UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TESIS:

Elaboración y caracterización tecno-funcional, nutricional y sensorial de un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (*Musa paradisiaca* L.), yuca (*Manihot esculenta*) y maíz morado *(Zea mays* L.)

Para optar el título profesional de:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR:

Bach. Janet Lisbet GOMEZ MISARES

Bach. Cinthia Renata LUDEÑA PAÑAO

ASESOR:

Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A Dios, por habernos dado salud, fuerza, sabiduría y sobre todo por guiarnos cada paso de este camino, guiándonos y dándonos fortaleza para seguir adelante y alcanzar nuestras metas.

A mis amados padres, Aurelio y Felicitas, este trabajo es evidencia de que su amor se volvió conocimiento, su sacrificio esperanza, y su fe, la fuerza que me sostiene. Que cada página sea un reflejo de su legado y cada palabra, un agradecimiento eterno.
A mis hermanos Frank, Brahyam, Maicol, que fueron mi primer laboratorio de convivencia, donde aprendí que las diferencias no dividen, sino que enriquecen y a Pipipo, que me recordó que incluso en medio de páginas interminables y noches de desvelo, el amor es la nota al pie que da sentido a todo el texto.

Renata Ludeña

A mis amados padres, Julio y Felicitas, por su amor infinito, sus sacrificios y por ser mi fortaleza e inspiración para nunca rendirme. A mis queridos hermanos y hermanas, por su cariño y apoyo incondicional a lo largo de este camino, a mi mejor amiga, por motivarme a seguir adelante y no rendirme ante las dificultades y a mi confidente J, que me apoyo en los días difíciles y mi alegría en los momentos felices.

Lisbet Gomez

AGRADECIMIENTO

A nuestra alma mater, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por acogernos en sus aulas, por facilitarnos el uso de sus instalaciones y equipos para la ejecución de las pruebas experimentales y análisis tecnológicos, por brindarnos las herramientas académicas y tecnológicas necesarias para nuestro desarrollo como ingenieras.

A nuestro asesor de tesis, Mg. Fredy Rober Pariona Escalante, por su orientación técnica, su tiempo y la rigurosidad científica compartida durante la ejecución y desarrollo de esta investigación.

A la plana docente de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial, por su constante guía, exigencia, aporte intelectual y fomentar en nosotras el espíritu investigador y la pasión por la innovación alimentaria y no alimentaria.

A nuestros amigos; Yerica, Mariela Y Josser, con quienes compartimos jornadas de estudio y experimentación, gracias por acompañarnos, creer y ser parte de este sueño hecho realidad; cada uno ocupa un lugar especial en nuestro corazón y en este logro que hoy compartimos con inmensa gratitud y felicidad.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tuvo como propósito fundamental elaborar un pan molde enriquecido con harina de plátano *(Musa paradisiaca* L.), harina de yuca (*Manihot esculenta*) y harina de maíz morado (*Zea mays* L.), evaluando su propiedades tecno-funcionales, nutricionales y sensoriales. Las materias primas fueron seleccionadas por su valor agregado: el plátano, rico en almidón resistente y fibra dietaría; la yuca, fuente de carbohidratos y modulador de textura; y el maíz morado, reconocido por su aporte de antocianinas y propiedades antioxidantes.

Se aplicó un diseño de mezclas con 9 tratamientos, cada uno con una repetición, para analizar el efecto de las proporciones de las harinas sobre las características del producto. La calidad integral de las formulaciones se evaluó considerando atributos sensoriales (olor, sabor, color y textura), propiedades fisicoquímicas (humedad, y volumen específico) y calidad nutricional (proteína, fibra dietaría, hierro y antocianinas).

El estudio fue de tipo aplicativo y experimental, con un método explicativo y un diseño estadístico basado en el procesamiento y análisis de datos. Los resultados confirmaron que el sabor y la textura fueron significativamente influenciados por las proporciones de las harinas, mientras que el olor y el color no mostraron efectos estadísticamente relevantes. En el plano nutricional, se evidenció un incremento en proteína, fibra y antocianinas, validando la hipótesis de que incorporación de las harinas enriquecidas mejoran el perfil funcional del producto.

La optimización obtenida determinó como formulación óptima una mezcla de 73.74% trigo, 6.26% plátano, 15% yuca y 5% maíz morado), con un nivel de deseabilidad de 0.5085. El resultado representa una solución de compromiso entre las características sensoriales, se demostró que la alteración en las proporciones de las harinas enriquecidas impacta de manera conjunta la matriz tecno-funcional y sensorial del producto. Este resultado refleja un punto de equilibrio multirrespuesta: incrementa el valor nutricional del alimento preservando el volumen, la textura y la palatabilidad exigida por el consumidor, lo que respalda su factibilidad comercial como un producto funcional de alta calidad

ABSTRACT

The primary objective of this thesis was to develop a pan bread enriched with plantain flour (*Musa paradisiaca* L.), cassava flour (*Manihot esculenta*), and purple corn flour (*Zea mays* L.), while evaluating its techno-functional, nutritional, and sensory properties. The raw materials were selected for their added value: plantain, rich in resistant starch and dietary fiber; cassava, a source of carbohydrates and a texture modifier; and purple corn, recognized for its anthocyanin content and antioxidant properties.

A mixture design with nine treatments, each replicated once, was used to analyze the effect of the flour proportions on the product characteristics. The overall quality of the formulations was evaluated considering sensory attributes (odor, flavor, color, and texture), physicochemical properties (moisture and specific volume), and nutritional quality (protein, dietary fiber, iron, and anthocyanins).

The study was applied and experimental, employing an explanatory method and a statistical design based on data processing and analysis. The results confirmed that flavor and texture were significantly influenced by the flour proportions, while odor and color showed no statistically relevant effects. From a nutritional standpoint, an increase in protein, fiber, and anthocyanins was observed, validating the hypothesis that enriched flours improve the product's functional profile.

The optimization process identified an ideal formulation consisting of a blend of 73.74% wheat, 6.26% plantain, 15% cassava, and 5% purple corn, with a desirability score of 0.5085. This result represents a balanced compromise among sensory characteristics, demonstrating that altering the proportions of the enriched flours simultaneously impacts the product's techno-functional and sensory matrix. It reflects a multi-response equilibrium: the formulation enhances the food's nutritional value while maintaining the volume, texture, and palatability demanded by consumers, thereby supporting its commercial viability as a high-quality functional product.

ÍNDICE

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTO iii

RESUMEN iv

ABSTRACT v

CAPITULO I. 1

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO II. 4

MARCO TEÓRICO 4

2.1. Antecedentes 4

2.1.1. A nivel internacional 4

2.1.2. A nivel nacional 5

2.2. El plátano *(Musa paradisiaca* L.*)* 7

2.2.1. Valor nutricional del plátano 8

2.2.2. Harina de plátano 9

2.2.3. Yuca (*Manihot esculenta*) 9

2.2.4. Composición química de la yuca 10

2.2.5. Maíz morado *(Zea mays* L.*)* 10

2.2.6. Valor nutricional del maíz morado 11

2.2.7. Harina de maíz morado 11

2.2.8. Composición Nutricional 11

2.3. Pan 12

2.3.1. Tipos de pan 12

2.3.2. Sistemas de elaboración de pan 14

2.3.3. Fermentación en la elaboración del pan 14

2.3.4. Pan de molde 15

2.4. Trigo (*Triticum aestivum*) 16

2.4.1. Propiedades y usos 16

2.4.2. Harina de trigo 16
2.4.3. Composición de la harina de trigo 17
2.5. Diseños de experimentos con mezclas 18
2.5.1. Diseños de vértices extremos 19
2.5.2. Diseño óptimo 20
2.6. Evaluación sensorial 22
2.6.1. Pruebas hedónicas 23
2.7. Calidad fisicoquímica 24
2.7.1. Proteína 24
2.7.2. Potencial de Hidrogeno (pH) 25
2.7.3. Fibra 25
2.7.4. Contenido de Humedad 25
2.8. Calidad nutricional y micronutrientes 25
2.8.1. Calcio 25
2.8.2. Hierro 26
2.8.3. Absorción del hierro 27
2.8.4. Biodisponibilidad del hierro 28
CAPITULO III. 29
MATERIALES Y MÉTODOS 29
3.1. Ubicación y Espacio Experimental 29
3.1.1. Diseño metodológico 29
3.1.2. Tipo de investigación 29
3.1.3. Nivel de investigación 29
3.2. Variables e indicadores 29
3.2.1. Variables Independientes: 29
3.2.2. Variables Dependientes: 30
3.3. Materiales, equipos y reactivos 30
3.3.1. Materiales 30

3.3.2. Equipos 31
3.4. Diseño metodológico 32
3.4.1. Tipo de investigación 32
3.4.2. Nivel de investigación 32
3.4.3. Diseño de la investigación 33
3.4.4. Población y muestra 48
3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 48
CAPITULO IV 50
RESULTADOS Y DISCUSION 50
CONCLUSIONES 80
RECOMENDACIONES 81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 82
ANEXOS…… 89

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Valores del análisis proximal del plátano variable bellaco en g/100g* 8

Tabla 2. *Composición de la mandioca cruda por cada 100*g 10

Tabla 3. *Valores proximales del maíz morado en 100 g* 11

Tabla 4. *Composición de harina de maíz morado* 12

Tabla 5. *Tipos de pan común* 13

Tabla 6. *Tipos de pan especial*……13

Tabla 7. *Minerales de harina de trigo en muestra de 100 gramos* 17

Tabla 8. *Composición proximal de harina de trigo en 100 gramos* 18

Tabla 9. *Escala de evaluación sensorial* 24

Tabla 10. *Variables, Dimensiones e Indicadores* 31

Tabla 11. *Diseño experimental* 35

Tabla 12. *Rango de proporciones de harinas a utilizarse en el diseño de vértices extremos.* ……..……..36

Tabla 13. *Formulaciones experimentales del pan de molde con diferentes tipos de harina bajo un diseño de vértices extremos* 36

Tabla 14. *Formulación base del pan de molde*. 45

Tabla 15. *Comportamiento tecnológico del pan molde enriquecido (volumen y textura estructural) en función de diferentes niveles de harina de plátano, yuca y maíz morado*……. 50

Tabla 16. *Análisis de varianza para Volumen (proporciones del componente)* 53

Tabla 17. *Resumen del modelo* 53

Tabla 18. *Coeficientes de regresión estimados para Volumen (cantidades del componente)* 54

Tabla 19. *Análisis de varianza para Humedad (proporciones del componente)* 55

Tabla 20. *Resumen del modelo* 55

Tabla 21. *Coeficientes de regresión estimados para Humedad (cantidades del componente)* 55

Tabla 22. *Análisis de la Textura de pan de molde* 57

Tabla 23. *Análisis de varianza ANOVA de la Textura* 58
Tabla 24. *Componentes codificados de la mezcla en la textura* 59
Tabla 25. *Análisis del Olor del pan de molde* 62
Tabla 26. *Análisis de varianza ANOVA del Olor* 62
Tabla 27. *Componentes codificados de la mezcla en el Olor* 63
Tabla 28. *Análisis del Sabor del pan de molde* 66
Tabla 29. *Análisis de varianza ANOVA del Sabor* 67
Tabla 30. *Componentes codificados de la mezcla en el Sabo*r 68
Tabla 31. *Análisis del Color del pan de molde* 70
Tabla 32. *Análisis de varianza ANOVA del Colo*r 71
Tabla 33. *Componentes codificados de la mezcla en el color* 72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espacio de los factores restringidos para mezclas con q=3 componentes……19

Figura 2. Diseños de vértices extremos 20

Figura 3. Regiones experimentales con restricciones en q = 3 componentes.....21

Figura 4. Representación de los sentidos humanos involucrados en la percepción sensorial de los alimentos…….23

Figura 5. Distribución del hierro en el organismo.....27

Figura 6. Esquema del ciclo del hierro en el hombre.....28

Figura 7. Diagrama de flujo de la obtención de harina de plátano de la variedad ordinario……...40

Figura 8. Diagrama de flujo de la obtención de harina de yuca 42

Figura 9. Diagrama de flujo de la obtención de harina de maiz morado ……44

Figura 10. Esquema del análisis de muestreo de la Elaboración y caracterización tecno-funcional, nutricional y sensorial de un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (Musa paradisiaca L.), yuca (Manihot esculenta) y maíz morado (Zea mays L.)…….....47

Figura 11. Características morfológicas de la miga.....53

Figura 12. Contorno de volumen Y humedad 56

Figura 13. Contornos para Textura 61

Figura 14. Contornos para el Olor.....65

Figura 15. Contornos para el Sabor. 69

Figura 16. Contornos para el Color 73

Figura 17. Gráfico de contornos del efecto (izquierda) y superficie respuesta (derecha) ……..……..74

Figura 18. Gráfico de optimización de la variable.....77

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN

El pan es uno de los alimentos de mayor consumo y arraigo cultural en el mundo, constituyendo un componente esencial de la dieta de numerosas poblaciones. En el Perú, el consumo per cápita de pan se estima en aproximadamente 40 kg anuales (ASPAN, citado en Agencia Peruana de Noticias Andina, 2024), siendo el pan de molde uno de los segmentos con mayor dinámica de crecimiento, impulsado por consumidores que demandan productos convenientes y, de manera creciente, con mejores perfiles nutricionales (PUCP, 2023). Sin embargo, el pan de molde convencional, elaborado predominantemente con harina de trigo refinada, presenta limitaciones significativas en cuanto a su aporte de fibra dietética, compuestos bioactivos y micronutrientes esenciales, lo cual representa una oportunidad para el desarrollo de nuevas formulaciones con valor funcional diferenciado.

En este contexto, la creciente incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles asociadas a patrones alimentarios deficientes —tales como la obesidad, la diabetes tipo 2 y las enfermedades cardiovasculares— ha generado una demanda global por alimentos funcionales que combinen atributos nutricionales superiores con alta aceptabilidad sensorial. La industria de panificación enfrenta, por tanto, el reto de diversificar sus formulaciones incorporando ingredientes de alto valor biológico. La sustitución parcial de harina de trigo por harinas compuestas obtenidas de cultivos locales constituye una estrategia tecnológicamente viable y nutricionalmente prometedora para responder a esta demanda, al mismo tiempo que impulsa el aprovechamiento de recursos agrícolas propios del Perú.

En este marco, el plátano (*Musa paradisiaca* L.), la yuca (*Manihot esculenta*) y el maíz morado (*Zea mays* L.) emergen como recursos agroindustriales de alto potencial para enriquecer formulaciones de pan de molde. Estos tres cultivos presentan amplia disponibilidad en el territorio peruano, contribuyen significativamente a la economía de agricultores locales y poseen perfiles nutricionales y funcionales complementarios entre sí, que los convierten en candidatos idóneos para su incorporación como harinas compuestas en productos de panificación.

La harina de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) destaca por su elevado contenido de almidón resistente y fibra dietética, los cuales promueven la salud gastrointestinal y contribuyen a la modulación de la glucemia postprandial. Asimismo, contiene

compuestos polifenólicos —entre ellos el ácido ferúlico, la rutina y la epicatequina— con reconocida actividad antioxidante y efectos favorables sobre la salud metabólica y cardiovascular (Kusano, F., 2023). Su incorporación en matrices de panificación ha demostrado mejorar el perfil funcional del producto sin comprometer significativamente las propiedades tecnológicas, siendo viable su sustitución parcial de hasta un 10% de harina de trigo manteniendo alta aceptabilidad sensorial (Culqui, 2022; Olatidoye y Sobowale, 2021).

La harina de yuca (*Manihot esculenta*) es una fuente relevante de carbohidratos de fácil digestión y vitamina C, ampliamente reconocida como moduladora de la textura en formulaciones de panificación con sustitución parcial del trigo, aportando buenas propiedades de expansión durante el horneado (Milde et al., 2021; Aprodu et al., 2022). La harina de maíz morado (*Zea mays* L.), por su parte, aporta antocianinas —especialmente cianidina-3-glucósido— con potente actividad antioxidante, propiedades antiinflamatorias y capacidad para mejorar la circulación sanguínea y proteger la salud cardiovascular (Rabanal, R. & Medina, A., 2021; López-Martínez et al., 2021). La combinación sinérgica de estas tres harinas con la harina de trigo abre una oportunidad concreta para desarrollar un pan de molde con valor funcional diferenciado y con potencial de inserción en el mercado de alimentos saludables.

A pesar del potencial demostrado de cada uno de estos ingredientes de manera individual, la literatura científica evidencia un vacío en cuanto al estudio integral de su combinación simultánea en pan de molde, considerando de manera conjunta sus propiedades tecno-funcionales, nutricionales y sensoriales mediante un enfoque sistemático de diseño de mezclas. La presente investigación busca llenar ese vacío, aportando evidencia científica sobre el comportamiento de estas harinas compuestas y su impacto en la calidad integral del producto final, contribuyendo al desarrollo de alimentos funcionales elaborados a partir de recursos locales con identidad peruana.

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo principal elaborar y caracterizar tecno-funcionalmente, nutricional y sensorialmente un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (*Musa paradisiaca* L.), yuca (*Manihot esculenta*) y maíz morado (*Zea mays* L.), determinando la formulación óptima que maximice su calidad integral. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la proporción adecuada de harina de trigo, harina plátano, harina yuca y harina maíz morado en la formulación del pan molde enriquecido.

- Evaluar las propiedades tecno-funcionales del pan molde enriquecido (Humedad, volumen especifico y estructura de la miga).
- Analizar el contenido nutricional del pan molde elaborado, en términos de fibra dietética, proteínas, hierro y antocianina.
- Evaluar la aceptabilidad sensorial del pan molde enriquecido mediante pruebas hedónicas.

CAPITULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

Ndife et al. (2011), evaluaron la calidad tecnológica, nutricional y sensorial de un pan de molde leudado mediante la sustitución parcial de harina de trigo por harina de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.). Formularon panes leudados por fermentación biológica con levadura comercial (*Saccharomyces cerevisiae*), sustituyendo la harina de trigo en proporciones del 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. Los autores demostraron que la incorporación de harina de plátano verde hasta un 10% mantuvo un volumen específico adecuado (3.40 cm^3/g) e incrementó significativamente el contenido de fibra dietética, demostrando la viabilidad de elaborar un pan leudado funcional con alta aceptabilidad sensorial.

López-Martínez et al. (2021), llevaron a cabo el siguiente estudio (artículo científico) como ingrediente potencial para la panificación funcional: una revisión sistemática). Objetivo general del estudio: Revisar y sintetizar la evidencia científica disponible sobre el uso de harina de maíz morado como ingrediente funcional en la elaboración de pan, enfocándose en su impacto sobre las propiedades antioxidantes, fisicoquímicas y sensoriales. Metodología empleada: Se realizó una revisión sistemática de artículos científicos publicados en bases de datos como Scopus, Web of Science y PubMed. Se analizaron estudios que incorporaron maíz morado en formulaciones de pan y midieron la retención de antocianinas, la capacidad antioxidante, los cambios en la textura y el color, y la aceptación del consumidor. Resultados: La evidencia demostró consistentemente que la adición de harina de maíz morado incrementa significativamente el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante del pan. El proceso de horneado causa una degradación parcial de las antocianinas, pero una cantidad considerable se retiene en el producto final. Sensorialmente, el pan adquiere un color morado característico que es generalmente bien aceptado, aunque altas concentraciones pueden afectar negativamente la textura y el sabor. Conclusiones: Se concluye que la harina de maíz morado es un ingrediente altamente prometedor para desarrollar panes funcionales con un elevado valor agregado debido a sus beneficios para la salud. Se recomienda optimizar la formulación para equilibrar el aporte de antioxidantes con las propiedades tecno-funcionales y la aceptabilidad sensorial.

Eke-Ejiofor et al. (2022), investigaron el efecto de sustituir harina de trigo por harina de yuca de alta calidad (*Manihot esculenta*) en proporciones del 0%, 10%, 15%, 20% y 25% para la producción de pan de molde fermentado. Aplicaron una metodología cuantitativa midiendo la capacidad de absorción de agua de la masa, el porcentaje de humedad retenida tras el horneado a 180 °C, la firmeza de la miga mediante texturómetro y la estabilidad microbiológica durante 7 días de almacenamiento. Los resultados demostraron que la incorporación de harina de yuca incrementó la retención de agua libre debido a la alta capacidad de gelatinización de la amilopectina, lo que desaceleró el proceso de retrogradación del almidón y el endurecimiento de la miga. Los autores evidenciaron que la sustitución de hasta un 15% de harina de trigo por yuca permite elaborar un pan de molde leudado con excelente suavidad, mayor vida útil y un volumen específico aceptable, siendo una alternativa tecnológica eficiente para reducir la dependencia de la harina de trigo refinada.

2.1.2. A nivel nacional

Culqui (2022), realizó el siguiente estudio "Sustitución parcial de harina de trigo por harina de plátano verde (*Musa paradisiaca*) en la elaboración de pan de yema y su influencia en las características fisicoquímicas y sensoriales". Objetivo general del estudio: Determinar la influencia de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de plátano verde en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan de yema. Metodología empleada: Se elaboraron panes de yema con diferentes niveles de sustitución de harina de plátano verde (5%, 10%, 15% y 20%). Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA). Se evaluaron parámetros fisicoquímicos como humedad, proteína y fibra en el pan. El análisis sensorial se realizó con 30 panelistas no entrenados, quienes evaluaron atributos como color, olor, sabor y textura a través de una escala hedónica. Resultados: El análisis fisicoquímico reveló que, a mayor porcentaje de sustitución con harina de plátano, aumentaba el contenido de fibra y disminuía el de proteína. Sensorialmente, el tratamiento con un 10% de sustitución obtuvo la mayor aceptación general, logrando un buen balance entre las características del pan tradicional y el aporte de la harina de plátano, sin presentar sabores extraños significativos. Conclusiones: Se concluyó que es factible sustituir hasta un 10% de la harina de trigo por harina de plátano verde en la elaboración de pan de yema para obtener un producto con mayor contenido de fibra y con alta aceptabilidad sensorial, validando el potencial de esta materia prima en la panificación local.

