6		B
TC	50	3.6		B
TE	50	3.6		B
TA	50	3.5		B
TB	50	3.4		B

Con base en resultado de Minitab.

La textura del panetón con biga TF: T24H0.62%L, tuvo un promedio de aceptación de 4.0, considerando atributos como suavidad, esponjosidad, humedad, elasticidad y masticabilidad. La calidad del panetón se define por sus propiedades físicas (humedad, color, volumen específico, densidad y textura), que influyen en la aceptación del consumidor (Valcarcel-Yamani y Caetano, 2013).

Según Delcour y Hosney (2010) y Hayman et al. (1998), el pan elaborado con el método de masa prefermentada presenta un mayor tiempo de fermentación, así como un amasado adicional, lo que conlleva un mayor tiempo de hidratación de la masa y una redistribución de las celdas gaseosas. Ambos fenómenos contribuyen a producir una textura más

suave y una estructura de porosidad más fina. Además, un mayor tiempo de fermentación podría favorecer la reducción del pH, lo que a su vez mejora la solubilidad de las proteínas y, por lo tanto, la reología de la masa, favoreciendo el desarrollo de la estructura de la masa y dando lugar a migas más porosas y suaves.

Respecto a la prueba hedónica de aroma y olor de los seis tratamientos, el F calculado es mayor que el F de tablas, por lo que existe una diferencia significativa entre los puntajes hedónicos promedio, lo que indica que los tratamientos de prefermento biga utilizados influyeron en el aroma del panetón, según lo detallado en la Tabla 14.

Tabla 14. Análisis de varianza para la prueba hedónica de aroma.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F Calculado	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	8.25	5.00	1.65	2.85	0.016	2.24
Dentro de los grupos	170.25	294.00	0.58			
Total	178.50	299.00				

Con el propósito de contrastar las medias individuales obtenidas a partir de un análisis de varianza aplicado a tratamientos distintos, se recurrió a la prueba de Tukey, descrito en la Tabla 15, donde se establece que las medias que no comparten una letra presentan diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 15. Comparación en parejas de Tukey para el aroma.

Factor (apariencia)	N	Media	Agrupación	
TF	50	4.0	A	
TC	50	3.7	A	B
TE	50	3.6	A	B
TD	50	3.6	A	B
TA	50	3.6	A	B
TB	50	3.5		B

Con base en resultado de Minitab.

El aroma del panetón con biga TF: T24H0.62%L, obtuvo una ponderación promedio de aceptación de 4.00, basado en la Intensidad del olor, referido a la potencia del aroma (cañahua, grasas, esencias). En la evaluación sensorial de los panetones elaborados con diferentes tratamientos de prefermentos biga, se comprobó que su incorporación aporta al producto final un sabor más complejo y una textura, apariencia y aroma mejorados. Estos resultados coinciden con lo señalado por Balestra et al. (2015), quienes destacan

el impacto positivo de los procesos fermentativos en las características sensoriales de productos horneados.

CONCLUSIONES

Se confirmó que el tiempo de fermentación y la cantidad de levadura son determinantes en las variables fisicoquímicas del prefermento. Ambos factores influyeron de manera significativa sobre la acidez titulable, con un efecto individual y aditivo que incrementó la acidez hasta alcanzar su máximo con 24 horas de fermentación y 0.62% de levadura. Aunque el pH no varió significativamente, se correlacionó con la acidez al mostrar una leve tendencia a la baja en dichas condiciones.

Se logró estandarizar el proceso considerando variables críticas como tiempo, temperatura, tipo de prefermento y proporción de ingredientes. El uso del doble prefermento (biga y esponja) favoreció una estructura homogénea de la miga, una buena formación de alveolos y una adecuada elasticidad, lo cual mejoró la calidad tecnológica del panetón.

El tratamiento con 24 horas de fermentación y 0.62% de levadura obtuvo los mayores puntajes sensoriales