Azañero y Díaz (2021), desarrollaron la siguiente investigación (artículo científico) "Capacidad antioxidante y aceptabilidad sensorial de un pan de molde elaborado con

harina de trigo (*Triticum aestivum*) y maíz morado (*Zea mays L*.)". Objetivo general del estudio: Evaluar la capacidad antioxidante y la aceptabilidad sensorial de panes de molde elaborados con diferentes porcentajes de harina de maíz morado. Metodología empleada: Se formularon panes sustituyendo la harina de trigo por harina de maíz morado en niveles del 10%, 20% y 30%. Se determinó el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante (mediante los métodos DPPH y ABTS) en las harinas y en el producto final. La aceptabilidad sensorial se midió con un panel de 50 consumidores, utilizando una escala hedónica de 5 puntos. Resultados: Los resultados demostraron que el contenido de fenoles y la capacidad antioxidante del pan se incrementaron de manera directamente proporcional al porcentaje de sustitución de harina de maíz morado. El pan con 30% de harina de maíz morado presentó la mayor actividad antioxidante. En la evaluación sensorial, la fórmula con 20% de sustitución alcanzó el mayor puntaje de aceptabilidad general. Conclusiones: La adición de harina de maíz morado es una estrategia efectiva para desarrollar un pan de molde funcional con elevada capacidad antioxidante. Se determinó que una sustitución del 20% representa el nivel óptimo para equilibrar el aporte funcional con una máxima aceptación por parte de los consumidores.

Ríos y Huamán (2022), desarrollaron en su investigación titulada "Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de maíz morado (*Zea mays* L.) en las características fisicoquímicas, capacidad antioxidante y aceptabilidad de un pan de molde", realizada en la Universidad Nacional del Centro del Perú, evaluaron niveles de sustitución de 5%, 10%, 15% y 20% en un proceso de panificación leudado por fermentación en cámara. Evaluaron la densidad de miga, la humedad, el contenido de antocianinas monoméricas por el método de pH diferencial, la capacidad antioxidante por la captura de radicales DPPH y la aceptabilidad sensorial mediante un panel de 50 consumidores. Los análisis estadísticos (ANOVA $p < 0.05$) evidenciaron un incremento lineal significativo en el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante a medida que aumentó la proporción de harina de maíz morado. Los autores determinaron que la sustitución al 10% representó la formulación óptima, logrando retener un perfil antioxidante relevante en la miga horneada sin alterar drásticamente la porosidad alveolar ni la elasticidad característica del pan de molde.

Rojas (2020), realizó la siguiente investigación (tesis de posgrado) "Formulación de un pan tipo molde con harinas extruidas de tarwi (*Lupinus mutabilis*), kiwicha (*Amaranthus caudatus*) y yuca (*Manihot esculenta*) y su evaluación nutricional y sensorial". Objetivo general del estudio: Formular y evaluar nutricional y sensorialmente un pan de molde

utilizando una mezcla de harinas extruidas de tarwi, kiwicha y yuca. Metodología empleada: Se utilizó un diseño de mezclas para optimizar las proporciones de las tres harinas. Se realizó una caracterización fisicoquímica de la mezcla óptima y del pan elaborado (proteína, grasa, fibra, carbohidratos y valor calórico). Se evaluó el volumen, la textura y la vida útil del producto. La aceptabilidad sensorial se determinó con un panel de 60 consumidores. Resultados: Se obtuvo una formulación optimizada que resultó en un pan con un contenido de proteína significativamente mayor (debido al tarwi y la kiwicha) en comparación con un pan de trigo comercial. La harina de yuca aportó características de suavidad y humedad a la miga. El producto final alcanzó un alto nivel de aceptación general, superior al 80%. Conclusiones: La investigación demostró la viabilidad técnica de combinar harinas andinas proteicas con harinas de raíces tropicales como la yuca para desarrollar productos de panificación sin gluten, con un perfil nutricional superior y con alta aceptación sensorial, abriendo una oportunidad para la innovación con productos nativos.

Sánchez y Arévalo (2022), publicaron el siguiente artículo científico "Propiedades fisicoquímicas y sensoriales de panes enriquecidos con mesocarpio de Mauritia flexuosa (aguaje)". Objetivo general del estudio: Evaluar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de panes enriquecidos con diferentes niveles de harina de mesocarpio de aguaje. Metodología empleada: Se elaboraron panes sustituyendo parcialmente la harina de trigo por harina de aguaje (5%, 10%, 15%). Se determinó la composición proximal, el contenido de vitamina A (retinol), el color y el volumen específico de los panes. La evaluación sensorial se llevó a cabo con 80 consumidores para medir el nivel de agrado. Resultados: La adición de harina de aguaje incrementó notablemente el contenido de grasa y de precursores de vitamina A en el pan. Sin embargo, afectó negativamente el volumen y la elasticidad de la miga a concentraciones superiores al 10%. El pan con 5% de harina de aguaje fue el que presentó la mejor combinación de enriquecimiento nutricional y aceptación sensorial. Conclusiones: Se concluye que es posible enriquecer funcionalmente productos de panificación con insumos amazónicos como el aguaje, aunque el porcentaje de adición debe ser cuidadosamente controlado para no deteriorar las propiedades tecno-funcionales y sensoriales que el consumidor espera.

2.2. El plátano *(Musa paradisiaca* L.*)*

El plátano (*Musa paradisiaca* L.) se define como una musácea que es originaria de las regiones tropicales del sur de Asia, se encuentra entre los cultivos comunes de países que tienen un clima tropical por lo que se distribuye por más de cien países con este

clima. También es considerado uno de los cultivos de mayor importancia a nivel mundial después del trigo, el arroz y el maíz. (Montoya, 2020; citado en Quintanilla, 2022).

2.2.1. Valor nutricional del plátano

El plátano es fuente de vitaminas A, B2, B6, B12, C y minerales tales como el calcio, potasio y manganeso, así como carbohidratos, proteínas y grasas. Por su alto contenido en taninos, fibra vegetal, favorece el sistema digestivo y es empleado en usos medicinales para disminuir problemas gastrointestinales. Es un aportante significativo de potasio, fosfato y magnesio, siendo fuente potencial de energía al organismo a través de caloría. (Vallejo, 2012, citado en (Sicchar, 2022)Procesos de elaboración de chifles de plátano y yuca, [para optar el título profesional de ingeniero en industrias alimentarias

Tabla 1.

Valores del análisis proximal del plátano variable bellaco en g/100g

Característica	Cantidad
Energía	120kcal
Agua	65,9g
Proteína	1,4 g
Grasa total	0,2g
Carbohidratos totales	31.7g
Cenizas	0,8g
Fibra cruda	0,4g
Fibra dietaría	2,6g
Carbohidratos disponibles	29,1g
Calcio	10mg
Fosforo	23mg
Zinc	0,15mg
Hierro	0,6mg
Vitamina A	3ug
Vitamina B1(Tiamina)	0,02ug
Vitamina B2 (riboflavina)	0,08ug
Niacina	0,53ug
Vitamina C	1,1ug

Nota. Del Rosario, (2018), citado en (Sicchar, 2022).

2.2.2. Harina de plátano

Se entiende por harina al producto particulado obtenido por reducción mecánica de tamaño de insumos agrícolas con alto contenido de carbohidratos complejos. Aunque la terminología se aplica por defecto a la harina de trigo, esta categoría incluye igualmente los harinados derivados de cereales alternativos (maíz, arroz, cebada), leguminosas y raíces o tallos amiláceos, caracterizándose todos ellos por tener al almidón como constituyente macromolecular común (Quintanilla, 2022).

La harina de plátano es un producto alimenticio que se obtiene a partir del plátano verde (previamente al estado de maduración), tiene como característica importante que es un alimento libre de gluten y su almidón es resistente. En general la harina de plátano una vez es procesada, tiene como composición alta en hidratos de carbono y sales minerales como el potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, fósforo y flúor, así mismo contiene vitaminas como retinol o vitamina A, folatos o vitaminas del grupo B y vitamina C.

2.2.3. Yuca (*Manihot esculenta*)

La yuca (*Manihot esculenta*) es una especie botánica autóctona del continente americano cuya producción se ha extendido ampliamente en las regiones tropicales. Se posiciona como un cultivo básico e indispensable para la seguridad alimentaria, particularmente en poblaciones con brechas nutricionales. Como cultivo perenne, destaca por su elevado rendimiento en raíces tuberosas ricas en almidón (carbohidratos complejos) y la generación de biomasa foliar apta para la extracción de harinas de alto valor proteico. Una de sus principales ventajas agroindustriales radica en el aprovechamiento integral de la planta: el tallo o estacón para la propagación vegetativa, el follaje para harinas proteicas y la raíz tuberosa para el consumo directo, el procesamiento agroindustrial o la exportación (INIA, 2014).

2.2.4. Composición química de la yuca

Tabla 2.

Composición de la mandioca cruda por cada 100g

Característica	Yuca cruda
Agua	59,6g
Calorías	168 kcal
Grasa	0,28g
Proteína	1,26 g
Hidratos de carbono	38,05g
Fibra	1,8g
Potasio	271mg
Fosforo	27mg
Hiero	0,27mg
Sodio	14mg
Magnesio	21mg
Calcio	16mg
Vitamina C	20,6mg
Vitamina E	0,190mg
Vitamina A	25UI
Vitamina B1(Tiamina)	0,087mg
Vitamina B2 (riboflavina)	0,048mg
Niacina	0,854mg
Folato	27mg

Nota: (Saravia, 2016)

2.2.5. Maíz morado *(Zea mays* L.*)*

El maíz morado (*Zea mays* L.) constituye una variedad de grano amiláceo destacada por la elevada biosíntesis y acumulación de pigmentos antociánicos a lo largo de sus estructuras vegetales. Esta gramínea se distingue por desarrollar mazorcas cuyo marlo o coronta exhibe una intensa coloración morada tanto en el tejido periférico como en la médula interna, así como granos con un pericarpio fuertemente pigmentado. Dicha concentración de antocianinas confiere a esta especie una de las tonalidades púrpuras más acentuadas del reino vegetal, razón por la cual sus extractos han sido empleados tradicionalmente como colorantes naturales en matrices alimentarias. En el Perú, su aprovechamiento destaca en la elaboración de productos tradicionales como la chicha morada y la mazamorra morada. Cabe precisar que la distribución morfológica del pigmento varía según el ecotipo; mientras que las variedades andinas concentran

fitoquímicos tanto en el grano como en la coronta, otros ecotipos (como los procedentes de México) limitan la presencia de antocianinas exclusivamente a la cubierta del grano.

2.2.6. Valor nutricional del maíz morado

La composición química del maíz morado, como carbohidratos, proteínas, lípidos, fibra, vitaminas y minerales, es superior a la de otros cereales, y contiene principalmente zeína, excepto las proteínas de lisina y triptófano. (Burgos, et al., 2015).

Tabla 3.

Valores proximales del maíz morado en 100 g

Característica	Maíz morado
Humedad	11,40 g
Proteína	11,00 g
Carbohidratos	76,20 kcal
Fibra	1,80 g
Cenizas	1,70 g
Grasa	3,40 g
Calcio	12,00 g
Fosforo	328,00g

Nota: Galindo, (2018) como se cito Tinoco, (2024).

2.2.7. Harina de maíz morado

El acondicionamiento del maíz morado (*Zea mays* L.) comprendió primeramente una etapa de sanitización mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio a 25 ppm durante 2 minutos, seguida de una deshidratación térmica en estufa a 120 °C por un lapso de 10 minutos para la inactivación superficial y reducción de humedad. Posteriormente, los granos y las corontas previamente desecados fueron sometidos de forma independiente a un proceso de reducción de tamaño por molienda mecánica hasta la obtención de un cernido o polvo fino. Las harinas derivadas de ambas estructuras morfológicas fueron acopiadas en recipientes herméticos para su posterior dosificación en la formulación de productos de panificación y galletería. (Moreno & Andahua, 2020).

2.2.8. Composición Nutricional

Desde la perspectiva bromatológica, la matriz nutricional del maíz morado (*Zea mays* L.) integra carbohidratos complejos, fracciones proteicas, lípidos, fibra dietética y micronutrientes (vitaminas y minerales). No obstante, su mayor atributo reside en su

elevado contenido de antocianinas, metabolitos secundarios fitoquímicos reconocidos por sus amplios beneficios en la salud y la fisiología humana. (INS, 2017)

Tabla 4.

Composición de harina de maíz morado

Componentes	Cantidad
Calorías	355kcal
Agua	11,4 g
Proteína	7,3 g
Grasa total	3,4 g
Carbohidratos	76,2 g
Ceniza	1,7 g

Nota: (INS, 2017).

2.3. Pan

La normativa técnica nacional define al pan como la matriz alimentaria resultante del procesamiento térmico de una masa formulada con harina de trigo (o mezclas con harinas no convencionales) e hidratada con agua, la cual puede contener opcionalmente cloruro de sodio, grasas comestibles, insumos lácteos, coadyuvantes de panificación y aditivos alimentarios, con o sin etapa previa de leudado biológico (NTP, 2016).

Como pilar fundamental de la industria transformadora del cereal, la panificación evolucionó tecnológicamente tras los aportes de Pasteur con el desarrollo del 'método cero', un protocolo de fermentación orientado a maximizar la producción de levadura comercial sin generación de etanol. Desde el punto de vista nutricional, la matriz básica de trigo refinado aporta un 52% de carbohidratos complejos, 8% de proteínas, 4.5% de lípidos y un 3.2% de fibra (Hernández & Majem, 2009; FEN, 2013, citados por Contreras, 2024).

2.3.1. Tipos de pan

De acuerdo con (Mesas & Alegre, 2002), la formulación base para la obtención de masas leudadas requiere estructuralmente de cuatro ingredientes fundamentales: harina, agua, sal y levadura. Las propiedades organolépticas, la textura de la miga y la arquitectura alveolar del pan final se encuentran directamente condicionadas por el origen botánico o grado de refinamiento de la harina, la naturaleza del agente leudante empleada y los parámetros operacionales del proceso de panificación

a. Pan común

El pan se elabora a partir de la combinación de harina de trigo, que puede ser blanca, semi entera o integral, agua, sal, levadura, azúcar y grasa de uso culinario. Asimismo,

durante su preparación pueden incorporarse aditivos autorizados para mejorar determinadas características del producto (Callejo, 2002)

Tabla 5.

Tipos de pan común

Tipos	Características
Pan bregado	Sometido a un refinado mecánico intensivo mediante el paso repetido por cilindros sobadores. Este tratamiento desgasifica y reordena la red de gluten, dando lugar a una miga densa, compacta, de fina alveolación y consistente.
Pan de flama	Formulado con un elevado índice de hidratación (alto porcentaje de agua) y elaborado sin laminado mecánico en rodillos. Desarrolla una miga alveolar abierta, esponjosa, ligera y de textura suave.

Nota: *Tomado de* (Mesas & Alegre, 2002).

b. Pan especial

El pan especial es un alimento básico de consumo masivo, especialmente en los países en desarrollo, su elaboración se basa en la cocción de una masa preparada principalmente de harina, agua, levadura y sal". la fermentación y el horneado permiten desarrollar una estructura interna porosa, formada por pequeñas cavidades interconectadas y paredes que contienen gluten coagulado y gránulos de almidón. Esta organización estructural determina las características de la miga y su comportamiento mecánico, ya que, al aplicar presión y posteriormente retirarla, la miga puede recuperar parcialmente su forma inicial, lo que refleja su elasticidad. (Arp, Correa, & Ferrero , 2018)

Tabla 6.

tipos de pan especial

Tipos	Características
Pan de Viena	Pan de flama con azúcares y/o leche.
Pan de molde	Pan de corteza que se cocina en moldes.
Pan de cereales	Pan elaborado con harina de trigo y otra harina en una proporción no inferior al 51%.
Pan de huevo, miel, leche y pasas	Panes en los que se adiciona materias primas leche y pasas parecidos al nombre

***Nota*:** tomado de (Mesas & Alegre, 2002)

2.3.2. Sistemas de elaboración de pan

Los sistemas de elaboración del pan se diferencian principalmente por el procedimiento de fermentación y la forma en que se incorpora la levadura durante la preparación de la masa (Codex Alimentarius, 2021) son los siguientes:

a) Directo

Es el menos frecuente y se caracteriza por utilizar exclusivamente levadura comercial. Una vez obtenida la masa, se deja reposar durante un periodo aproximado de 45 minutos antes de proceder a su división. No es útil en procesos mecanizados con división automática de volumen, mezclado es el sistema más habitual a la hora de elaborar pan. Utiliza tanto masa madre (levadura natural) como levadura comercial. Este método se caracteriza por su relativa sencillez y por ser una alternativa práctica en la elaboración de productos de panificación (Callejo, 2002)

b) Mixto

Es el método más habitual "en la elaboración de pan común. Utiliza simultáneamente masa madre (levadura natural) y levadura comercial". Simplemente repose un tiempo de 10 a 20 minutos antes de dividir la masa. Durante el proceso, los ingredientes se integran hasta conseguir una masa homogénea, con elasticidad y consistencia adecuadas para las operaciones posteriores. (Callejo, 2002), indica que, en este método, todos los ingredientes se mezclan hasta formar una masa y se combinan en una sola fase. El objetivo del amasado es conseguir una masa suave y con una elasticidad óptima. Deje reposar la masa de 2 a 4 horas, haciendo agujeros de vez en cuando.

c) Esponja o poolish:

Es el sistema universalmente empleado en la elaboración de pan francés y sobre todo en la de pan de molde. Consiste en elaborar una masa líquida (esponja) con el 30 – 40% del total de la harina, la totalidad de la levadura (comercial) y tantos litros de agua como kilos de harina. Se deja reposar unas horas, se incorpora el resto de la harina y del agua y a partir de ahí se procede como en el método directo (Callejo, 2002). Velasquez, (2011), menciona que este procedimiento es como una técnica en la que la harina se distribuye en dos fracciones: una se mezcla inicialmente con agua y levadura para formar la esponja, mientras que la otra se incorpora después, junto con los ingredientes restantes. La distribución de la harina entre ambas etapas depende de las propiedades de esta y de las características deseadas en el producto final.

2.3.3. Fermentación en la elaboración del pan

La fermentación de las masas utilizadas en panificación es un proceso metabólico mediante el cual los microorganismos transforman los azúcares disponibles en otros

compuestos. Durante la fermentación alcohólica, las levaduras convierten los azúcares en etanol y dióxido de carbono; este último favorece el aumento del volumen de la masa, mientras que el etanol y otros compuestos generados contribuyen al desarrollo del aroma y el sabor característicos del pan durante el horneado. Asimismo, según el tipo de fermentación y las materias primas empleadas, pueden producirse modificaciones en la composición nutricional del alimento, como una mayor disponibilidad de ciertos nutrientes o una reducción de determinados factores anti nutricionales por lo cual decimos que las fermentaciones, contribuyen:

- Desarrollo de diversos sabores, aromas y texturas en sustratos alimenticios.
- Conservación de cantidades sustanciales de los alimentos a través de la producción de ácido láctico, alcohol, ácido acético, entre otros".
- El producto resultante es rico en componentes nutricionales beneficiosos, incluidas proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos esenciales y vitaminas (Callejo, 2002)
- Para la elaboración del "pan, el proceso fermentativo comienza desde el momento de la incorporación de la levadura en la masa, prolongándose hasta el instante en que se inicia la cocción de los panes". Esta operación debe efectuar a la temperatura de 26- 40°C y con humedad relativa de 80-85% mediante diversos métodos de fermentación que se llevan a cabo en los procesos de panificación; así:
- Fermentación larga. Aporta más sabor y aroma al pan. La harina de trigo sufre una larga fermentación de 7 a 12 horas, descomponiéndola, haciéndola más digerible y neutralizando el ácido fítico, de difícil metabolización. Esta fermentación produce sabores sutiles que sólo emergen con el tiempo (Harinas B, 2022)
- Fermentación corta. Esto permite realizar más trabajo, pero la cámara de fermentación es más grande, lo que permite completar el trabajo en menos tiempo (es decir, de 1 a 4 horas). (Harinas B, 2022)

2.3.4. Pan de molde

De acuerdo con la Norma Técnica Peruana (NTP, 1988) , el pan de molde es un producto de panificación elaborado mediante la cocción de una masa fermentada dentro de moldes, cuya formulación incluye principalmente harina de trigo, agua potable, sal, azúcar, levadura y manteca. Asimismo, pueden incorporarse otros ingredientes y aditivos autorizados. Este producto se caracteriza por presentar una corteza fina y blanda, resultado de las condiciones de elaboración y cocción.

En el caso del pan de molde integral, su preparación contempla el uso de cereales integrales o harinas que conservan las partes del grano que se eliminan durante el cernido. Estos componentes aportan fibra dietética, antioxidantes y otros compuestos de interés nutricional. Por otra parte, el pan destinado al rebanado debe presentar características de calidad específicas, como una miga de color claro, textura blanda y resistente, estructura uniforme y fina, corteza suave y una conservación adecuada durante el almacenamiento citado por (Contreras, 2024)

2.4. Trigo (*Triticum aestivum*)

El trigo *(Triticum aestivum)* constituye uno de los cereales de mayor importancia en la alimentación humana, debido a sus múltiples formas de aprovechamiento. Puede consumirse directamente o procesarse para obtener diversos derivados, como harina, almidón, aceite y salvado, además de jarabes azucarados y otros ingredientes empleados en la elaboración de productos alimenticios (Esquivel, 2023).

2.4.1. Propiedades y usos

El trigo (*Triticum aestivum*) constituye un cereal pilar en la nutrición y seguridad alimentaria global. Su relevancia agroindustrial radica en su versatilidad de transformación, destinándose tanto al consumo directo como al procesamiento primario y secundario para la obtención de harina, almidón, salvado, aceites vegetales, jarabes edulcorantes e insumos funcionales empleados en la formulación de una amplia diversidad de productos alimenticios (Esquivel, 2023).

2.4.2. Harina de trigo

La harina de trigo representa el insumo obtenido a partir de la reducción mecánica de tamaño, molienda y refinación de las cariópsides de trigo común (Triticum aestivum), trigo ramificado (*Triticum aestivum*) o sus combinaciones (Mesa, 2022).

La harina de trigo constituye la materia prima estructural en la industria de la panificación y galletería, cuyas propiedades tecno-funcionales están supeditadas a factores genéticos (variedad del cereal) y agronómicos, tales como la estacionalidad del cultivo, el tipo de suelo y el manejo de la fertilización (Esquivel, 2023).

La harina de trigo se clasifica principalmente en dos tipos: blanca e integral. Esta última se obtiene mediante la molienda del grano completo y puede elaborarse utilizando diferentes métodos, como la molienda con piedras, que tritura el grano, o mediante rodillos, que permiten separar el salvado del endospermo (Esquivel, 2023).

Asimismo, la harina de trigo desempeña un papel importante en la calidad de los productos de panificación, ya que su composición incluidas las proteínas, el almidón y la fibra y sus propiedades fisicoquímicas, como el tamaño de las partículas y las

características proteicas, influyen en el comportamiento de la masa. Entre sus principales proteínas destacan las gliadinas y las gluteninas, que contribuyen a la formación del gluten y determinan propiedades reológicas de la masa, como la elasticidad y la extensibilidad, aspectos relevantes para la calidad del producto final (Esquivel, 2023).

2.4.3. Composición de la harina de trigo

De acuerdo con Meza (2022), el estudio de las propiedades tecno-funcionales de los ingredientes es fundamental para predecir su comportamiento durante el amasado, leudado y horneado. Identificar la sinergia entre las fracciones proteicas, amiláceas y lipídicas facilita la estandarización del proceso alimentario, garantizando un producto de alta calidad cuya estabilidad depende directamente del balance proporcional en la formulación de las harinas empleadas.

Minerales

La harina de trigo contiene diversos minerales, entre los que destacan el magnesio, el calcio, el sodio y el potasio. Estos forman parte de su composición nutricional, aunque sus concentraciones pueden variar según el tipo de harina, el grado de extracción y el proceso de molienda empleado. Asimismo, el contenido mineral puede diferir entre la harina blanca y la integral, debido a que una mayor proporción de las capas externas del grano se conserva en esta última.

Tabla 7.

Minerales de harina de trigo en muestra de 100 gramos

Minerales (mg)	100 g de porción
Calcio	15
Hierro	1,1
Yodo	1
Magnesio	28
Zinc	0,8
Sodio	3
Potasio	30
Fósforo	20
Selenio	4

Nota. Fuente: Meza (2022).

2.4.3.1. Valor nutricional de harina de trigo

La harina de trigo está constituida principalmente por carbohidratos y contiene, además, otros nutrientes, como proteínas, lípidos, vitaminas y minerales. La proporción de estos componentes puede variar según el tipo de harina y su procesamiento, tal como se presenta en la Tabla N.° 8.

Tabla 8.

Composición proximal de harina de trigo en 100 gramos

Componente (%)	100 g de porción
Humedad	6,1
Grasas	14
Proteínas	9,3
Carbohidratos	79,2
Fibra	3,4
Hierro (mg)	1,1

Nota: Meza (2022)

2.5. Diseños de experimentos con mezclas

Son experimentos en los que se asume que la respuesta solo depende de las proporciones relativas de los ingredientes presentes en la cantidad de la mezcla. En un experimento con mezclas si el total permanece constante y el valor de la respuesta cambia cuando se introducen variaciones en las proporciones de los ingredientes, entonces el comportamiento de la respuesta se dice que es una función de la propiedad de la mezcla conjunta de los ingredientes (Cornell, 2002).

Este método combina técnicas estadísticas y de ingeniería para facilitar la comprensión de situaciones complejas, incluyendo las interacciones entre causas y efectos.

En los diseños experimentales de mezclas, los factores corresponden a las proporciones de los componentes que conforman la formulación. estas proporciones no son independientes, debido a que la suma de las fracciones de todos los componentes debe ser igual a la unidad (o al 100 %). Por tanto, al modificar la proporción de uno de los ingredientes, es necesario ajustar la de al menos otro componente para mantener constante la composición total de la mezcla por ejemplo, si x_1, x_2,…….,xq representan las proporciones de p componentes en una mezcla, estas proporciones no son independientes entre sí. (Montgomery ,2004).

$$0 \leq x_i \leq 1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (ec\ 1)$$

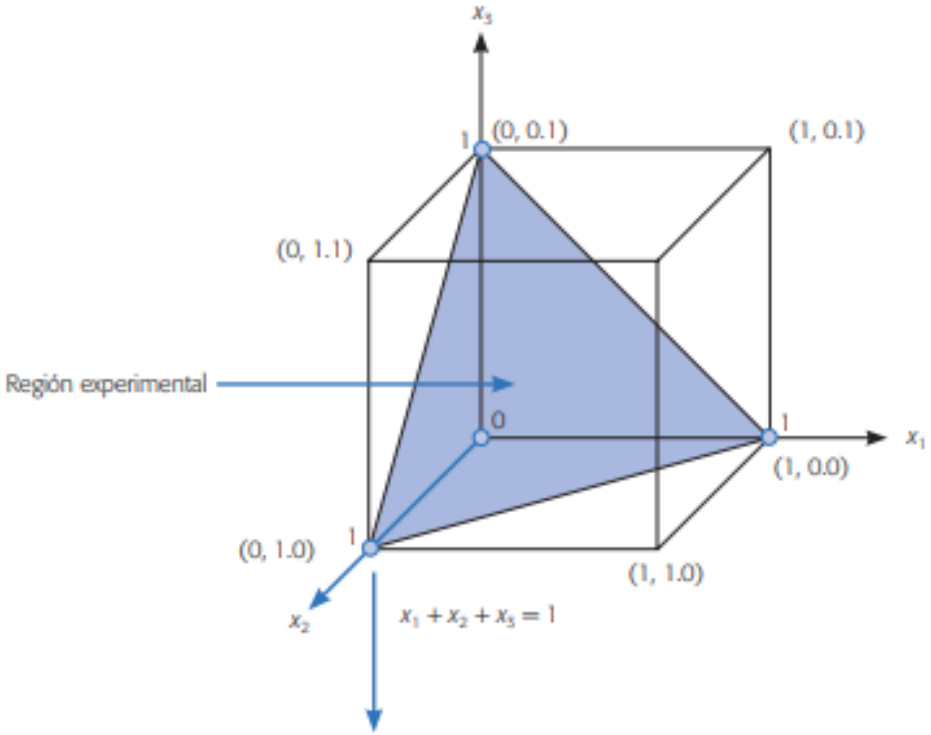
$$\sum_{i=1}^{p} (x_i) = 1 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (ec\ 2)$$

Las restricciones de la Ecuación (1) y la Ecuación (2) se entienden como que las proporciones tienen que encontrarse entre cero y uno, y que la suma de ellas debe ser uno, por tanto, al aumentar la cantidad de un ingrediente necesariamente se reduce la participación de los componentes restantes en esa misma proporción. En la Ecuación (2) cuando un solo componente cumple con la restricción de ser igual a uno, se conoce como

“mezcla pura”.

Figura 1.

Espacio de los factores restringidos para mezclas con q=3 componentes



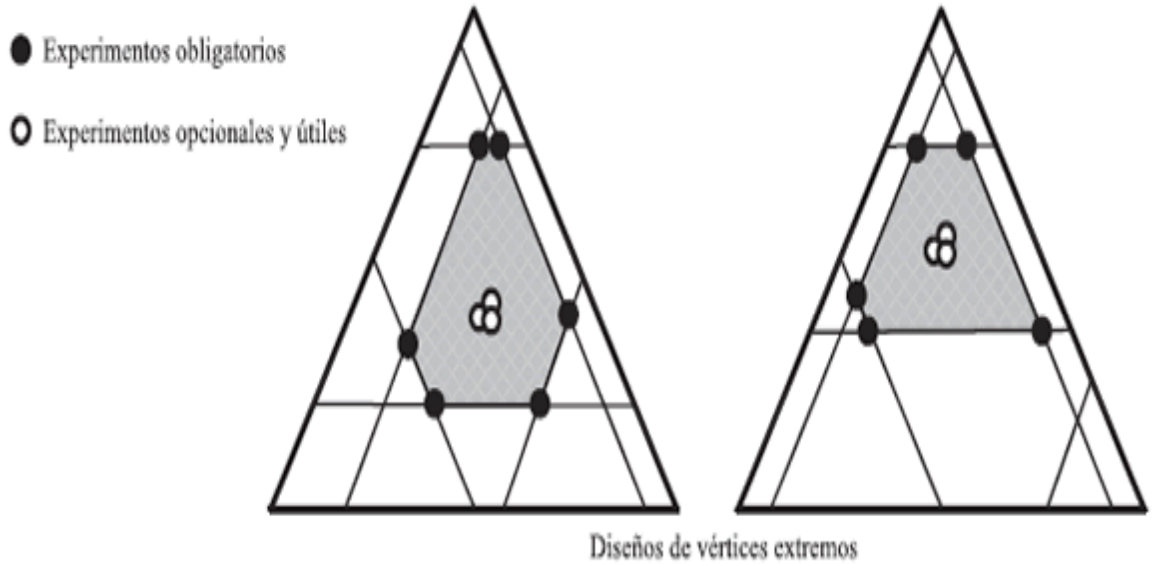
Nota. (Montgomery ,2004).

2.5.1. Diseños de vértices extremos

Los diseños de mezclas de vértices extremos se aplican cuando la región experimental corresponde únicamente a una parte del simplex, es decir, a una zona restringida del espacio de composición de la mezcla. Esta situación ocurre cuando los componentes presentan límites mínimos y máximos que restringen las proporciones que pueden utilizarse en las formulaciones. El objetivo de este tipo de diseño es seleccionar puntos experimentales que representen de manera adecuada la región permitida, facilitando la evaluación de las mezclas y el análisis de la influencia de sus componentes sobre las respuestas estudiadas.

Figura 2.

Diseños de vértices extremos



Nota: Eriksson et al., (1998).

2.5.2. Diseño óptimo

Un diseño experimental óptimo es aquel que permite seleccionar las condiciones experimentales más convenientes de acuerdo con un criterio de optimalidad previamente establecido. Para su elaboración, se define el modelo estadístico que se desea evaluar, se delimita la región experimental de interés, se establece el número de ensayos y se determina el criterio de optimalidad que orientará la selección. Finalmente, se eligen los puntos experimentales a partir de un conjunto de alternativas candidatas, procurando obtener información adecuada para estimar el modelo y analizar la relación entre los factores y las respuestas (Montgomery ,2004).

2.5.2.1. Optimal D

El diseño D-óptimo es un método de optimización computacional empleado en el diseño experimental para seleccionar las combinaciones de factores que proporcionen información estadística eficiente para estimar los coeficientes del modelo de regresión. Este criterio busca minimizar el determinante de la matriz de covarianza de los estimadores, lo que equivale a maximizar el determinante de la matriz de información del diseño. De esta manera, se procura reducir la incertidumbre conjunta asociada a la estimación de los parámetros del modelo. (Montgomery ,2004).

$$(x´x) - 1$$

Las limitaciones en los componentes de una mezcla definen la región experimental factible como una zona o subregión dentro del simplex. Estas restricciones se expresan de la siguiente forma:

$$0 \leq a_i \leq x_i \leq b_i \leq 1$$

Donde ai corresponde a la restricción inferior, b_i a la restricción superior y x_i representa la mezcla.

Se muestra un experimento de tres componentes en la Figura N° 3:

a. Si x_1 está limitado a $0.2 \leq x_1 \leq 0.8$. Esto implica que no es posible evaluar mezclas puras, ya que deben cumplir la condición $x_1 + x_2 + x_3 = 1$. Al establecer una restricción de $0.3 \leq x_2 \leq 0.7$, la región experimental corresponde.

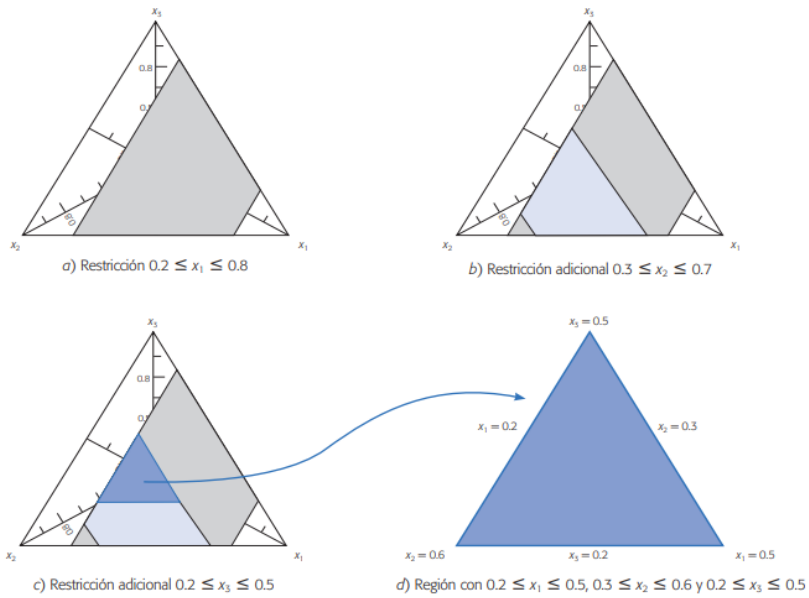
b. Si se aplica una restricción adicional de $0.2 \leq x_3 \leq 0.5$, la región experimental cambia a la indicada.

c. Esta última restricción reduce aún más los valores posibles de x_1 y x_2, dando como resultado la región experimental final, que está delimitada por $0.2 \leq x_i \leq 0.5$, $0.3 \leq x2 \leq 0.6$ y $0.2 \leq x_1 \leq 0.5$, tal como se observa en la Figura.

d. En las restricciones de un diseño de mezclas, (a_i) representa el límite inferior del componente, (b_i) corresponde al límite superior y (x_i) indica la proporción de dicho componente en la formulación. (Montgomery ,2004).

Figura 3.

Regiones experimentales con restricciones en q = 3 componentes



Nota: (Montgomery ,2004).

2.6. Evaluación sensorial

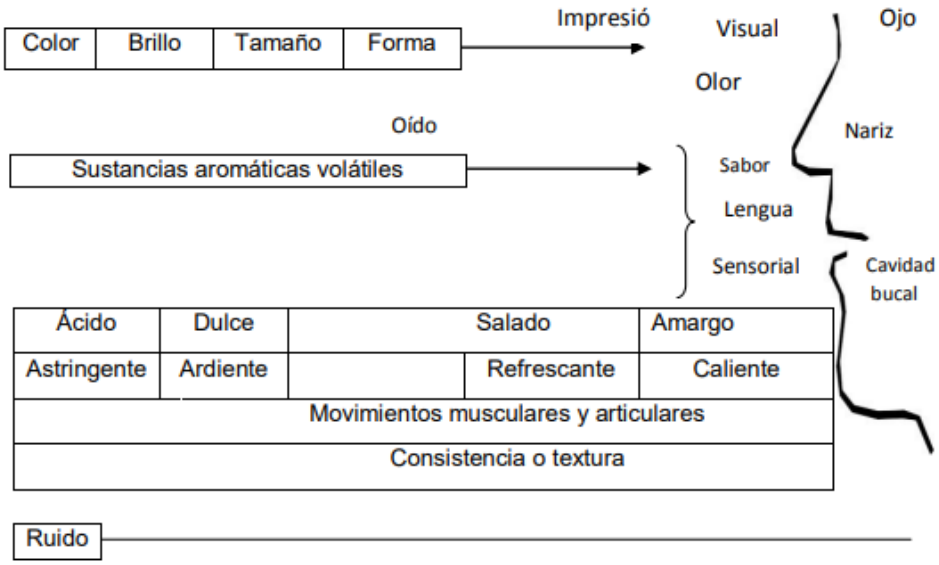
La evaluación sensorial es una disciplina científica orientada a medir, analizar e interpretar las respuestas que producen los alimentos y otros materiales a través de los sentidos humanos, entre ellos la vista, el olfato, el gusto, el tacto y el oído. En la investigación alimentaria, constituye una herramienta esencial, ya que permite evaluar las características sensoriales de los productos y conocer la percepción de los consumidores. Debido a que estas respuestas involucran la percepción humana, la evaluación sensorial desempeña un papel importante en el desarrollo, la caracterización y el control de calidad de los alimentos (Guivar y Menos, 2021).

El análisis sensorial permite describir y evaluar las respuestas de aceptación o rechazo que una persona manifiesta frente a un alimento, considerando las sensaciones percibidas antes, durante y después de su consumo. Estas respuestas pueden variar en función de las características individuales del evaluador y de las condiciones espaciales y temporales en las que se realiza la evaluación. Asimismo, esta disciplina comprende el estudio de las propiedades sensoriales de los alimentos y las materias primas mediante los cinco sentidos. La percepción se origina cuando los receptores sensoriales captan estímulos físicos o químicos, cuya información es procesada por el organismo. La respuesta obtenida depende de aspectos como la intensidad, la duración y la naturaleza del estímulo, e influye en la valoración que la persona realiza del producto (Hernández, 2005).

La aceptación de un producto alimenticio por parte de los consumidores constituye un factor importante para su éxito en el mercado, ya que está vinculada con las características organolépticas que presenta. Entre estas destacan el color, el sabor, el aroma y la textura, atributos que deben considerarse durante el desarrollo y la evaluación sensorial del producto. Para determinar el grado de aceptación, se realizan pruebas sensoriales en las que participan evaluadores o jueces, quienes valoran las características del alimento de acuerdo con los criterios establecidos para cada prueba (Asalde e Iparraguirre, 2023).

Figura 4.

Representación de los sentidos humanos involucrados en la percepción sensorial de los alimentos.



Nota: Hernández, (2005).

2.6.1. Pruebas hedónicas

Las evaluaciones hedónicas constituyen una metodología sensorial afectiva cuyo propósito fundamental es cuantificar el nivel de aceptabilidad o rechazo organoléptico que produce una matriz alimentaria en los consumidores. Este tipo de ensayos se fundamenta en el uso de escalas categóricas ordinales —frecuentemente estructuradas entre 5 y 9 niveles— que abarcan un espectro continuo desde la complacencia extrema ('me gusta muchísimo'), pasando por un punto neutro de indiferencia ('no me gusta ni me disgusta'), hasta la aversión total ('me disgusta muchísimo'). Durante la cata, los panelistas evalúan las muestras codificadas e identifican la categoría que mejor representa su reacción hedónica, resultando una herramienta clave para diagnosticar la viabilidad comercial del alimento (Guivar & Menos, 2021).

Por su parte, el juzgador o consumidor final emite una respuesta psico-sensorial inmediata al entrar en contacto con la materia prima, el producto en proceso o el bien terminado. Dicho proceso cognitivo involucra la identificación cualitativa de los atributos (color, aroma, sabor y textura) seguida de la graduación de su intensidad; de este modo, una percepción placentera se traduce en una respuesta favorable de agrado, mientras que un perfil organoléptico deficiente desencadena el rechazo directo del producto."

Las diferentes percepciones que un catador siente respecto al producto alimenticio se observan en la figura 8.

Tabla 9.

Escala de evaluación sensorial

Puntaje	Nivel de agrado
1	Me disgusta mucho
2	Me disgusta moderadamente
3	Me disgusta levemente
4	No me disgusta ni me disgusta
5	Me gusta levemente
6	Me gusta moderadamente
7	Me gusta mucho

***Nota**:* Diaz y Espinoza (2022).

2.7. Calidad fisicoquímica

2.7.1. Proteína

Las proteínas son macronutrientes constituidos por cadenas de aminoácidos que cumplen funciones esenciales en el organismo. Participan en el crecimiento, mantenimiento y reparación de los tejidos y músculos, así como en la síntesis de hormonas y otras sustancias necesarias para el funcionamiento corporal. Asimismo, algunas proteínas, como la hemoglobina, intervienen en el transporte de oxígeno desde los pulmones hacia los diferentes tejidos del cuerpo (Asalde e Iparraguirre, 2023).

Las proteínas de origen vegetal constituyen una fuente importante de nutrientes y compuestos de interés funcional, debido a su disponibilidad, diversidad y costo relativamente accesible. Además de su aporte nutricional, presentan propiedades tecnológicas que favorecen su utilización en diferentes procesos industriales, incluida la elaboración de materiales biodegradables. Estas proteínas se obtienen principalmente de semillas de leguminosas, cereales y plantas oleaginosas, aunque también pueden extraerse de hojas verdes. Su concentración varía entre especies y variedades, y está condicionada por factores genéticos y ambientales. Asimismo, su aplicación en la industria alimentaria depende de sus propiedades funcionales, de su estabilidad durante el procesamiento y de la presencia de compuestos antinutricionales en la materia prima de la que proceden (Asalde e Iparraguirre, 2023).

Las proteínas son componentes esenciales en los alimentos debido a su aporte nutricional y a su participación en funciones biológicas importantes para el crecimiento y el mantenimiento de los tejidos del organismo. Asimismo, se utilizan como ingredientes en la elaboración de diversos productos alimenticios, ya que sus propiedades funcionales influyen en aspectos como la textura, la estructura, la estabilidad y las

características finales del producto. Estas cualidades hacen que las proteínas sean relevantes tanto desde el punto de vista nutricional como tecnológico en la industria alimentaria (Badui, 2013, pp. 55–58).

2.7.2. Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH constituye un indicador físico-químico que mide la concentración logarítmica de hidrogeniones (H+) en una solución, definiendo cuantitativamente su grado de acidez o alcalinidad (asociado al término 'poder de hidrógeno'). En la tecnología de panificación y cereales, el control riguroso del pH resulta fundamental para la inocuidad y vida útil, dado que rangos específicos de acidez inhiben la proliferación de microorganismos alterantes y patógenos en la miga (Guivar & Menos, 2021).