en apariencia, aroma, textura y sabor. Este tratamiento destacó por su aroma característico, miga aireada, dulzura balanceada y acidez percibida agradable, confirmando la influencia positiva del prefermento en la aceptación del producto final. Este resultado valida la hipótesis de que las condiciones fermentativas óptimas mejoran significativamente la calidad sensorial del panetón, atribuyéndose al desarrollo de compuestos aromáticos y una mejor textura debido a la fermentación prolongada. La inclusión de harina de cañahua, junto con el uso del prefermento biga, permitió obtener un producto sensorialmente aceptado, con potencial funcional, dirigido a consumidores que buscan productos innovadores y nutritivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alrosan, M., Tan, T., Mat Easa, A., Gammoh, S., & Alu'datt, M. H. (2022). Recent updates on lentil and quinoa protein-based dairy protein alternatives: Nutrition, technologies, and challenges. *Food Chemistry*, 383-387.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132386>
- Balestra, F., Pinnavaia, G. G., & Romani, S. (2015). Influence of Fermentation on Dough Characteristics. *Journal of Texture Studies*, 46(4), 262-271.
<https://doi.org/10.1111/jtxs.12124>
- Baptista, E. (2012). Esponja (origen Europa). *La Chef Panadera*.
<http://lacheffpanadera.blogspot.com/2012/11/esponja-origen-europa.html>
- Biesiekierski, J. R. (2017). What is gluten? *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 32(S1), 78-81.
<https://doi.org/10.1111/jgh.13703>
- Bigne, F., Puppo, M. C., & Ferrero, C. (2018). Mesquite (*Prosopis alba*) flour as a novel ingredient for obtaining a "panettone-like" bread. *LWT - Food Science and Technology*, 89, 666-673.
<https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/86400/>
- Castiblanco, E. (2020). Recopilación de técnicas en panadería (1.^a ed.). Fundación Universitaria San Mateo.
<https://pdfcoffee.com/qdownload/recopilacion-de-tecnicas-en-panaderia-tomo-i-4-pdf-free.html>
- Certified Laboratories. (2022). Organoleptic and sensory analysis in food quality control. Certified Laboratories.
<https://certified-laboratories.com/blog/organoleptic-and-sensory-analysis-in-food-quality-control/>
- Chamorro-Gómez, R. E., Abad-Villar, D., Natividad-Bardales, A. D., Estacio-Laguna, R., Ríos-García, G., Muñoz-Garay, S. G., Rojas-Portal, R. M., Cueto-Rosales, C. R., & Villanueva-Tiburcio, J. E. (2023). Evaluación de las características fisicoquímicas y sensoriales del pan de molde enriquecido con kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10(2), 102-116.
<https://doi.org/10.23850/24220582.5943>
- Delcour, J. A., & Hoseney, R. C. (2010). Principles of cereal science and technology (3rd ed., 2nd print). AACC International.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.01.001>
- Espinilla, M., Martínez, L., Pérez, L. G., & Liu, J. (2008). Modelo de evaluación sensorial con información lingüística multigranular para el aceite de oliva. XIV Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy, 249-255).
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:246008666>
- Gostin, A. I. (2019). Effects of substituting refined wheat flour with wholemeal and quinoa flour on the technological and sensory characteristics of salt-reduced breads. *LWT*, 114, 108412.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108412>
- Hanna Instruments Bolivia. (s.f.). Determinación de acidez titulable total en harinas, masa y pan.
<https://www.hannabolivia.com/blog/post/518/determinacion-acidez-tituable-total-en-harinas-masa-y-pan>
- Hayman, D., Hoseney, R. C., & Faubion, J. M. (1998). Bread crumb grain development during baking. *Cereal Chemistry*, 75(5), 577-580.
<https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.5.577>
- Hasenay, D., Komlenić, D. K., Ugarčić-Hardi, Ž., Slačanac, V., & Jukić, M. (2006). Influence of acidification type on pH values and total titratable acidity of bread dough during fermentation.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:91686326>
- Jamanca-Gonzales, N. C., Ocrospoma-Dueñas, R. W., Quintana-Salazar, N. B., Siche, R., & Silva-Paz, R. J. (2022). Influencia de los prefermentos en la calidad fisicoquímica y sensorial del pan dulce tradicional. *Foods*, 11, 2566.
<https://doi.org/10.3390/foods11172566>
- Katina, K. (2005). Sourdough: A tool for the improved flavour, texture and shelf-life of wheat bread (Doctoral dissertation, Helsingin yliopisto).
https://www.researchgate.net/publication/287322641_Sourdough_A_tool_for_the_improved_flavour_texture_and_shelf-life_of_wheat_bread
- Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., & Hernández-Ledesma, B. (2020). Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food and Chemical Toxicology*, 137, 111178.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111178>