2.7.3. Fibra

La fibra dietética se consolida como un componente nutracéutico clave en la formulación de alimentos funcionales. Escudero y Gonzáles (2006) señalan que abarca a los polisacáridos no amiláceos y polímeros complejos como la lignina, los cuales resisten la hidrólisis de las enzimas digestivas en el tracto gastrointestinal humano. Estos carbohidratos no digeribles transitan hacia el intestino grueso, donde son sometidos a fermentación colónica total o parcial. Fisiológicamente, su incorporación en la dieta promueve la motilidad intestinal, atenúa la respuesta glucémica postprandial y favorece la regulación del perfil lipídico en sangre.

2.7.4. Contenido de Humedad

El contenido de humedad representa un parámetro determinante en las propiedades reológicas y mecánicas (fluidez, compresibilidad y cohesión) de las matrices agroalimentarias. Un porcentaje hídrico excesivo acelera el deterioro fisicoquímico, la degradación enzimática y la proliferación de mohos en productos horneados. Analíticamente, la cuantificación tradicional se realiza mediante el método gravimétrico por pérdida de peso en estufa o mufla, determinando el agua evaporada a partir de la diferencia ponderal de la muestra sometida a secado térmico (Tirado et al., 2015).

2.8. Calidad nutricional y micronutrientes

2.8.1. Calcio

El calcio se consolida como el macromineral más abundante en el organismo humano, representando aproximadamente el 2% de la masa corporal total (equivalente a 1000–1500 g en un adulto promedio). Alrededor del 99% de este elemento se encuentra inmovilizado en la matriz mineral del tejido óseo y dentario, mientras que el 1% restante circula de forma activa en los fluidos extracelulares y tejidos blandos. La ingesta diaria de referencia se sitúa en 800 mg para adultos y niños en etapa de desarrollo, pudiendo

incrementarse hasta en un 50% en gestantes y lactantes debido a las mayores demandas fisiológicas (Badui, 2013, pp. 396–397).

A nivel gastrointestinal, únicamente cerca del 40% del calcio ingerido es absorbido en el lumen del intestino delgado, excretándose la fracción restante por vía fecal. La eficiencia de absorción está condicionada por la solubilidad del mineral: ambientes ácidos promueven su solubilización y absorción, mientras que condiciones alcalinas precipitan el calcio reduciendo su biodisponibilidad. Este proceso se ve favorecido por la presencia de vitamina D, aminoácidos específicos (lisina y arginina) y lactosa; este último disacárido, al fermentar en el íleon terminal, produce ácido láctico que deprime el pH intestinal e incrementa la solubilidad del mineral. Por ello, la matriz láctea es reconocida como uno de los vehículos dietéticos más eficientes para la asimilación del calcio (Badui, 2013, pp. 396–397).

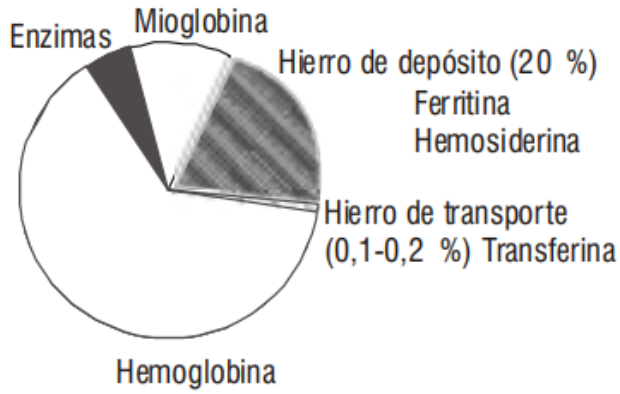
2.8.2. Hierro

El hierro representa un micromineral indispensable en el metabolismo humano, participando centralmente en la respiración celular como componente prostético de la hemoglobina (transporte de oxígeno) y de la mioglobina (reserva muscular), así como en calidad de cofactor en diversas rutas enzimáticas. En los alimentos, este oligoelemento se presenta bajo dos formas químicas de distinta biodisponibilidad: el hierro hemo (presente en matrices de origen animal como carnes rojas, aves y pescado), cuya tasa de absorción intestinal oscila entre el 20% y el 30%; y el hierro no hemo (predominante en cereales, leguminosas y vegetales), el cual exhibe un porcentaje de absorción inferior (2% al 10%), altamente supeditado a la presencia de facilitadores e inhibidores en el quimo (Badui, 2013, p. 397).

De acuerdo con Forrellat et al. (2000), el hierro desempeña un rol catalítico estructural en los procesos de respiración y preservación celular. Su versatilidad de valencia le permite integrar la arquitectura de citocromos y enzimas fundamentales del ciclo de Krebs, así como de sistemas enzimáticos reguladores del estrés oxidativo. Por su toxicidad potencial en estado libre, el hierro se mantiene bajo una estricta compartimentalización metabólica: el pool funcional —destinado al transporte de gases y actividad enzimática mediante hemoproteínas y transferrina— y el pool de depósito, regulado por la ferritina y hemosiderina. El contenido fisiológico corporal abarca de 3.5 a 5.0 g dependiendo del sexo biológico, concentrándose mayoritariamente en la fracción hemoglobínica (~65%), seguida de las reservas tisulares (~20%), la mioglobina muscular y enzimas (~15%), y una fracción traza circulante asociada a la transferrina (0.1% - 0.2%)."

Figura 5.

Distribución del hierro en el organismo



Hierro activo 80 %	Enzimas 5 %
Hemoglobina 65 %	Catalasas
Mioglobina 10 %	Peroxidasas
	Citocromos

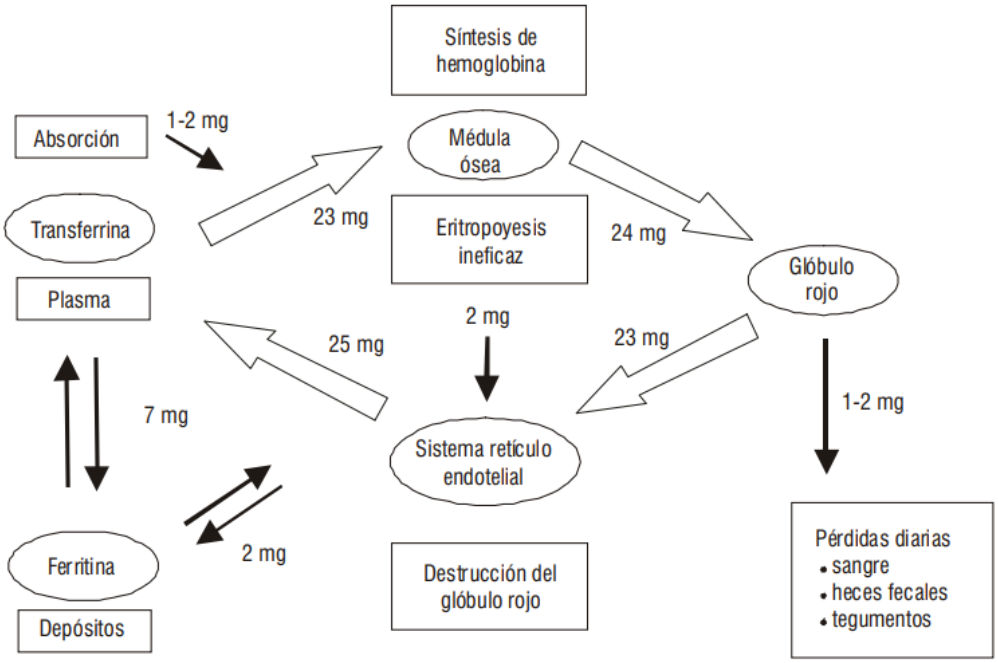
Nota: Forrellat et al., (2000)

2.8.3. Absorción del hierro

Según Forrellat eta al. (2000) menciona que el hierro hemínico constituye una fracción menor del hierro total en la dieta, su tasa de absorción es significativamente más alta (20-30 %) y se ve menos afectada por los componentes dietéticos. Sin embargo, al igual que el hierro inorgánico, su absorción se beneficia de la inclusión de carne en la alimentación, probablemente debido a ciertos aminoácidos y péptidos generados durante la digestión que contribuyen a mantener ambas formas de hierro solubles y disponibles para su absorción. Por otro lado, el ácido ascórbico tiene un impacto limitado sobre la absorción del hierro hemínico, ya que este presenta menor disponibilidad de enlaces de coordinación. Finalmente, el calcio reduce la absorción de ambos tipos de hierro, al interferir en la transferencia del metal desde la célula mucosa hacia la sangre, aunque no afecta su entrada inicial a la célula.

Figura 6.

Esquema del ciclo del hierro en el hombre



Nota: Forrelat et al., (2000)

2.8.4. Biodisponibilidad del hierro

La biodisponibilidad del hierro hace referencia a la proporción de este mineral presente en los alimentos que el cuerpo puede absorber y utilizar eficazmente. Este proceso está determinado principalmente por la forma química en que se presenta el hierro. En los alimentos, existen dos tipos principales: el hierro hemínico y el no hemínico. El primero se encuentra únicamente en productos de origen animal, integrado en estructuras como la hemoglobina y la mioglobina, y se absorbe con mayor facilidad. En cambio, el hierro no hemínico, que predomina en los alimentos vegetales, requiere de condiciones específicas para su absorción, las cuales pueden verse afectadas por distintos componentes de la dieta. Para que este tipo de hierro pase de su forma férrica (Fe^{3+}) a ferrosa (Fe^{2+}), necesita un ambiente ácido que favorezca su solubilidad. Una vez reducido, puede unirse a compuestos de bajo peso molecular que lo hacen más disponible. Entre los facilitadores de esta transformación y estabilización del Fe^{2+} se encuentran el ácido clorhídrico, ácidos orgánicos como el ácido ascórbico (vitamina C) y ciertos aminoácidos como la cisteína. Sin embargo, también hay inhibidores en los alimentos que interfieren con su absorción, como los oxalatos, fitatos, taninos y minerales como el calcio y el aluminio (González, 2005).

CAPITULO III.
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y Espacio Experimental

La etapa experimental de la investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH). Específicamente, las determinaciones fisicoquímicas, bromatológicas y analíticas se ejecutaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos, mientras que el procesamiento, amasado y horneado de los tratamientos se desarrollaron en el Centro Experimental de Panificación.

3.1.1. Diseño metodológico

El presente estudio se desarrolló considerando los aspectos metodológicos relacionados con el diseño experimental, la elaboración de las formulaciones y la evaluación de las características del pan de molde elaborado con harinas de trigo, plátano (Musa paradisiaca L.), yuca y maíz morado. Para ello, se establecieron diferentes proporciones de los componentes de la mezcla, con la finalidad de analizar su influencia sobre las propiedades tecnofucional , fisicoquímicas y sensoriales del producto. Asimismo, los resultados obtenidos fueron organizados y sometidos al análisis estadístico correspondiente, a fin de determinar el comportamiento de las formulaciones y seleccionar la más adecuada de acuerdo con los criterios establecidos en la investigación.

3.1.2. Tipo de investigación

Por su propósito y manipulación de variables, la investigación corresponde a un tipo aplicado y experimental. Es aplicada porque busca resolver la necesidad tecnológica y nutricional de elaborar un alimento funcional a partir de recursos regionales; y es experimental debido a que se manipularon intencionalmente las proporciones de las harinas nativas sustitutas en condiciones controladas de laboratorio.

3.1.3. Nivel de investigación

El estudio se adscribe a un nivel explicativo, en razón de que no se limita a la mera descripción del producto, sino que establece y fundamenta las relaciones de causa-efecto entre la variación porcentual de las harinas de sustitución (variables independientes) y las respuestas tecno-funcionales, nutricionales y organolépticas (variables dependientes) del pan de molde.

3.2. Variables e indicadores

3.2.1. Variables Independientes:

- Harina de trigo
- Harina de plátano

- Harina de yuca
- Harina de maíz morado

3.2.2. Variables Dependientes:

Propiedades tecno-funcionales:

- Volumen especifico y textura

Propiedades nutricionales:

- Fibra dietética
- Hierro
- Proteínas
- Antocianina

Propiedades sensoriales:

- Color
- Sabor
- Textura
- Olor

3.3. Materiales, equipos y reactivos

3.3.1. Materiales

Materia prima

- Harina de trigo, adquirida en el mercado de Santa Clara – Ayacucho.
- Harina de plátano, adquirida de la asociación Miski tanta de la marca nava- del distrito Unión Asháninka.
- Harina de yuca, adquirida de la asociación Miski tanta de la marca nava- del distrito unión Asháninka.
- Harina de maíz morado, adquirida en el mercado de Santa Clara - Ayacucho

Insumos

- Harina de trigo para panificación, obtenida en Comercial de insumos CINSA E.I.R.L. – Huamanga.
- Azúcar rubia, adquirida en CINSA E.I.R.L.- Ayacucho
- Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) fresca, obtenida en CINSA E.I.R.L. Ayacucho
- Mantequilla, obtenida en CINSA E.I.R.L. – Ayacucho
- Sal de cocina – Marina, obtenida en CINSA E.I.R.L. – Ayacucho
- Agua potable.
- Mejorador de masa
- Gluten

- Emulsionate

Materiales

- Espátula
- Tamiz malla 100 (0,150 mm)
- Moldes para pan de molde (25x10cm)
- Rodillo
- Jarras plásticas de 1L
- Bowl de acero
- Cucharas de acero

3.3.2. Equipos

Centro experimental de panificación:

- Amasadora – sobadora marca Nacional, modelo k 25, capacidad 5 kg.
- Horno marca ANLIN AN 660/D, cap. un coche de 18 bandejas
- Balanza tipo reloj.
- Cortadora cap. corte 30 unidades
- Balanza Analítica.

Tabla 10.

Variables, Dimensiones e Indicadores

Tipo de Variable	Nombre de la Variable	Indicadores	Instrumento de medición
Independiente	Harina de trigo, harina plátano, harina yuca y harina maíz morado	Porcentaje de harina de trigo, plátano, yuca y maíz morado	Ficha técnica de formulación
Dependiente 1	Volumen especifico Humedad	Volumen (cm^3) /peso (g) del pan Textura de la miga, elasticidad	Vernier / Balanza digital
Dependiente 2	Fibra dietética Hierro Proteínas Antocianina	Porcentaje de fibra mgFe/kg de hierro Porcentaje de proteína Antocianinas totales	Análisis bromatológico
Dependiente 3	•Color •Sabor •Olor •Apariencia	Nivel de agrado del consumidor Evaluación cualitativa por panel	Prueba hedónica (escala de 7 puntos) Evaluación sensorial

3.4. Diseño metodológico

3.4.1. Tipo de investigación

Según su finalidad, la presente investigación es de tipo aplicada. Su propósito no se enfoca en la generación de teorías fundamentales (investigación básica), sino en la utilización del conocimiento científico existente para resolver un problema práctico y específico: la mejora del perfil nutricional y funcional del pan de molde, un producto de consumo masivo.

De forma más precisa, el estudio se enmarca dentro de la investigación tecnológica y de desarrollo (I+D). Esta clasificación se justifica porque el objetivo central es la creación de una innovación tangible: un nuevo producto alimentario. El proceso implica una serie de fases sistemáticas que van desde la formulación y el diseño del producto (la mezcla de harinas), pasando por la elaboración de un prototipo (el pan enriquecido), hasta la validación de su calidad mediante la caracterización de sus propiedades. Por lo tanto, el conocimiento generado está intrínsecamente orientado a una aplicación tecnológica con un impacto directo y potencial en la industria agroalimentaria.

3.4.2. Nivel de investigación

El nivel de la investigación fue experimental**,** debido a que se manipularon intencionalmente las variables independientes (proporciones de harinas de plátano, mandioca y maíz morado) para evaluar sus efectos sobre variables dependientes, tales como las propiedades tecno-funcionales**,** nutricionales **y** sensoriales del pan molde. El experimento se realizará en condiciones controladas de laboratorio, permitiendo observar, registrar y analizar los resultados generados por estas modificaciones.

- **Pruebas de elaboración de pan molde:** Evaluación de diferentes concentraciones de harina de trigo, plátano verde, yuca y maíz morado en la mezcla, con el objetivo de estudiar cómo afectan la textura, la estructura, el volumen y la esponjosidad del pan de molde.
- **Pruebas de fermentación y cocción:** Para entender cómo los ingredientes afectan el comportamiento de la masa, la estructura porosa y el volumen del pan de molde.
- **Análisis nutricional:** Se determinaron los efectos de estas harinas alternativas sobre el perfil nutricional del pan de molde, como el contenido de fibra, minerales, proteínas, vitaminas y carbohidratos complejos, lo cual es importante para la salud pública, dado el valor nutritivo de estos ingredientes.
- **Evaluación sensorial:** Se emplearon pruebas de aceptación sensorial para determinar cómo los consumidores perciben las diferentes formulaciones de

pan de molde en términos de sabor, textura, color y aroma. Estos estudios permiten ajustar la cantidad de harina de trigo, plátano verde, yuca y maíz morado sin comprometer la aceptación del producto.

3.4.3. Diseño de la investigación

Para la determinación de la participación de las harinas en los límites inferior y superior, se siguió el siguiente criterio:

Harina de trigo

La harina de trigo es única por su capacidad para formar una red de gluten viscoelástica que atrapa el dióxido de carbono de la fermentación, permitiendo que el pan suba y mantenga una estructura suave y aireada. Cualquier harina no panificable (harina de plátano, yuca y maíz morado) no contribuye a esta red; por el contrario, actúa como un "relleno" que la interrumpe y debilita.

Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004), en su influyente revisión (artículo científico), aunque se centra en productos sin gluten, establece principios fundamentales sobre la funcionalidad del gluten que son la base para los estudios de harinas compuestas. Los estudios analizados muestran consistentemente que sustituciones de hasta un 10-15% suelen ser bien toleradas, mientras que niveles del 20-30% ya representan un desafío tecnológico significativo que requiere el uso de aditivos para compensar la pérdida de estructura.

Harina de plátano verde

Rol Principal y Justificación de Uso:

Enriquecimiento con Fibra y Almidón Resistente: Es su principal ventaja. Se añade para aumentar el contenido de fibra dietética y almidón resistente, lo que tiene beneficios probados para la salud digestiva y el control glucémico.

Base para Productos sin Gluten: Al igual que la yuca, es una harina estructural importante en panes 100% sin gluten.

Harina de yuca en panificación

Shittu, T. A., Raji, A. O., & Sanni, L. O. (2007), realizaron el siguiente estudio (artículo científico) "Bread from composite cassava-wheat flour: I. Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf". Se concluyó que, aunque la harina de yuca puede usarse para enriquecer el pan, un nivel de sustitución superior al 20% compromete severamente las propiedades físicas del producto, recomendando no exceder este límite para mantener una calidad aceptable sin el uso de mejoradores.

Harina de maíz morado en panificación

Rol Principal y Justificación de Uso:

Ingrediente Funcional (Antioxidantes): Su principal atractivo no es estructural, sino nutricional. Se añade para enriquecer el pan con antocianinas, permitiendo hacer declaraciones de propiedades saludables ("alto en antioxidantes").

Colorante Natural: Aporta un color morado o violáceo muy distintivo y atractivo, que puede ser un diferenciador clave en el mercado.

Aporte de Sabor: Introduce notas de sabor a maíz, que pueden ser agradables en niveles bajos.

Niveles de Participación Típicos en Pan de Trigo:

5% - 10%: En este rango, el enriquecimiento con fibra es significativo sin comprometer demasiado la estructura. La masa requerirá más agua debido a la alta capacidad de absorción de la fibra. El pan puede tener una miga ligeramente más densa y un color un poco más oscuro.

11% - 20%: Es un nivel ambicioso para lograr un pan con alto contenido de fibra. El volumen del pan se reduce notablemente y la textura se vuelve más compacta y menos elástica. El sabor característico del plátano verde (ligeramente astringente) puede empezar a ser perceptible.

>20%: Niveles tan altos son muy difíciles de manejar sin el uso de mejoradores. La red de gluten se ve severamente interrumpida, resultando en un pan pesado, de bajo volumen y con una vida útil corta debido a un rápido endurecimiento.

3% - 7%: Es el rango más común para lograr un buen balance entre color, aporte funcional y un mínimo impacto en la estructura. Aporta un color notorio y beneficios para la salud sin dañar significativamente la red de gluten.

8% - 15%: En este nivel, el color es muy intenso y el aporte de antioxidantes es considerable. Sin embargo, la textura del pan empieza a verse afectada: la miga se vuelve más densa y menos elástica. Además, el sabor a maíz se vuelve más pronunciado y, para algunos consumidores, puede percibirse como un sabor residual ligeramente amargo.

>15%: No es un rango común en panificación comercial. La alta cantidad de fibra y la falta de proteínas formadoras de gluten a este nivel afectan severamente la maquinabilidad de la masa y la calidad final del pan, resultando en un producto denso y de textura arenosa.

Principio de control experimental para los insumos del pan de molde enriquecido

En cualquier experimento científico, el objetivo es aislar el efecto de las variables que se va a estudiar. En la presente investigación, las variables son las proporciones de las harinas de trigo, plátano, yuca y maíz morado.

Si para cada nueva receta (corrida experimental) se cambiara también la cantidad de azúcar o de levadura y los insumos relativos a la preparación del pan molde, se tendría un caos, el cual impide el desarrollo de la investigación. Por lo tanto, todos los demás insumos, que no son harinas se convierten en constantes o variables controladas.

Por lo expuesto, se establece el siguiente criterio de análisis para el desarrollo de la investigación.

Formulación Base (constante para TODOS los experimentos):

Agua: 30.7%

Levadura fresca: 1.9%

Azúcar: 4.4%

Sal: 1.3%

Grasa (manteca o mantequilla): 4.4%

Mejorador de masa (opcional, pero recomendado): 1.3%

Levadura fresca: 1.9%

Leche en polvo: 3.8%

Gluten: 1%

Antimoho: 0.1%

Mixo: 1%

Diseño experimental

Se empleo un Diseño de Mezclas de vértices extremos optimizado mediante el criterio D-Optimal (generado en software estadístico como Minitab y Design-Expert7.0) adecuado cuando:

- Los factores de estudio son porcentajes de componentes (mezclas).
- La suma total de los componentes debe ser 100 %.
- Se desea reducir el número de tratamientos necesarios sin perder calidad estadística.

Tabla 11.

Diseño experimental

Ingrediente	Código	Límite inferior (%)	Límite superior (%)
Harina de trigo	X_1	60	75
Harina de plátano	X_2	5	15
Harina de yuca (mandioca)	X_3	5	15
Harina de maíz morado	X_4	5	10

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 100\%$$

Modelo Matemático

$$y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{14} X_1 X_4 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{34} X_3 X_4 + \varepsilon$$

Donde:

- Y: Es la variable de respuesta que quieres predecir (puede ser firmeza, volumen específico, humedad, actividad de agua, etc.).
- X_1, X_2, X_3, X_4: Son las proporciones de tus harinas en la mezcla.
- β: Coeficientes que indican el impacto de cada harina en la respuesta.
- ε (Error Experimental): Representa la variabilidad aleatoria natural del proceso que el modelo no puede explicar

Tabla 12.

Rango de proporciones de harinas a utilizarse en el diseño de vértices extremos.

Factor (componente)	Símbolo	Naturaleza	Unidad	Nivel mínimo (%)	Nivel máximo (%)	Tipo de variable	Observación
Harina de trigo	X_1	Controlado	Porcentaje (%)	60	75	Cuantitativa continua	Estructura del pan
Harina de plátano	X_2	Controlado	Porcentaje (%)	5	15	Cuantitativa continua	Aporta almidón y fibra dietética
Harina de yuca	X_3	Controlado	Porcentaje (%)	5	15	Cuantitativa continua	Alta en almidón, textura suave
Harina de maíz morado	X_4	Controlado	Porcentaje (%)	5	10	Cuantitativa continua	Aporte en antocianinas

Tabla 13.

Formulaciones experimentales del pan de molde con diferentes tipos de harina bajo un diseño de vértices extremos.

N° Trat.	Variables independientes				Total Mezcla
	H_trigo	H_platano	H_yuca	H_maiz_morado	
T1	75	15	5	5	100
T2	70	15	5	10	100
T3	75	5	15	5	100
T4	70	5	15	10	100
T5	65	15	15	5	100
T6	60	15	15	10	100
T7	75	10	5	10	100
T8	75	5	10	10	100
T9	70,625	10,625	10,625	8,125	100

Nota: La Tabla 13 resume las formulaciones experimentales del pan de molde bajo un diseño de vértices extremos. Cada tratamiento representa una combinación específica

de sustitución parcial de harina de trigo por plátano, yuca y maíz morado. El tratamiento T0 corresponde al control (100% trigo), mientras que los tratamientos T1–T9 permiten evaluar el efecto individual y combinado de las harinas alternativas. Por ejemplo, T3 (75% trigo, 5% plátano, 15% yuca y 5% maíz morado) representa una de sustitución (25%), y este fue el más aceptado sensorialmente, lo que permitió analizar el impacto directo en la textura y sabor del pan. Este diseño experimental garantiza una evaluación integral de las variables tecno-funcionales, nutricionales y sensoriales.

Justificación y lógica del diseño

- 0 (Blanco): Nos dirá si los panes molde enriquecidos son mejores, peores o iguales que un pan 100% trigo en todos los parámetros medidos.
- T1 (Punto Central): Representa el "corazón" del espacio experimental. Una formulación balanceada. Replicarlo (T1, T6, T8) dará una medida muy robusta del error experimental puro.
- T2 y T3 (Efecto del Nivel de Sustitución): Comparando T2 (30% de sustitución total) con T3 (25% de sustitución total) podrá visualizar claramente el impacto del nivel general de enriquecimiento en la calidad del pan.
- T4 y T5 (Efecto de la Harina de Plátano): Al comparar estos dos tratamientos, donde principalmente varía el nivel de harina de plátano, podrá aislar el efecto específico sobre la textura, el sabor y el contenido de fibra.
- T6 y T7 (Efecto de la Harina de Yuca): De manera similar, la comparación entre estos dos permitirá entender el rol específico de la harina de yuca en la humedad y la estructura de la miga.
- T8 (Formulación balanceada): mezcla cercana al centro experimental, útil para validar consistencia.
- T9 (Efecto de la Harina de Maíz Morado): Esta comparación mostrará el impacto directo de la harina de maíz morado sobre el color, el sabor y el aporte de antioxidantes.

3.4.3.1. Proceso de elaboración

3.4.3.1.1. Obtención de harina de plátano de la variedad ordinario

- **Recepción de Materia Prima**

Es la primera actividad en la línea de producción. Se decepciona la materia prima, verificando que los plátanos cumplan con las siguientes características:

Grado de madurez adecuado, Ausencia de daños mecánicos (golpes, magulladuras)., Ausencia de pudriciones o manchas.

- **Selección**

Se selecciona los plátanos con características deseadas: Estado de maduración adecuado, Plátanos sanos, sin daños mecánicos, pudriciones o enfermedades, tamaño uniforme para facilitar el procesamiento.

- **Lavado de plátano**

Una vez seleccionado se le quita el racimo del plátano y lleva a lavar: En esta etapa del proceso se toman los plátanos y se sumergen en una tina de lavado con 10 ppm de cloro a temperatura ambiente durante 5 minutos logrando eliminar las impurezas: como tierra, polvo, residuos de pesticidas y otros contaminantes de la superficie del plátano.

- **Escaldado**

En el escaldado, se realizó un tratamiento térmico al plátano lavado, el cual tiene un tiempo de 30 a 60 segundos a una temperatura de 95°C, esto con el fin de aislar la savia pegajosa que tiene la cáscara del plátano y logrando ablandar la cáscara del plátano, facilitando el proceso de pelado manual, mejora la textura y reduce los microorganismos

- **Enfriado**

Esta etapa se realizó la detención de la cocción del plátano, evitando que se pierdan nutrientes y se afecte la textura de la harina. El enfriamiento rápido ayuda a mantener un color claro en la harina de plátano, previniendo el pardeamiento enzimático. El agua fría ayuda a ablandar la cáscara del plátano, facilitando el proceso de pelado manual, a una temperatura de 16°C durante el tiempo de 1 minuto.

- **Pelado del plátano**

Se separo la cáscara de la pulpa, la cual será utilizada para la producción de la harina. La elección del método de pelado dependerá de diversos factores como el volumen de producción, la disponibilidad de recursos y la calidad deseada del producto final. Ya una vez pelando el plátano se lleva a pesar para poder determinar la cantidad de la pulpa y de la cascara. El control que se realiza es la higiene, para así evitar la contaminación a la fruta

- **Inmersión antioxidante**

Se sumerge la pulpa en la solución, en relación 1:0,5 (ácido cítrico 1%, ácido ascórbico (vitamina C 0,5%), a temperatura ambiente durante 3 minutos. Esta técnica se utiliza para mejorar la calidad de la harina de plátano. Lo que se logra es lo siguiente: Retrasar el pardeamiento enzimático, Proteger los nutrientes, Mejorar la vida útil**.**

- **Rebanado o Corte de plátano**

En esta operación unitaria se disponen el tamaño y uniformidad del plátano pelado. El corte busca, Reducir el tamaño, Homogeneizar el tamaño, Obtener la textura deseada Se cortan rodajas transversales

- **Secado**

En esta operación los cortes de plátano ingresan en bandejas, al deshidratador para eliminar la humedad del plátano hasta obtener un contenido inferior al 9% a 10%. Este método nos permite un secado rápido y uniforme, con un mejor control de la temperatura y la humedad.

- **Enfriamiento seco**

En esta operación unitaria se retira del horno deshidratador las bandejas que están con las tajadas de plátano seco, las cuales están calientes y requieren enfriamiento a una temperatura ambiente durante 30 minutos, ya que así se evita que el producto empiece emitir vapor y acumule humedad nuevamente.

- **Molienda del plátano seco**

Es la etapa final en la elaboración de harina de plátano. Consiste en triturar los plátanos secos hasta obtener una textura fina y homogénea. La molienda reduce el tamaño de las partículas de plátano hasta obtener una harina con la textura deseada.

- **Empacado**

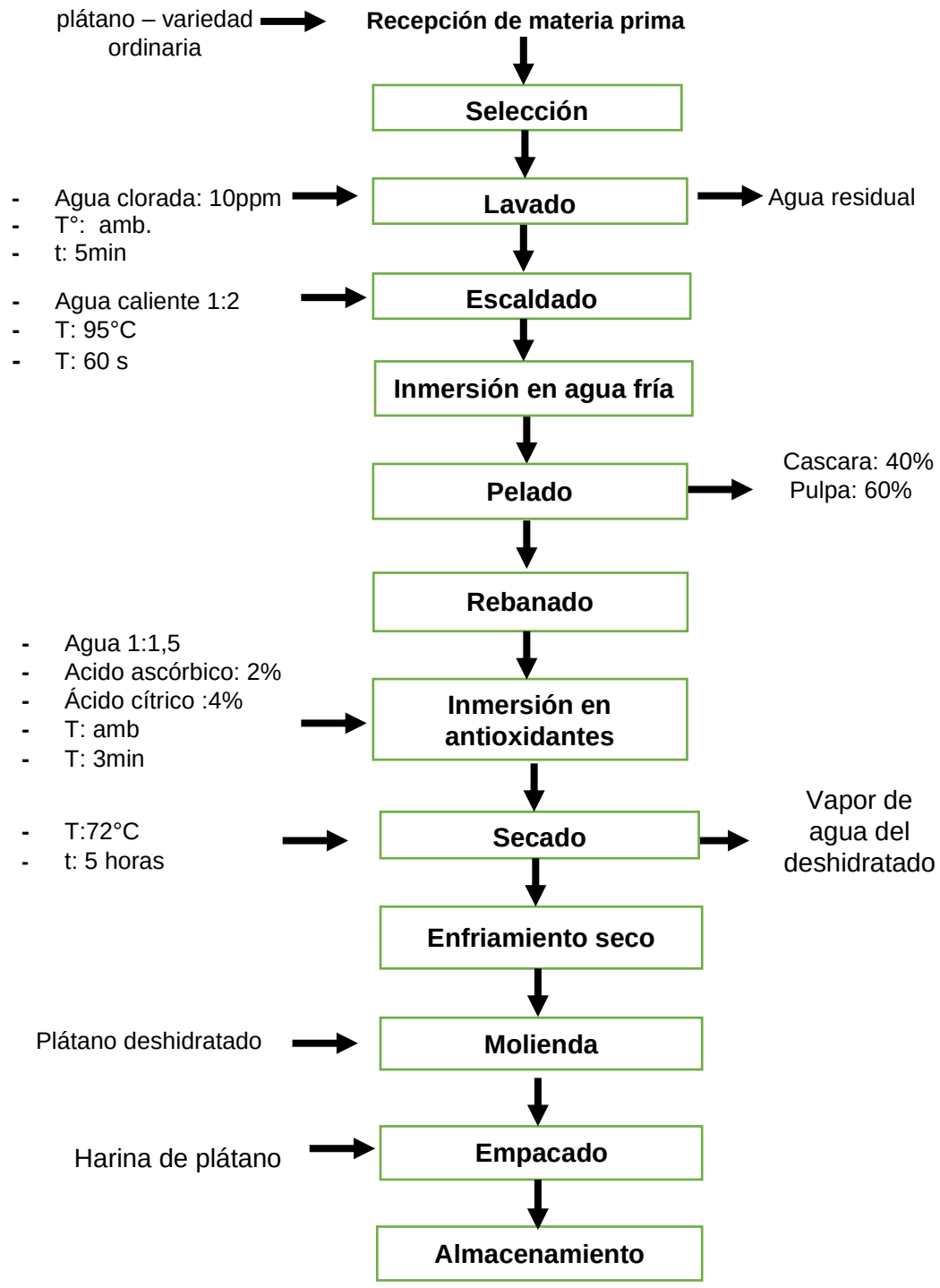
Se empaca en bolsas trasminadas o bolsa de papel Kraft resistentes a la humedad

- **Almacenamiento**

Almacenar de forma adecuada y ordenada la harina de plátano para mantener su calidad durante un período de tiempo prolongado. Almacenar la harina en un lugar fresco, seco y oscuro a temperatura es entre 10 y 20 °C.

Figura 7.

Diagrama de flujo de la obtención de harina de plátano de la variedad ordinario



3.4.3.1.2. Obtención de harina de yuca

- **Recepción de Materia Prima**

En la recepción se verifica que las yucas crudas cumplan ausencia de daños mecánicos, ausencia de pudriciones o manchas.

- **Selección**

Se selecciona las raíces de yuca crudos para eliminar las impurezas que se encuentran adheridas a la superficie de las raíces, como arena, piedras, malezas, etc.

- **Lavado**

Se lava las raíces de yuca cruda con agua dentro de una tina para retirar de ellas la tierra e impurezas que traen, la cascarilla o piel delgada se separa debido a la fricción entre las raíces

- **Pelado**

Este proceso consiste en eliminar las cáscaras de las yucas crudas con la ayuda de cuchillo o herramienta sin filo, para que se encuentren limpias.

- **Rebanado o troceado**

Se Las raíces de yuca cruda se reducen de tamaño para facilitar el secado y la posterior molienda, Las dimensiones del grosor de las rebanadas oscilan entre los 2 y los 3 mm, los trozos de la yuca se disponen en las bandejas de secado tratando de disponerlas en capas de máximo 5 cm.

- **Secado**

En esta operación se elimina el agua contenida en los trozos de yuca hasta una humedad inferior al 7% en base húmeda a una temperatura entre 60 a 75 °C El aire caliente suministra el calor necesario para evaporar la humedad del material.

- **Enfriamiento seco**

En esta operación unitaria se retira del horno deshidratador las bandejas que están con las tajadas secas, las cuales están calientes y requieren enfriamiento a una temperatura ambiente durante 30 minutos, ya que así se evita que el producto empiece emitir vapor y acumule humedad nuevamente.

- **Molienda**

Consiste en triturar las yucas secas en un molino de martillos hasta obtener una textura fina y homogénea. La molienda reduce el tamaño de las partículas hasta obtener una harina con la textura deseada.

- **Empacado**

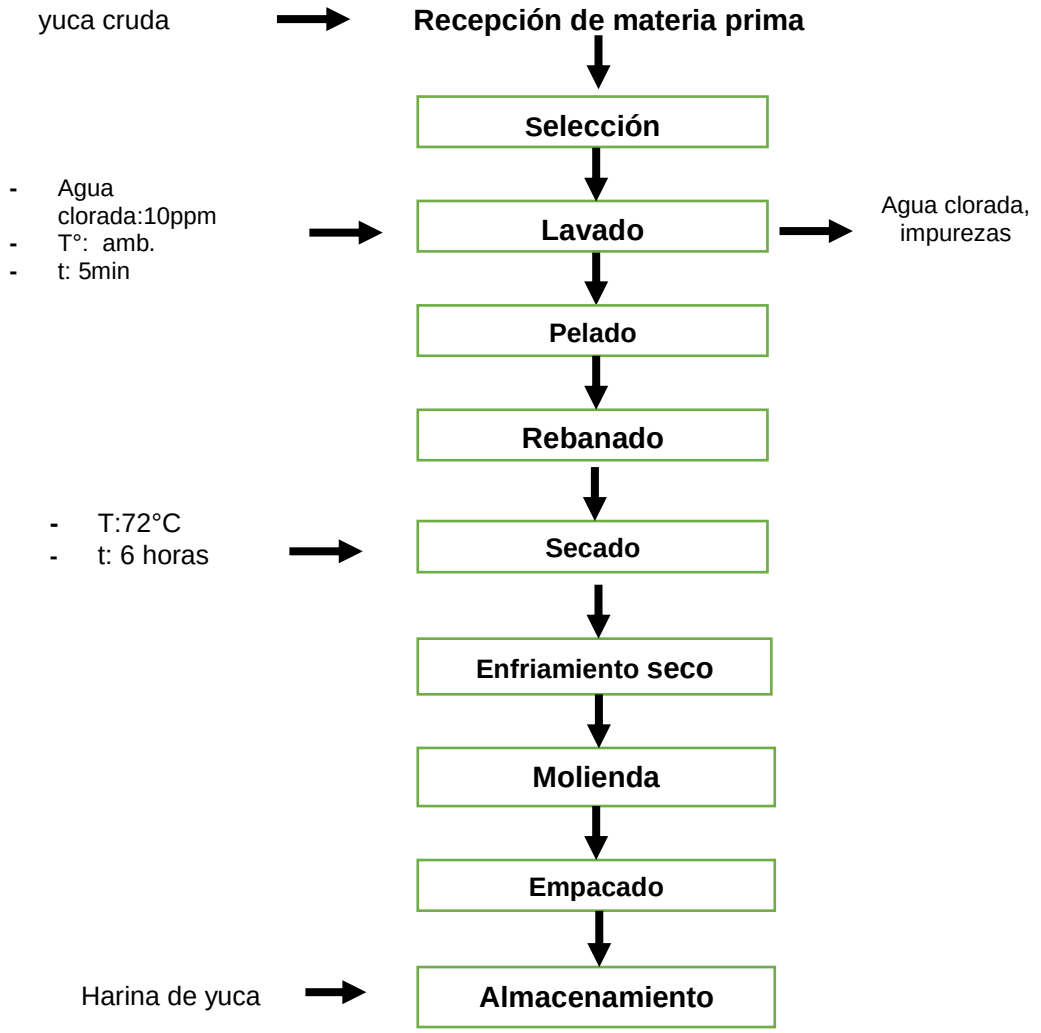
Se empaca en bolsas trasminadas o bolsa de papel Kraft resistentes a la humedad

- **Almacenamiento**

Almacenar de forma adecuada y ordenada la harina para mantener su calidad durante un período de tiempo prolongado. Almacenar la harina en un lugar fresco, seco y oscuro.

Figura 8.

Diagrama de flujo de la obtención de harina de yuca



3.4.3.1.3. Obtención de harina de maíz morada

- **Recepción de Materia Prima**

El maíz morado es ingresado en mazorcas o granos, para evaluar su calidad visual, coloración y estado general.

- **Selección y limpieza**

Se retira las impurezas externas, restos de hojas, piedras y granos degradados para asegurar la pureza del producto.

- **Acondicionamiento**

Después del lavado, se preparó el maíz morado para las siguientes operaciones del proceso, procurando que los granos estuvieran en condiciones adecuadas para realizar la desgerminación

- **Desgerminación**

Se remueve mecánicamente el germen y la cáscara (pericarpio) del grano de maíz, separándolos del endospermo, que es la parte rica en almidón requerida para la harina.

- **Separación y enfriamiento**

Se clasifican las fracciones obtenidas en la desgerminación (separando el germen del endospermo) y se reduce la temperatura generada por la fricción mecánica.

- **Secado**

En esta operación el maíz ingresa en bandejas, al deshidratador para eliminar la humedad hasta obtener un contenido inferior al 9% a 10%. Este método nos permite un secado rápido y uniforme, con un mejor control de la temperatura y la humedad.

- **Enfriamiento seco**

En esta operación se retira el grano ya deshidratado, las cuales requieren enfriamiento a una temperatura ambiente durante 30 minutos, ya que así se evita que el producto empiece emitir vapor y acumule humedad nuevamente.

- **Molienda**

Es la etapa Consiste en triturar endospermos secos hasta obtener una textura fina y homogénea.

- **Empacado**

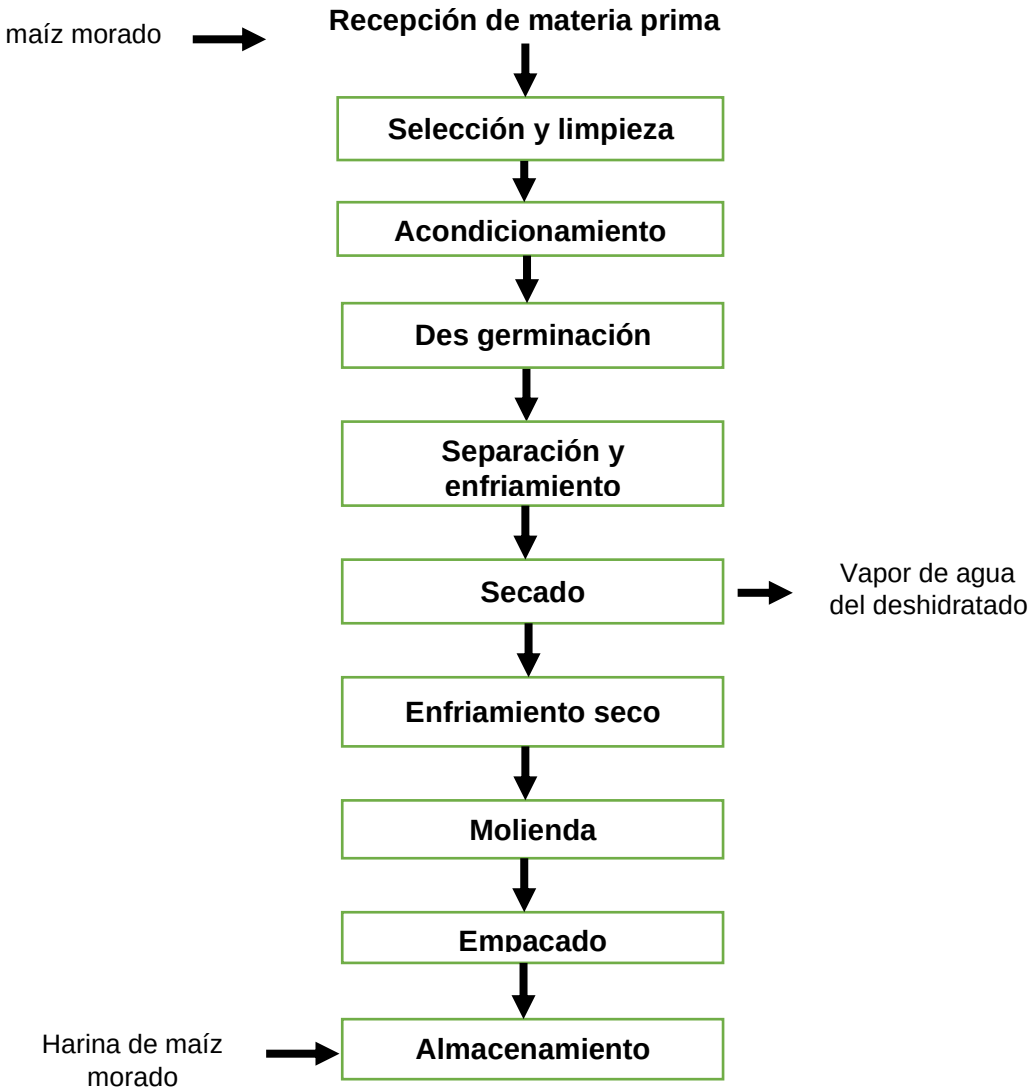
La harina obtenida se dosifica y sella herméticamente en envases aptos que la protejan de la humedad ambiental y de la luz.