- Meiselman, H. L., Jaeger, S. R., Carr, B. T., & Churchill, A. (2022). Approaching 100 years of sensory and consumer science: Developments and ongoing issues. *Food Quality and Preference*, 100, 104614. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104614>
- Metrohm AG. (s.f.). Valor de pH y TTA en harina, masa y pan: Determinación del valor del pH y de la acidez titulable total según AOAC 943.02, 981.12 y AACC 02-31.01 (Nota de aplicación AN-T-219). https://www.metrohm.com/es_es/applications/application-notes/aa-t-001-100/an-t-219.html
- Montgomery, D. C. (2012). Design and analysis of experiments (8ª ed.). John Wiley & Sons. <https://www.researchgate.net/profile/Farshad-Fattahi/post/Need-the-procedure-for-critical-limit-fixation/attachment/59d6459179197b80779a0aa7/AS%3A453901993418752%401485230076186/download/Douglas-C.-Montgomery-Design-and-Analysis-of-Experiments-Wiley-2012.pdf>
- Molino Andino S.A. (2025). Composición nutricional de la harina (Etiqueta del producto del lote utilizado).
- Norma Boliviana. (2009). NB 39006:2009. Harina y derivados – pastas alimenticias o fideos – biscochos – galletas y panes - determinación de la acidez titulable (pp. 1-3). Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).
- Norma Boliviana. (2010). NB/ISO 712:2010. Cereales y derivados – determinación del contenido de humedad – Método de referencia (pp. 1-7). Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).
- Norma Boliviana. (2004). NB/ISO 8586-1:2004. Análisis sensorial: Guía general para la selección, entrenamiento y seguimiento de los evaluadores – Parte 1: Evaluadores seleccionados (pp. 3–20). Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).
- Norma Boliviana. (2006). NB/ISO 11056:2006. Análisis sensorial: Metodología - Método de estimación de la magnitud. Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).
- Norma Boliviana. (2007). NB/ISO 6658:2007. Análisis sensorial: Metodología general. (pp. 3–6). Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).
- Norma Boliviana. (2008). NB/NA 0011:2008. Azúcar refinado –Requisitos. (pp. 1-4). Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).
- Norma Boliviana. (2013). NB/NM 324:2013. Buenas prácticas de manufactura -Requisitos. (pp. 3-16). Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).
- Norma Boliviana. (2016). NB 680:2016. Harina y derivados. (pp. 3-5). Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).
- Norma Boliviana. (2016). NB 512:2016. Agua potable – Requisitos. (pp. 13-16). Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).
- NB 39007 (2012). Harina y derivados – Productos panificados – Requisitos.
- Norma Venezolana (COVENIN 1315:2021) - Alimentos. determinación del pH (acidez iónica). (pp. 1-8).
- Ochoa, R. (2016). *Diseños experimentales* (2ª ed.). Bolivia.
- Ortolan, F., & Steel, C. J. (2017). Protein characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 369–381. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12259>
- Paucar-Menacho, L., Salvador-Reyes, R., Castillo-Martínez, W., Símpalo-López, W., Verona-Ruiz, A., Lavado-Cruz, A., Quezada-Berrú, S., & López-Rodríguez, W. (2022). Use of Andean pseudocereals in beer production. *Scientia Agropecuaria*. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.036>
- PDM Viacha. (2016). Plan de Desarrollo Municipal de Viacha. <http://autonomias.gobernacionlapaz.com/sim/municipio/pdm/viacha2012-2016.pdf>
- Pop, M. D. (2023). Sensory evaluation techniques of food. *Annals of "Valahia" University of Târgoviște. Agriculture*, 15(2), 58–62. <https://doi.org/10.2478/agr-2023-0019>
- Poutanen, K., Flander, L., & Katina, K. (2009). Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food Microbiology*, 26(7), 693–699. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2009.07.011>
- Rodríguez, J. P., Jacobsen, S.-E. E., Andreassen, C., & Sørensen, M. (2020). Cañahua (*Chenopodium pallidicaule*): Un nuevo cultivo prometedor para zonas áridas. En A. Hirich, R. Choukr-Allah, & R. Ragab (Eds.), *Investigaciones emergentes en cultivos alternativos* (pp. 221–243). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30189-4_12
- Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación. México: McGraw Hill Education. Metodología de la Investigación -sampieri- 6ta EDICION.pdf - Google Drive
- Salovaara, H., & Valjakka, T. (1987). Efecto de la temperatura de fermentación, el tipo de harina y el fermento en las propiedades del pan de trigo agrio. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 22(6), 591–597. <https://academic.oup.com/ijfst/article/22/6/591/7867095>
- The Food Tech. (2023). Fermentación en panificación. <https://thefoodtech.com/wp-content/uploads/2023/09/14-E-Book-Fermentacion-en-panificacion.pdf>

- Tyl, C. (2024). pH and titratable acidity. En B. P. Ismail & S. S. Nielsen (Eds.), *Nielsen's Food Analysis*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50643-7_22
- Tyl, C., & Sadler, G. D. (2017). pH y acidez titulable. En S. S. Nielsen (Ed.), *Análisis de alimentos* (389–406). Serie de textos de ciencia de los alimentos. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_22
- Valcarcel-Yamani, B., & Caetano, S. (2013). Quality parameters of some Brazilian panettones. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49, 511–519. <https://www.researchgate.net/publication/262743867>
- Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24(2), 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.004>
- Zanqui, A. B., Bastiani, D., Souza, A. H. P., Marques, D. R., Gohara, A. K., Matsushita, M., & Monteiro, A. R. G. (2014). Elaboração de minipanetone contendo ômega-3 por substituição parcial de farinha de trigo por farinha de linhaça dourada (*Linum usitatissimum* L.). *Revista Virtual de Química*, 6(4), 968–976.
- Zegarra, S., Muñoz, A., & 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>