- **Almacenamiento**

Almacenar de forma adecuada y ordenada la harina para mantener su calidad durante un período de tiempo prolongado. Almacenar la harina en un lugar fresco, seco y oscuro.

Figura 9.

Diagrama de flujo de la obtención de harina de maíz morada



3.4.3.2. Formulación base del pan de molde

Para la elaboración del pan de molde enriquecido, se parte de una formulación estándar ampliamente utilizada en la industria panificadora, la cual permite obtener una masa con características adecuadas de elasticidad, fermentación y estructura, además de una miga suave y un producto de buena aceptación sensorial. La formulación base empleada en este proyecto se presenta en la Tabla 13. Esta base se utilizará como punto de referencia para la incorporación de harinas nutritivas en sustitución parcial de la harina de trigo.

Tabla 14.

Formulación base del pan de molde.

Ingrediente	Cantidad (%)	Función tecnológica principal
Harina de trigo	30-38	Base estructural del pan
Harina de plátano	2-8	Añade sabor, humedad y fibra
Harina de yuca	2-8	Aporta almidón, textura suave
Harina de maíz morado	2-5	Color, antioxidantes, sabor
Agua	30,7	Ajustar según absorción de harinas
Levadura fresca	1,9	Agente fermentador, producción de CO_2
Azúcar	4,4	Realza sabor, ayuda a fermentación
Sal	1,3	Realce de sabor, regulación de fermentación
Mantequilla	4,4	Mejora textura, suavidad y vida útil
Mejorador	1,3	Aumento de volumen, estabilidad de la masa
Leche en polvo	3,8	Mejora del color de la corteza y valor Nutritivo
Gluten	1,3	Refuerzo estructural de la miga y retención de gas
Antimoho	0,1	Inhibidor de hongos y extensión de la vida útil
Mixo	1	Acondicionador de masa y estandarización del alveolado

Nota: Esta formulación base ha sido adaptada de recomendaciones técnicas proporcionadas por autores como Gómez, M., Del Real, et al., (2004), quienes indican que la proporción de agua y levadura puede ajustarse según el tipo de harina utilizada, condiciones ambientales y proceso de panificación. La incorporación de grasa (en forma de manteca o aceite) y mejoradores permite obtener una miga más esponjosa, mejorar la vida útil del producto y favorecer la maquinabilidad de la masa. (Zanoni, Cappelle, & Decock, (2007; Mancebo, C., Martínez, M., et al., 2017) *mas detallado se encuentra en el anexo 9.

3.4.3.2.1 Descripción del Proceso de elaboración de pan molde

- **Recepción:**

Se recibieron las harinas de trigo, plátano, yuca y maíz morado, así mismo los demás ingredientes para la elaboración del pan de molde. Se verificaron todos los ingredientes para comprobar si se encuentran en adecuadas condiciones para su procesamiento.

- **Pesado:**

Se pesaron las harinas y los demás ingredientes de acuerdo con las proporciones establecidas para cada uno de los nueve tratamientos experimentales (T1–T9), con la finalidad de garantizar la precisión de las formulaciones.

- **Mezclado y amasado**

Se incorporaron primero las harinas y los ingredientes secos realizando el mezclado, segundo se añade agua diluida con azúcar, sal y mixo y finalmente la levadura y mantequilla. Amasar hasta obtener una masa homogénea y elástica aproximadamente durante 8 a 15 minutos.

- **Primera Fermentación**

Dejar fermentar en bloque 1 hora, tapado, a temperatura ambiente.

- **Pesado y moldeado:**

La masa obtenida se dividió y pesó en porciones uniformes, las cuales se colocaron en moldes para proporcionar al producto la forma característica del pan de molde.

- **Segunda Fermentación**

Las masas moldeadas se sometieron a fermentación a una temperatura de 35 °C, durante un periodo de 1 a 2 horas, de acuerdo con las condiciones establecidas en el proceso experimental. Durante esta etapa, la actividad de la levadura favoreció la producción de dióxido de carbono y el incremento del volumen de la masa.

- **Horneado**:

Las masas fermentadas se sometieron a horneado a una temperatura de 180 °C durante 45 minutos. Esta operación permitió la formación de la estructura interna del pan y el desarrollo de sus características de color, sabor, olor y textura.

- **Enfriado**:

Dejar enfriar sobre rejilla antes de cortar a temperatura ambiente, entre 22 y 25 °C, hasta alcanzar condiciones adecuadas para su manipulación y posterior empaquetado.

- **Empaquetado:**

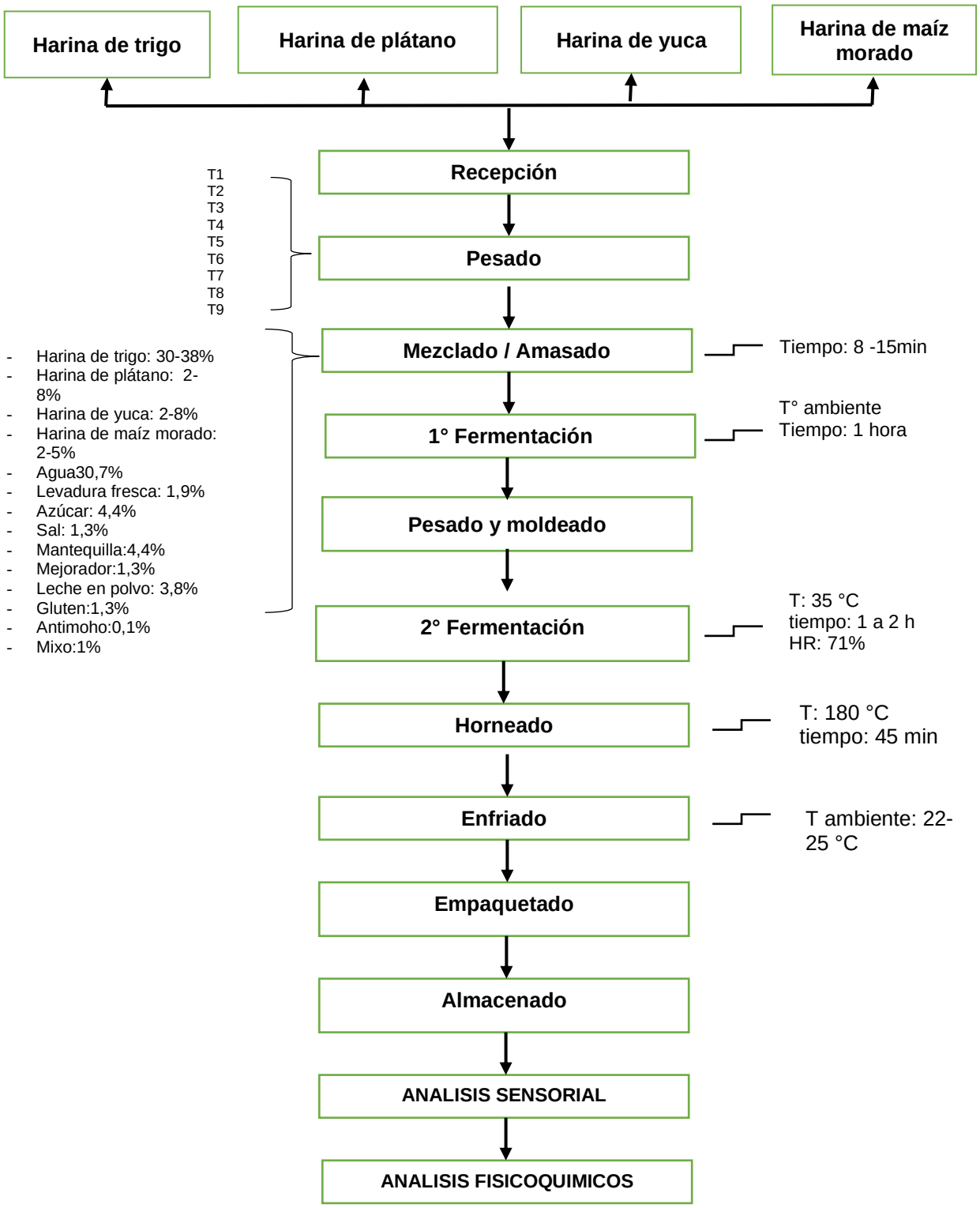
Una vez enfriados, los panes se cortan y colocaran en envases apropiados para alimentos, con la finalidad de protegerlos de la contaminación externa y contribuir a la conservación de sus características de calidad.

- **Almacenado:**

Los panes empaquetados se almacenaron en condiciones adecuadas hasta el momento de realizar las evaluaciones correspondientes.

Figura 10.

Esquema del análisis de muestreo de la Elaboración y caracterización tecno-funcional, nutricional y sensorial de un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (Musa paradisiaca L.), yuca (Manihot esculenta) y maíz morado (Zea mays L.).



3.4.4. Población y muestra

3.4.4.1. Población

Constituida por todas las posibles formulaciones de pan molde que se podrían desarrollar a partir de combinaciones proporcionales de harina de trigo, harina de plátano *(Musa paradisiaca L.)*, harina de yuca (*Manihot esculenta*) y harina de maíz morado (*Zea mays L.),* cuyos rangos se establecieron en función de antecedentes científicos y pruebas preliminares. Estas formulaciones representan un universo infinito de posibles mezclas, sujetas a la condición de que la suma total de los componentes sea igual al 100 %**.**

3.4.4.2. Muestra

Se empleo un Diseño de Mezclas de vértices extremos optimizado mediante el criterio D-Optimal con proporciones determinadas dentro de los siguientes rangos establecidos:

- Harina de trigo: 30 % - 38 %
- Harina de plátano: 2 % – 8 %
- Harina de yuca: 2 % – 8 %
- Harina de maíz morado: 2 % – 5 %

3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según Hernández Sampieri & Mendoza, C., (2018), mencionan que las técnicas son los métodos empleados para recolectar los datos e información necesarios en una investigación. Entre las técnicas más utilizadas se encuentran el análisis bibliográfico, que consiste en revisar la literatura existente sobre un tema con el fin de identificar casos similares que sirvan como base teórica. La observación, por su parte, implica la recopilación de datos a través de la percepción directa de fenómenos. La experimentación, en cambio, se realiza mediante la modificación de variables en entornos controlados para evaluar cómo la muestra responde a diferentes estímulos. Finalmente, los análisis de laboratorio y sensoriales se emplean para estudiar las propiedades y características de un producto.

3.4.5.1. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

a. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas que fueron empleadas son las siguientes:

- **Encuesta**: Se implementó un formato de encuesta para evaluar la aceptación comercial y la factibilidad de mercado del producto; como instrumento se empleará el cuestionario.
- **Análisis documental**: Consistió en el levantamiento sistemático de información proveniente de fuentes secundarias especializadas, tales como artículos de investigación, memorias técnicas, anuarios estadísticos y publicaciones sectoriales. Su aplicación permitió caracterizar la disponibilidad de materia prima, la estructura de la competencia, los requerimientos tecnológicos del proceso y los parámetros para la estimación de inversiones.

b. Medición de datos

- **Cuestionario**: Diseño a los pobladores de la provincia de Huamanga orientados hacia el consumo de alimentos funcionales con valor nutricional agregado.
- **Ficha de evaluación sensorial**: Para la evaluación sensorial de pan de molde se utilizó la escala hedónica de 5 puntos, considerando el valor 1 “me disgusta mucho” hasta el valor 5 “me gusta mucho” para para determinar el tratamiento con mayor aceptabilidad.

c. Análisis de datos del proyecto

Una vez consolidados los registros obtenidos en la fase de campo, se procedió al procesamiento analítico e interpretación de los datos. Este procedimiento permitió evaluar los indicadores del estudio de mercado, técnicos y económicos, constituyendo el fundamento cuantitativo para la formulación de estrategias y la toma de decisiones sobre la viabilidad del trabajo de investigación.

CAPITULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSION

Tabla 15.

Comportamiento tecnológico del pan molde enriquecido (volumen y textura estructural) en función de diferentes niveles de harina de plátano, yuca y maíz morado.

N° Trat.	Variables independientes				Variables dependientes		
	H_trigo	H_plátano	H_yuca	H_maíz_M	Volumen	Humedad	Estructura de la miga
T1	75	15	5	5	3,42	36,5	Alveolos medianos, con distribución regular
T2	70	15	5	10	3,15	37,2	Alveolos medianos a pequeños, miga moderadamente densa
T3	75	5	15	5	3,55	38	Alveolos uniformes de tamaño medio, textura aceptable
T4	70	5	15	10	3,28	38,5	Alveolos heterogéneos medianos, pequeño grande densidad intermedia
T5	65	15	15	5	2,85	39,4	Paredes alveolares gruesas, miga densa y compacta
T6	60	15	15	10	2,45	40,2	Alveolos muy pequeños y cerrados, miga pesada y baja elasticidad
T7	75	10	5	10	3,3	36,8	Alveolos mixtos, miga elástica con poro definido
T8	75	5	10	10	3,38	37,5	Alveolos medianos con distribución irregular
T9	70,625	10,625	10,625	8,125	3,12	38,1	Porosidad abierta, miga esponjosa y flexible

Los resultados obtenidos en la Tabla 15 evidencian que la sustitución de harina de trigo por harinas de plátano, yuca y maíz morado afecta significativamente las características físicas del pan molde, dependiendo del nivel y combinación de sustitución. Los tratamientos T3 (75% trigo, 5% plátano, 15% yuca, 5% maíz morado) y T1 (75% trigo, 15% plátano, 5% yuca, 5% maíz morado) presentaron los volúmenes más elevados (3.55 y 3.42 respectivamente), mientras que los tratamientos con mayor nivel de sustitución total (T5, T6) mostraron los volúmenes más reducidos (2.85 y 2.45).

Este comportamiento coincide con lo reportado por Sánchez y Arévalo (2022) en sustitución parcial de harina de trigo, donde se ha observado que niveles de sustitución superiores al 20% comprometen el volumen del pan molde. La harina de trigo contiene gluten, una red viscoelástica formada por gluteninas y gliadinas que confiere cualidades tecnológicas esenciales para la retención de gas durante la fermentación y el horneado. Al reemplazar parcialmente la harina de trigo con harinas no panificables (plátano, yuca y maíz morado), se reduce la concentración de gluten, afectando la capacidad de retención de CO_2 y, consecuentemente, el volumen específico del producto.

Los tratamientos con mayor proporción de harina de yuca (T3 y T4: 15%) mantuvieron volúmenes aceptables, lo que sugiere que la harina de yuca, rica en almidón, contribuye a la estructura del pan mediante la gelatinización del almidón durante el horneado. Rojas (2020), Quintanilla (2022) sobre el uso de raíces y tubérculos en panificación señalan que el almidón desempeña un rol fundamental en las características de horneado, el volumen específico y la estructura de la miga. Sin embargo, la alta humedad registrada en los tratamientos T3 (38%) y T4 (38.5%) indica que la yuca incrementa la capacidad de retención de agua, lo cual puede ser beneficioso para la vida útil del producto, pero requiere ajustes en la formulación.

La harina de plátano, por su parte, cuando se utiliza en proporciones elevadas (15% en T5 y T6), parece afectar negativamente la estructura de la miga, generando paredes alveolares gruesas y una miga densa y compacta. Martínez (2017) y Kusano (2023) han concluido que la harina de plátano verde puede emplearse en producción de panes preferiblemente hasta un 7%, ya que su adición aporta fibra dietética y almidón resistente, pero niveles superiores comprometen la textura.

Evaluación de las propiedades tecno-funcionales

La reducción progresiva del volumen específico al disminuir el porcentaje de harina de trigo (del 75% al 60%) se atribuye principalmente al efecto de dilución de las proteínas formadoras de gluten (gliadinas y gluteninas). Esto debilita la matriz viscoelástica de la masa, reduciendo su capacidad de viscoelasticidad y la retención del gas dióxido de carbono (CO_2) generado durante la fermentación alcohólica (Aristizábal et al., 2017). Asimismo, la incorporación de harina de maíz morado aporta polifenoles y fibras insolubles que interfieren mecánicamente en la formación continua de las redes proteicas, acelerando la pérdida de estabilidad durante la fermentación (Comettant-Rabanal et al., 2025). Por su parte, la harina de plátano verde, al carecer de proteínas formadoras de red viscoelástica y poseer partículas de almidón y fibra rígidas, genera un colapso parcial de la estructura del pan durante el horneado, limitando la expansión volumétrica de la barra (Juárez-García et al., 2006).

Evaluación morfológica y propiedades tecno funcionales

- Inclusión excesiva de sustitutos (T5, T6, T8): La sustitución elevada de harina de trigo diluye las proteínas formadoras de gluten (gliadinas y gluteninas). Esto debilita la red viscoelástica, reduce la capacidad de retención de CO_2 y genera migas densas, compactas y pesadas, afectando negativamente el volumen específico y la elasticidad.
- Distribución heterogénea (T4, T7): Presentan alveolos mixtos e irregulares con macro cavidades. Esto ocurre cuando la red de gluten es discontinua, permitiendo la coalescencia de burbujas de gas durante la fermentación, lo que deriva en una textura inestable.
- Muestras sin sustitución o bajas en pigmento (T1, T9): Exhiben una porosidad abierta y esponjosa debido a la dominancia del gluten de trigo, pero no integran el valor funcional ni el color distintivo que aportan las antocianinas del maíz morado.
- El (T3) destaca como la mejor formulación al lograr la proporción adecuada de harinas (trigo, plátano, yuca y maíz morado), manteniendo el equilibrio entre enriquecimiento nutricional y propiedades reológicas:

  Volumen Específico: Desarrolla alveolos uniformes de tamaño medio, lo que demuestra una capacidad de retención de gas suficiente para sostener la estructura de la miga durante el horneado sin colapsar, maximizando el volumen específico frente a otros tratamientos enriquecidos.

  Textura Suave y Elástica: Logra una "textura aceptable" y una porosidad regular. La harina de yuca aporta almidón que flexibiliza la matriz, mientras que la harina de plátano y maíz morado complementan la viscosidad sin generar la dureza observada en T5 o T6.

Figura 11.

Características morfológicas de la miga

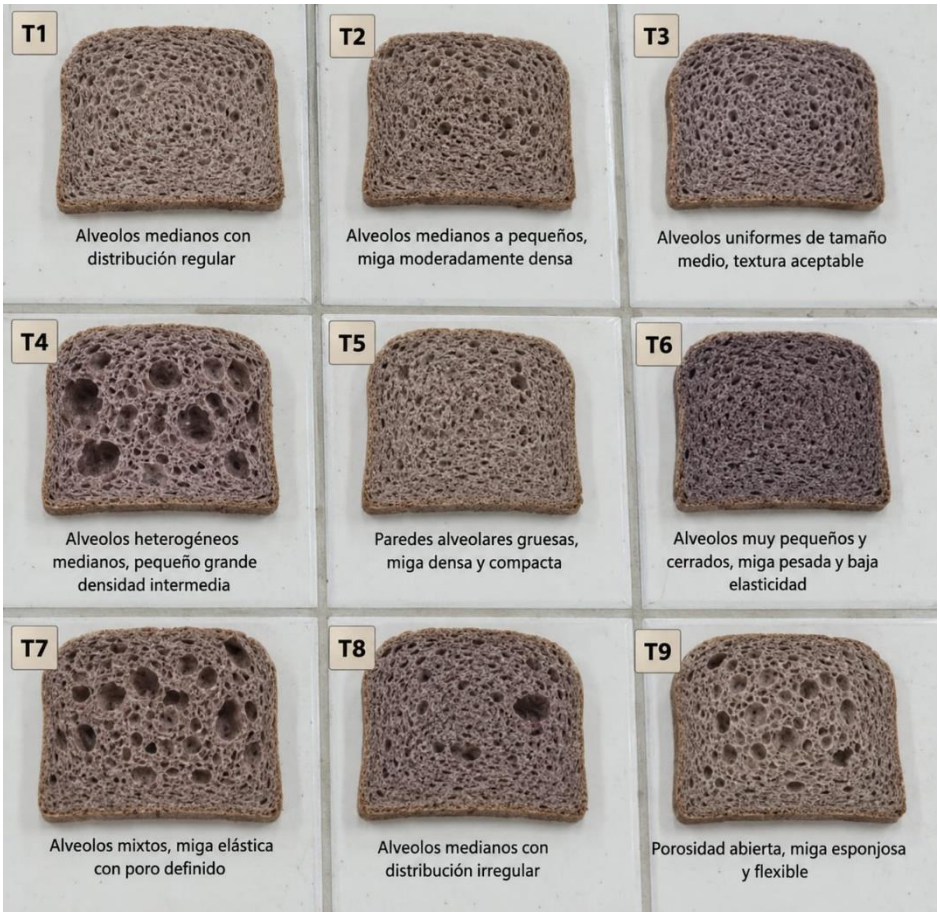


Tabla 16.

Análisis de varianza para Volumen (proporciones del componente)

F de V	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Regresión	3	0,86489	0,288295	37,23	0,001
Lineal	3	0,86489	0,288295	37,23	0,001
Error residual	5	0,03871	0,007743		
Total	8	0,9036			

Tabla 17.

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (Pred)
0,0879939	95,72%	93,14%	0,117711	86,97%

Tabla 18.

Coeficientes de regresión estimados para Volumen (cantidades del componente)

Término	Coef
H trigo	0,0504524
H plátano	-0,0168296
H yuca	-0,0034963
H maíz morado	-0,0222245

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable dependendiente volumen y el resumen del modelo confirman que la proporción de componentes en la mezcla ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre el volumen del pan de molde enriquecido ($p = 0.001$).

- La regresión lineal reporta un estadístico $F = 37.23$ con un p-valor $= 0.001$ ($p < 0.05$). Esto rechaza la hipótesis nula y demuestra que las proporciones de las harinas de trigo, plátano, yuca y maíz morado determinan de forma significativa el volumen del producto final.

- Distribución del error: La suma de cuadrados del modelo ($SC = 0.86489$) explica la casi totalidad de la suma de cuadrados total ($SC_{\text{Total}} = 0.9036$), dejando una suma de cuadrados residual mínima ($SC = 0.03871;\ CM = 0.007743$). Esto evidencia un error experimental bajo y un adecuado control de las variables de proceso durante el horneado.

El fuerte ajuste lineal observado refleja el impacto directo del reemplazo de harina de trigo por harinas no panificables sobre la capacidad de retención de gas (CO_2) de la masa. La sustitución progresiva de harina de trigo diluye las proteínas formadoras de gluten (gliadinas y gluteninas), afectando la viscoelasticidad de la matriz.

Mientras que el almidón de la harina de yuca promueve la gelatinización y ayuda a sostener parcialmente las paredes alveolares, la presencia de fibra insoluble en la harina de plátano y el contenido de antocianinas y polifenoles de la harina de maíz morado pueden interferir en el desarrollo de la red tridimensional de gluten. La significancia del modelo lineal permite utilizar este modelo estadístico como herramienta para predecir y ajustar las proporciones de harina requeridas para alcanzar el volumen específico deseado en el pan de molde enriquecido.

Tabla 19.

Análisis de varianza para Humedad (proporciones del componente)

F de V	GL	SC	CM	Valor F	Valor p
Regresión	3	11,4921	3,83071	133,55	0
Lineal	3	11,4921	3,83071	133,55	0
Error residual	5	0,1434	0,02868		
Total	8	11,6356			

Tabla 20.

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	PRESS	R-cuadrado (Pred)
0,169364	98,77%	98,03%	0,445774	96,17%

Tabla 21.

*Coeficientes de regresión estimados para Humedad (cantidades del componente**)***

Término	Coef
H_trigo	0,323851
H_platano	0,460774
H_yuca	0,600774
H_maiz morado	0,476466

El análisis de varianza (ANOVA), los estadísticos de ajuste y los coeficientes de regresión demuestran que la proporción de los componentes del diseño de mezclas ejerce un efecto altamente significativo ($p < 0.001$) sobre la humedad del pan de molde enriquecido.

- La regresión lineal reporta un estadístico $F = 133.55$ con un p-valor $= 0.000$ ($p < 0.001$). Esto confirma que las proporciones de las harinas de trigo, plátano, yuca y maíz morado determinan directamente la retención de agua en el producto.
- Bajo error experimental: La suma de cuadrados de la regresión ($SC = 11.4921$) explica casi la totalidad de la variación total ($SC_{\text{Total}} = 11.6356$), dejando un error residual mínimo ($SC = 0.1434$; $CM = 0.02868$). Esto refleja precisión en el control del proceso de horneado y en el análisis fisicoquímico.

Los coeficientes cuantifican la contribución directa de cada harina sobre la humedad final del pan:

- Harina de yuca (Coef $= 0.600774$): Presenta el mayor efecto positivo sobre la humedad. Esto se debe a la elevada proporción de almidón de yuca (rico en

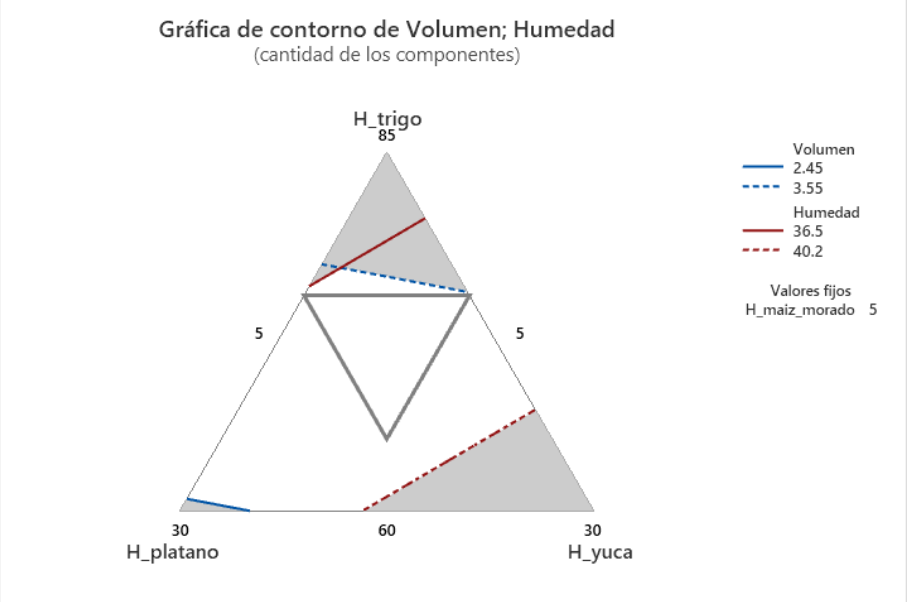
amilopectina), que gelatiniza eficientemente a temperaturas de horneado y atrapa agua libre mediante puentes de hidrógeno.

- Harina de maíz morado (Coef $= 0.476466$) y Harina de plátano (Coef $= 0.460774$): Aportan un nivel intermedio-alto de humedad. Ambos componentes contienen polisacáridos no amiláceos y fibra dietética (incluyendo almidón resistente en el plátano) con alta capacidad de absorción y retención de agua (CRA).
- Harina de trigo (Coef $= 0.323851$): Registra el coeficiente más bajo. Aunque la red viscoelástica formadora de gluten retiene humedad, la mayor presencia de carbohidratos altamente hidrofílicos en las harinas de sustitución desplaza el equilibrio, reteniendo mayor cantidad de agua en las mezclas enriquecidas.

Según Radoi (2023) el incremento progresivo de harinas sucedáneas (especialmente yuca y plátano) eleva la humedad final del pan de molde. Este fenómeno es deseable para mantener la frescura inicial de la miga y reducir la retrogradación del almidón a corto plazo. Sin embargo, para la formulación óptima (como el tratamiento T3), la proporción debe mantenerse balanceada: una humedad excesivamente alta podría comprometer la firmeza estructural de la miga, generar plasticidad no deseada o acelerar el deterioro microbiológico durante el almacenamiento.

Figura 12.

Contorno de volumen Y humedad



Se evidencia en la figura 10 que el volumen alcanza su valor más elevado (3.55) en el ápice superior de la región experimental, dominado por mayor proporción de H_{trigo}, y cae hasta 2.45 hacia la esquina inferior izquierda al aumentar $H_{platano}$.

La harina de trigo contiene gliadinas y gluteninas que constituyen la red tridimensional de gluten, responsable de la viscoelasticidad y la capacidad de retención del gas CO_2 liberado durante la fermentación (Cauvain, 2015). La sustitución parcial por harinas no panificables (plátano y yuca) diluye la proteína formadora de red y aporta fibra no soluble que rompe mecánicamente los alveolos de la miga, reduciendo la expansión alveolar y el volumen final del pan (Aristizábal et al., 2017; Eduardo et al., 2013).

La humedad se incrementa progresivamente desde 36.5% en la región rica en H_{trigo} hasta valores de 40.2% cerca de la base del triángulo, impulsada por proporciones más altas de H_{yuca} y $H_{platano}$.

Las harinas sucedáneas presentan una Capacidad de Retención de Agua (CRA) superior a la del trigo debido al alto contenido de almidón disponible para gelatinización y a la presencia de polisacáridos no amiláceos con abundantes grupos hidroxilo libres (Idowu et al., 2019; Aparicio-Saguilán et al., 2007). El almidón de yuca atrapa y fija el agua libre durante la cocción, incrementando significativamente la humedad residual del pan de molde (Defloor et al., 1993).

LA figura delimita un compromiso de calidad: proporciones elevadas de H_{yuca} benefician la humedad y frescura de la miga, pero comprometen el volumen si H_{trigo} decae excesivamente. La fijación del 5% de H_{maiz_morado} asegura la incorporación de compuestos bioactivos (antocianinas) sin distorsionar drásticamente el comportamiento reológico. La región óptima de formulación se ubica en la franja intermedia-alta del dominio practicable, alcanzando volúmenes superiores a 3.00 con un contenido de humedad equilibrado en el rango de 36.5% a 38.5%.

Análisis de las variables sensoriales

Tabla 22.

Análisis de la Textura de pan de molde

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	Valor F	Valor p	
Media vs Total	168,20	1	168,20			
Lineal vs Media	1,61	3	0,5356	2,04	0,1483	
Cuadrático vs Lineal	**3,19**	**6**	**0,5322**	**5,32**	**0,0104**	**Sugerido**
Cúbico esp. vs Cuadrático	0,0000	0				Aliado
Residual	10,000	10	0,1000			
Total	174,00	20	8,70			

Análisis. El análisis de varianza (ANOVA) para la variable Textura mostró que el modelo cuadrático fue estadísticamente significativo (p = 0.0104), confirmando que las interacciones de segundo orden entre los componentes de la mezcla explican de manera relevante la variabilidad en la textura del pan de molde.

El modelo lineal no alcanzó significancia (p = 0.1483), lo que indica que los efectos simples de las proporciones de trigo, plátano, yuca y maíz morado no son suficientes para explicar el comportamiento de la textura. En cambio, el ajuste cuadrático capturó mejor las tendencias, con un F = 5.32 y un cuadrado medio de 0.5322, lo que respalda su pertinencia.

El error residual fue bajo (MS = 0.1000), lo que refleja una buena precisión experimental y confirma la confiabilidad de los resultados.

El modelo cuadrático es el más adecuado para describir la textura, siendo estadísticamente significativo.

La textura depende principalmente de las interacciones entre los componentes, más que de los efectos individuales.

El bajo nivel de error residual valida la consistencia de los datos y la robustez del modelo.

Tabla 23.

Análisis de varianza ANOVA de la Textura

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	Valor F	Valor p
Modelo	4,80	9	0,5333	5,33	0,0076
(1) Mezcla lineal	1,61	3	0,5356	5,36	0,0185
AB	0,0062	1	0,0062	0,0623	0,8080
AC	0,1995	1	0,1995	1,99	0,1882
AD	1,32	1	1,32	13,15	0,0046
BC	0,0894	1	0,0894	0,8943	0,3666
BD	1,15	1	1,15	11,54	0,0068
CD	1,71	1	1,71	17,05	0,0020
Error puro	10,000	10	0,1000		
Total, corregido	5,80	19			

Nota: Significativo (p < 0,05). La inferencia para mezclas lineales utiliza sumas de cuadrados Tipo I.

Donde:

- *A = Harina de trigo*
- *B = Harina de plátano*
- *C = Harina de yuca*
- *D = Harina de maíz morado*

Análisis. El análisis de varianza para la variable Textura mostró que el modelo cuadrático fue altamente significativo (p = 0.0076), confirmando que las interacciones de segundo orden entre los componentes de la mezcla explican de manera robusta la variabilidad en la textura del pan de molde.

El modelo lineal también alcanzó significancia (p = 0.0185), lo que indica que los efectos simples de las proporciones de las harinas tienen influencia sobre la textura, aunque el ajuste cuadrático captura mejor las tendencias observadas.

Respecto a las interacciones:

La combinación AD (trigo × maíz morado) fue significativa (p = 0.0046), mostrando un efecto importante en la textura.

La interacción BD (plátano × maíz morado) también resultó significativa (p = 0.0068).

La interacción CD (yuca × maíz morado) fue la más relevante (p = 0.0020), confirmando que la presencia del maíz morado en combinación con otros componentes influye de manera determinante en la estructura de la miga.

Las demás interacciones (AB, AC, BC) no fueron significativas (p > 0.05), lo que evidencia que su efecto sobre la textura es limitado.

El error puro (MS = 0.1000) fue bajo, lo que refleja una excelente precisión experimental y respalda la confiabilidad de los resultados.

El modelo cuadrático es el más adecuado y significativo para describir la textura.

Las interacciones con el maíz morado (AD, BD, CD) son las más determinantes en la variabilidad de la textura.

El bajo nivel de error residual confirma la consistencia de los datos y la robustez del análisis.

Tabla 24.

Componentes codificados de la mezcla en la textura

Componente	Estimación del coeficiente	GL	Error estándar	IC 95% Inferior	IC 95% Superior	VIF
A-Trigo	5,60	1	0,8578	3,69	7,51	31,93
B-Plátano	-0,1669	1	2,81	-6,42	6,09	123,13
C-Yuca	4,40	1	3,32	-3,01	11,81	203,23
D-Maíz Morado	67,94	1	18,12	27,57	108,31	1234,58
AB	-1,21	1	4,87	-12,06	9,63	59,69
AC	-8,83	1	6,25	-22,76	5,10	113,12
AD	-81,05	1	22,35	-130,85	-31,26	346,50
BC	6,19	1	6,54	-8,39	20,77	51,00
BD	-76,02	1	22,38	-125,87	-26,16	147,32
CD	-89,88	1	21,77	-138,38	-41,38	148,72

Análisis. El análisis de los coeficientes en términos de factores codificados para la variable Textura muestra la magnitud y dirección de los efectos de cada componente y sus interacciones sobre la respuesta:

Entre los factores principales, el maíz morado (D) presentó el coeficiente más alto y positivo (67.94), con un intervalo de confianza que no incluye el cero, confirmando su efecto significativo en la mejora de la textura.

El trigo (A) también mostró un efecto positivo (5.60), con un intervalo de confianza estrecho y claramente significativo.

La yuca (C) tuvo un efecto positivo moderado (4.40), aunque su intervalo de confianza incluye valores negativos, lo que indica variabilidad en el resultado.

El plátano (B) presentó un coeficiente cercano a cero (-0.1669), sin efecto significativo sobre la textura.

Respecto a las interacciones:

Las combinaciones AD (trigo × maíz morado), BD (plátano × maíz morado) y CD (yuca × maíz morado) mostraron coeficientes negativos significativos (-81.05, -76.02 y -89.88, respectivamente), con intervalos de confianza que no incluyen el cero. Esto confirma que, aunque el maíz morado mejora la textura de manera individual, su interacción con otros componentes tiende a reducirla.

Las demás interacciones (AB, AC, BC) no fueron significativas, mostrando efectos débiles o inconsistentes.

El maíz morado es el principal factor positivo en la textura, seguido por el trigo.

Las interacciones del maíz morado con otros componentes (AD, BD, CD) reducen la textura, lo que sugiere que su efecto depende de un balance adecuado en la formulación.

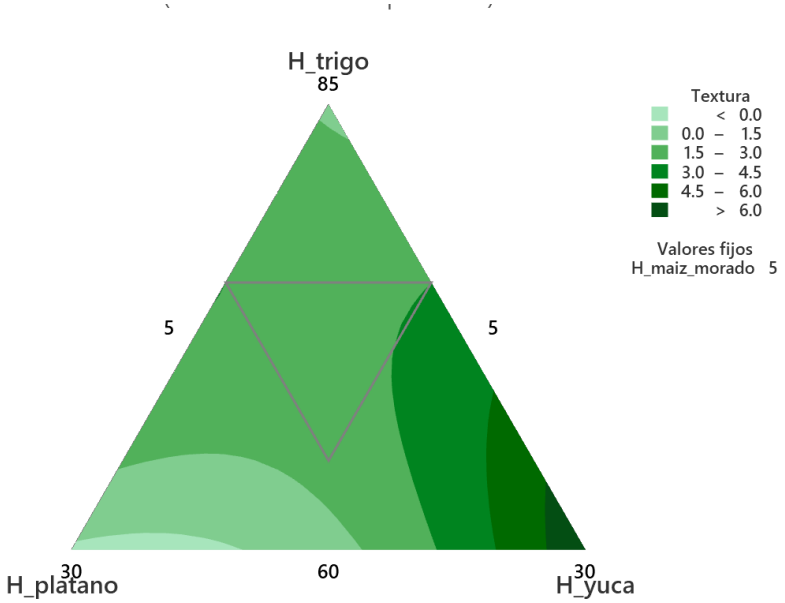
Ec. $Y = 5.60X_1 – 0.1669X_2 + 4.40X_3 + 67.94X_4 – 4.04X_1X_2 – 0.1892X_1X_3 – 81.05X_1X_4 – 6.83X_2X_3 – 76.02X_2X_4 – 89.88X_3X_4$

El plátano no aporta significativamente a la textura, mientras que la yuca tiene un efecto positivo pero variable.

Este resultado complementa lo observado en el ANOVA, donde las interacciones con el maíz morado fueron las más determinantes, confirmando su papel clave en la estructura de la miga del pan de molde enriquecido.

Figura 13.

Contornos para Textura



Análisis. La gráfica de contornos para la variable Textura (escala sensorial) muestra cómo varía esta característica en función de las proporciones de trigo (A), plátano (B) y yuca (C), manteniendo constante el nivel de maíz morado (D).

Se observa que las regiones con mayor proporción de trigo (A) tienden a concentrar los valores más elevados de textura, mientras que las áreas dominadas por plátano y yuca muestran valores más bajos.

Las curvas de contorno (1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 6.0) delimitan áreas de transición, confirmando que la textura depende principalmente de las interacciones con el maíz morado, tal como se evidenció en el ANOVA y en la tabla de coeficientes codificados.

En particular, las formulaciones con proporciones balanceadas de trigo y maíz morado generan una mejora significativa en la textura, mientras que las combinaciones excesivas con plátano o yuca tienden a reducirla.

El trigo y el maíz morado son los principales contribuyentes positivos a la textura.

Las interacciones del maíz morado con otros componentes (AD, BD, CD) tienden a reducir la textura, lo que obliga a un balance cuidadoso en la formulación.

El mapa de contornos constituye una herramienta visual clave para identificar las regiones de mezcla que optimizan la textura del pan de molde enriquecido.

Tabla 25.

Análisis del Olor del pan de molde

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	Valor F	Valor p	
Media vs Total	145,80	1	145,80			
Lineal vs Media	2,33	3	0,7753	2,11	0,1389	
Cuadrático vs Lineal	2,87	6	0,4790	1,60	0,2445	Sugerido
Cúbico esp. vs Cuadrático	0,0000	0				Aliado
Residual	3,00	10	0,3000			
Total	154,00	20	7,70			

Análisis. El análisis de varianza para la variable sensorial Olor mostró que el modelo cuadrático fue sugerido como el más adecuado para describir la variabilidad de la respuesta ($p = 0.2445$). Aunque este valor no alcanza significancia estadística estricta ($p < 0.05$), el ajuste cuadrático permite capturar mejor las tendencias de la mezcla en comparación con el modelo lineal.

El modelo lineal presentó un valor de $p = 0.1389$, también no significativo, lo que indica que los efectos simples de las proporciones de las harinas no explican de manera suficiente la variación en el olor. El error residual ($MS = 0.3000$) fue bajo, lo que refleja una buena precisión experimental y respalda la confiabilidad de los datos.

El modelo cuadrático, aunque no significativo, es el más apropiado para representar la respuesta de olor.

La variabilidad observada se explica mejor considerando interacciones de segundo orden entre los componentes de la mezcla.

El bajo nivel de error residual sugiere que los resultados son consistentes y que el modelo puede emplearse como base para la interpretación sensorial.

Tabla 26.

Análisis de varianza ANOVA del Olor

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	Valor F	Valor p
Modelo	**5,20**	**9**	**0,5778**	**1,93**	**0,1608**
Mezcla lineal	2,33	3	0,7753	2,58	0,1115
AB	0,2203	1	0,2203	0,7343	0,4116
AC	0,1711	1	0,1711	0,5702	0,4676
AD	0,2152	1	0,2152	0,7174	0,4168
BC	0,0716	1	0,0716	0,2388	0,6356
BD	0,0903	1	0,0903	0,3010	0,5953
CD	0,0538	1	0,0538	0,1792	0,6810
Error puro	3,00	10	0,3000		
Total, corregido	8,20	19			

***Nota**:* El modelo no es significativo ($p > 0,05$).

Análisis. El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la variable Olor mostró que el modelo cuadrático no alcanzó significancia global (p = 0.1608), lo que indica que, en conjunto, las variables independientes no explican de manera estadísticamente significativa la variabilidad del atributo sensorial olor en las formulaciones evaluadas.

Al desagregar los efectos individuales, se observa que ninguno de los términos del modelo (mezcla lineal, interacciones AB, AC, AD, BC, BD y CD) alcanzó significancia estadística (p > 0.05). Esto sugiere que la influencia de las proporciones de harinas y sus combinaciones sobre el olor del pan de molde es limitada o no consistente bajo las condiciones experimentales consideradas.

El error puro (MS = 0.3000) refleja una variabilidad experimental moderada, lo que respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos, aunque también evidencia que las diferencias percibidas en el olor podrían deberse más a variaciones inherentes al proceso de elaboración o a la percepción sensorial de los panelistas que a los factores de mezcla evaluados.

Aunque el modelo cuadrático no fue significativo en su totalidad, los resultados indican que el atributo olor del pan enriquecido con harinas de plátano, yuca y maíz morado no depende de manera clara de las proporciones de estas harinas. Este hallazgo es relevante para la optimización de la formulación, ya que sugiere que otros factores (como el proceso de horneado, la interacción con ingredientes menores o la intensidad de los compuestos volátiles) podrían tener un papel más determinante en la percepción sensorial del olor.

Tabla 27.

Componentes codificados de la mezcla en el Olor

Componente	Estimación del coeficiente	GL	Error estándar	IC 95% Inferior	IC 95% Superior	VIF
A-Trigo	5,58	1	1,49	2,27	8,89	31,93
B-Plátano	4,72	1	4,86	-6,11	15,55	123,13
C-Yuca	2,79	1	5,76	-10,04	15,62	203,23
D-Maíz Morado	21,81	1	31,38	-48,12	91,73	1234,58
AB	-7,23	1	8,43	-26,02	11,56	59,69
AC	-8,18	1	10,83	-32,30	15,95	113,12
AD	-32,78	1	38,71	-119,03	53,46	346,50
BC	-5,54	1	11,34	-30,80	19,72	51,00
BD	-21,26	1	38,75	-107,61	65,09	147,32
CD	-15,96	1	37,70	-99,96	68,04	148,72

Análisis: El análisis de los coeficientes en términos de factores codificados para la variable Olor muestra que ninguno de los componentes ni de las interacciones presenta intervalos

de confianza estrechos ni significancia estadística clara, lo que coincide con el ANOVA previamente descrito.

El componente A (trigo) presenta un coeficiente positivo (5.58) con un intervalo de confianza relativamente acotado (2.27 – 8.89), lo que sugiere una tendencia a incrementar la percepción del olor en el pan de molde, aunque no alcanza significancia estadística. En contraste, los componentes B (plátano) y C (yuca) muestran coeficientes positivos moderados (4.72 y 2.79, respectivamente), pero con intervalos de confianza muy amplios que incluyen valores negativos, lo que indica alta incertidumbre en su efecto. El componente D (maíz morado) presenta el coeficiente más elevado (21.81), pero acompañado de un error estándar muy alto y un intervalo de confianza extremadamente amplio (-48.12 – 91.73), lo que refleja una gran variabilidad y ausencia de significancia.

Respecto a las interacciones, todas (AB, AC, AD, BC, BD y CD) presentan coeficientes negativos, lo que sugiere que las combinaciones de harinas tienden a disminuir la percepción del olor. Sin embargo, nuevamente los intervalos de confianza son amplios y abarcan valores positivos y negativos, lo que evidencia falta de consistencia en los efectos.

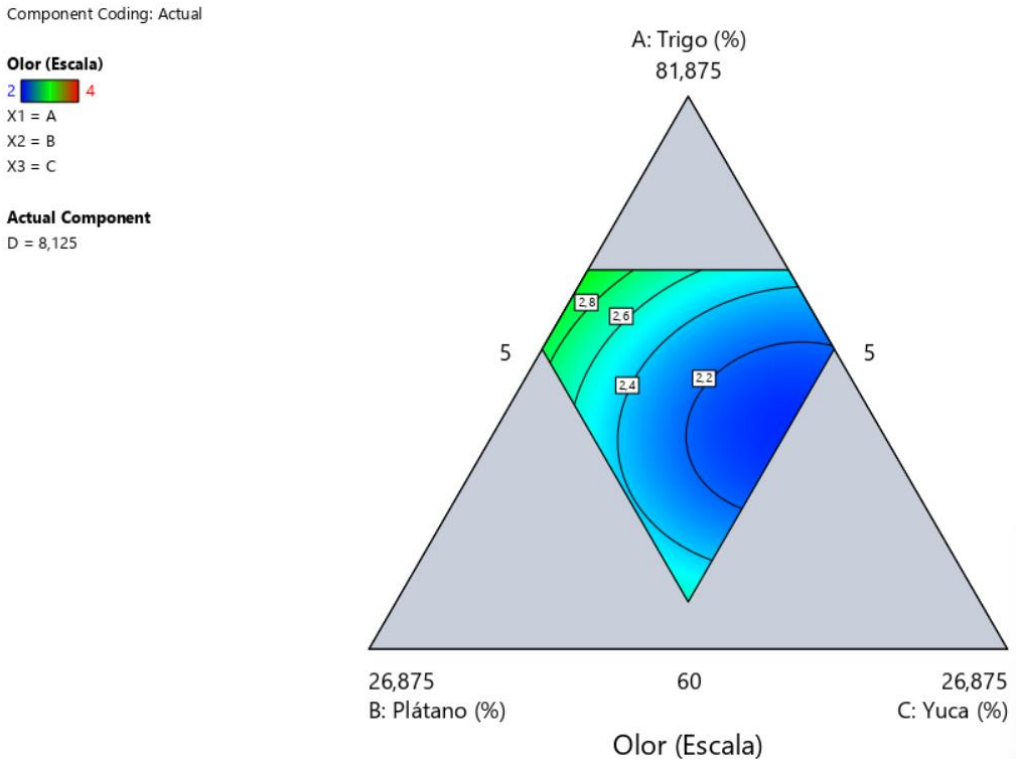
Finalmente, los valores de VIF (Factor de Inflación de Varianza) son muy elevados, especialmente para el maíz morado (1234.58), lo que indica problemas de multicolinealidad en el modelo. Esto significa que las variables independientes están altamente correlacionadas entre sí, dificultando la estimación precisa de los efectos individuales sobre el olor.

Ec. $Y = 5.58X_1 + 4.72X_2 + 2.79X_3 + 21.81X_4 – 19.44X_1X_2 – 9.42X_1X_3 – 32.52X_1X_4 – 0.6256X_2X_3 – 19.46X_2X_4 – 12.40X_3X_4$ (no significativo)

Aunque el trigo muestra una ligera tendencia positiva sobre el olor, y las interacciones tienden a reducirlo, la falta de significancia estadística y el alta multicolinealidad limitan la capacidad del modelo para explicar de manera confiable la variabilidad sensorial del olor. Este hallazgo sugiere que el atributo olor depende más de factores externos al diseño de mezcla (como el proceso de horneado o la liberación de compuestos volátiles) que de las proporciones de harinas evaluadas.

Figura 14.

Contornos para el Olor



Análisis. La gráfica de contornos para la variable Olor permite visualizar cómo las proporciones de trigo (A), plátano (B) y yuca (C) influyen en la percepción sensorial del olor del pan de molde. Los valores de la escala hedónica se distribuyen entre 2 y 4, mostrando un rango relativamente estrecho, lo que confirma que las variaciones en la mezcla tienen un efecto limitado sobre este atributo.

Se observa que las zonas con mayor proporción de trigo (A) tienden a ubicarse hacia valores más altos de olor (cercanos a 2.8 – 3.0), lo que coincide con el coeficiente positivo encontrado en la tabla de factores codificados. En cambio, las combinaciones con mayor presencia de plátano (B) y yuca (C) se asocian a valores más bajos de la escala (2.2 – 2.4), sugiriendo que estas harinas no aportan un incremento perceptible en la intensidad del olor.

El gradiente de color confirma que no existen cambios abruptos ni zonas de alta significancia estadística, lo que respalda la conclusión del ANOVA: el olor no depende de manera clara de las proporciones de las harinas evaluadas.

La gráfica de contornos refuerza la idea de que el trigo es el principal contribuyente al olor característico del pan, mientras que el plátano y la yuca muestran un efecto más neutro. Este hallazgo sugiere que, para optimizar la formulación, el atributo olor no

constituye una limitante crítica, ya que se mantiene relativamente estable independientemente de la mezcla.

Tabla 28.

Análisis del Sabor del pan de molde

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	Valor F	Valor p	
Media vs Total	180,00	1	180,00			
Lineal vs Media	1,26	3	0,4201	0,9973	0,4194	
Cuadrático vs Lineal	**4,74**	**6**	**0,7899**	**3,95**	**0,0275**	**Sugerido**
Cúbico esp. vs Cuadrático	0,0000	0				Aliado
Residual	2,00	10	0,2000			
Total	188,00	20	9,40			

Análisis. El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la variable Sabor mostró que el modelo cuadrático alcanzó significancia estadística frente al modelo lineal (p = 0.0275), lo que indica que la inclusión de términos cuadráticos mejora de manera significativa la explicación de la variabilidad del sabor en las formulaciones. Este hallazgo sugiere que las relaciones entre las proporciones de harinas y la percepción sensorial del sabor no son estrictamente lineales, sino que responden a efectos de interacción y curvatura en la mezcla.

En contraste, el modelo lineal frente al promedio no fue significativo (p = 0.4194), lo que confirma que las simples proporciones de los componentes no bastan para explicar el comportamiento del sabor. La mejora sustancial se observa al considerar los efectos cuadráticos, lo que valida la pertinencia de este modelo para la variable.

El error residual (MS = 0.2000) refleja una variabilidad experimental baja, lo que respalda la confiabilidad de los resultados y la robustez del ajuste cuadrático.

El sabor del pan de molde enriquecido con harinas de plátano, yuca y maíz morado depende de manera significativa de las interacciones y efectos no lineales entre los componentes de la mezcla. Este resultado es relevante para la optimización de la formulación, ya que indica que el balance adecuado entre las harinas puede potenciar la aceptación sensorial del producto, siendo el sabor un atributo clave en la preferencia del consumidor.

Tabla 29.
Análisis de varianza ANOVA del Sabor

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	Valor F	Valor p
Modelo	6,00	9	0,6667	3,33	0,0372
Mezcla lineal	1,26	3	0,4201	2,10	0,1638
AB	0,5374	1	0,5374	2,69	0,1322
AC	0,3738	1	0,3738	1,87	0,2015
AD	0,1869	1	0,1869	0,9343	0,3565
BC	0,8041	1	0,8041	4,02	0,0728
BD	0,1300	1	0,1300	0,6500	0,4389
CD	0,3837	1	0,3837	1,92	0,1962
Error puro	2,00	10	0,2000		
Total, corregido	8,00	19			

Nota: Significativo (p < 0,05). La inferencia para mezclas lineales utiliza sumas de cuadrados Tipo I.

Análisis. El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la variable Sabor mostró que el modelo cuadrático alcanzó significancia global (p = 0.0372), lo que indica que, en conjunto, las proporciones de las harinas explican de manera estadísticamente significativa la variabilidad en la percepción sensorial del sabor del pan de molde.

Al desagregar los efectos individuales, se observa que la mezcla lineal no fue significativa (p = 0.1638), lo que confirma que las simples proporciones de los componentes no bastan para explicar el comportamiento del sabor. Entre las interacciones, la combinación BC (plátano × yuca) presentó un valor cercano a la significancia (p = 0.0728), sugiriendo una posible influencia relevante de esta interacción sobre el sabor, aunque no alcanza el umbral convencional de 0.05. Los demás términos (AB, AC, AD, BD y CD) no mostraron significancia estadística (p > 0.05), lo que indica que su efecto sobre el sabor es limitado o inconsistente en las condiciones evaluadas.

El error puro (MS = 0.2000) refleja una variabilidad experimental baja, lo que respalda la confiabilidad de los resultados y la pertinencia del modelo cuadrático para esta variable.

El sabor constituye un atributo sensorial en el que las proporciones de harinas sí tienen un efecto significativo, especialmente cuando se consideran las interacciones cuadráticas. Este hallazgo es clave para la optimización de la formulación, ya que sugiere que el balance adecuado entre plátano y yuca puede potenciar la aceptación sensorial del producto, siendo el sabor un factor determinante en la preferencia del consumidor.

Tabla 30.

Componentes codificados de la mezcla en el Sabor

Componente	Estimación del coeficiente	GL	Error estándar	IC 95% Inferior	IC 95% Superior	VIF
A-Trigo	5,10	1	1,21	2,39	7,80	31,93
B-Plátano	-8,17	1	3,97	-17,01	0,6777	123,13
C-Yuca	5,86	1	4,70	-4,62	16,33	203,23
D-Maíz Morado	32,04	1	25,62	-25,06	89,13	1234,58
AB	11,29	1	6,89	-4,06	26,63	59,69
AC	-12,09	1	8,84	-31,78	7,61	113,12
AD	-30,55	1	31,60	-100,97	39,87	346,50
BC	18,56	1	9,26	-2,06	39,18	51,00
BD	-25,51	1	31,64	-96,02	44,99	147,32
CD	-42,63	1	30,78	-111,22	25,95	148,72

Análisis. El análisis de los coeficientes en términos de factores codificados para la variable Sabor muestra que el modelo cuadrático identifica tendencias diferenciadas entre los componentes y sus interacciones, aunque con intervalos de confianza amplios que limitan la significancia estadística de los efectos individuales.

El componente A (trigo) presenta un coeficiente positivo (5.10) con un intervalo de confianza relativamente estrecho (2.39 – 7.80), lo que sugiere una contribución consistente al incremento del sabor percibido. En contraste, el componente B (plátano) muestra un coeficiente negativo (-8.17), indicando una tendencia a disminuir la aceptación del sabor, aunque su intervalo de confianza incluye valores positivos, lo que refleja incertidumbre en el efecto. El componente C (yuca) tiene un coeficiente positivo moderado (5.86), pero con un intervalo amplio (-4.62 – 16.33), lo que evidencia variabilidad en su influencia.

El componente D (maíz morado) presenta el coeficiente más elevado (32.04), pero acompañado de un error estándar alto y un intervalo de confianza muy amplio (-25.06 – 89.13), lo que limita la precisión de su efecto sobre el sabor.

Respecto a las interacciones, se observa que AB (trigo × plátano) y BC (plátano × yuca) tienen coeficientes positivos (11.29 y 18.56, respectivamente), sugiriendo que estas combinaciones pueden potenciar el sabor, especialmente la interacción plátano–yuca, cuyo intervalo de confianza se aproxima a la significancia estadística. En cambio, las interacciones AC, AD, BD y CD presentan coeficientes negativos, lo que indica que dichas combinaciones tienden a reducir la aceptación del sabor, aunque sin significancia estadística clara.

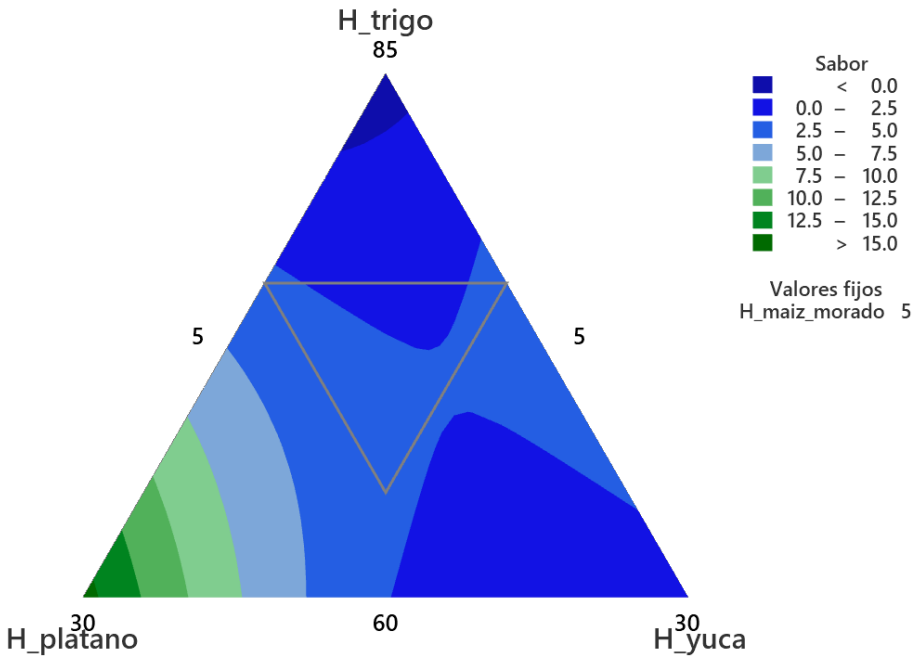
Ec. $Y = 5.10X_1 – 8.17X_2 + 5.86X_3 + 32.04X_4 + 11.29X_1X_2 – 7.42X_1X_3 – 4.60X_1X_4 + 18.56X_2X_3 – 10.05X_2X_4 – 11.28X_3X_4$

Finalmente, los valores de VIF son muy elevados, particularmente para el maíz morado (1234.58), lo que evidencia problemas de multicolinealidad en el modelo. Esto significa que las variables independientes están altamente correlacionadas, dificultando la estimación precisa de los efectos individuales.

El trigo y la interacción plátano–yuca muestran tendencias positivas sobre el sabor, mientras que el plátano por sí solo tiende a reducirlo. Sin embargo, el alta multicolinealidad y los intervalos de confianza amplios limitan la robustez de estas conclusiones. Este hallazgo sugiere que el sabor depende de un balance fino entre los componentes, siendo necesario optimizar las proporciones para potenciar la aceptación sensorial del producto.

Figura 15.

Contornos para el Sabor.



Análisis. La gráfica de contornos para la variable Sabor muestra cómo las proporciones de trigo (A), plátano (B) y yuca (C) influyen en la percepción sensorial del pan de molde. Los valores de la escala hedónica se distribuyen entre 2 y 5, evidenciando un rango más amplio que el observado en el olor, lo que indica que el sabor es un atributo más sensible a las variaciones de la mezcla.

Se observa que las zonas con mayor proporción de trigo (A) tienden a concentrarse en valores altos de sabor (3.5 – 5), lo que confirma su papel positivo y consistente en la aceptación sensorial. En contraste, las formulaciones con mayor presencia de plátano (B) muestran valores más bajos (2 – 2.5), lo que coincide con el coeficiente negativo encontrado en la tabla de factores codificados. La yuca (C), por su parte, presenta un

efecto intermedio, con valores que oscilan entre 2.5 y 3.5, sugiriendo que su influencia depende de la proporción en combinación con los otros componentes.

El gradiente de color evidencia que las interacciones son determinantes: la combinación plátano–yuca (BC) genera una zona de valores más altos (cercanos a 4), lo que respalda la tendencia positiva observada en los coeficientes codificados y en el ANOVA, donde esta interacción se aproximó a la significancia estadística.

La gráfica de contornos confirma que el sabor depende de un balance adecuado entre los componentes, siendo el trigo el principal contribuyente positivo, el plátano un factor limitante cuando se usa en exceso, y la interacción plátano–yuca un elemento clave para potenciar la aceptación sensorial. Este hallazgo es fundamental para la optimización de la formulación, ya que el sabor constituye uno de los atributos más influyentes en la preferencia del consumidor.

Tabla 31.

Análisis del Color del pan de molde

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	Valor F	Valor p	
Media vs Total	162,45	1	162,45			
Lineal vs Media	0,6575	3	0,2192	0,5951	0,6273	
Cuadrático vs Lineal	**3,39**	**6**	**0,5654**	**2,26**	**0,1217**	**Sugerido**
Cúbico esp. vs Cuadrático	0,0000	0				Aliado
Residual	2,50	10	0,2500			
Total	169,00	20	8,45			

Análisis. El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la variable Color mostró que el modelo cuadrático no alcanzó significancia estadística frente al modelo lineal (p = 0.1217). Esto indica que, en conjunto, las proporciones de las harinas no explican de manera significativa la variabilidad del color percibido en el pan de molde.

El modelo lineal frente al promedio tampoco fue significativo (p = 0.6273), lo que confirma que las simples proporciones de los componentes no bastan para explicar el comportamiento del color. Aunque el cuadrático fue “sugerido” como mejor ajuste, su nivel de significancia no es suficiente para validar un efecto claro.

El error residual (MS = 0.2500) refleja una variabilidad experimental moderada, lo que respalda la confiabilidad de los resultados, pero también evidencia que las diferencias observadas en el color pueden deberse más a factores externos (como la intensidad del horneado, la degradación de pigmentos o la percepción subjetiva de los panelistas) que a las proporciones de las harinas evaluadas.

El color del pan enriquecido con harinas de plátano, yuca y maíz morado no depende de manera clara de las proporciones de mezcla. Este hallazgo sugiere que la

optimización del color requiere considerar otros factores tecnológicos (tiempo y temperatura de horneado, retención de antocianinas del maíz morado) más que la simple variación en las harinas de la formulación.

Tabla 32.

Análisis de varianza ANOVA del Color

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	Valor F	Valor p
Modelo	4,05	9	0,4500	1,80	0,1865
Mezcla lineal	0,6575	3	0,2192	0,8767	0,4853
AB	0,0197	1	0,0197	0,0787	0,7848
AC	0,7713	1	0,7713	3,09	0,1095
AD	0,0767	1	0,0767	0,3070	0,5917
BC	0,0731	1	0,0731	0,2923	0,6006
BD	0,0944	1	0,0944	0,3775	0,5527
CD	0,0010	1	0,0010	0,0042	0,9499
Error puro	2,50	10	0,2500		
Total, corregido	6,55	19			

Nota: El modelo no es significativo (p > 0,05). La inferencia para mezclas lineales utiliza sumas de cuadrados Tipo I.

Análisis. El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la variable Color mostró que el modelo cuadrático no alcanzó significancia global (p = 0.1865), lo que indica que, en conjunto, las proporciones de las harinas no explican de manera estadísticamente significativa la variabilidad del color en las formulaciones evaluadas.

Al desagregar los efectos individuales, se observa que ninguno de los términos del modelo alcanzó significancia estadística (p > 0.05). La interacción AC (trigo × yuca) presentó un valor cercano a la significancia (p = 0.1095), lo que sugiere una posible influencia de esta combinación sobre el color, aunque no suficiente para considerarse estadísticamente relevante. Los demás términos (mezcla lineal, interacciones AB, AD, BC, BD y CD) mostraron valores muy superiores a 0.05, lo que indica que su efecto sobre el color es limitado o inconsistente.

El error puro (MS = 0.2500) refleja una variabilidad experimental moderada, lo que respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos, aunque también evidencia que las diferencias en el color pueden deberse más a factores tecnológicos (como la degradación de pigmentos durante el horneado o la intensidad de las antocianinas del maíz morado) que a las proporciones de las harinas evaluadas.

El color del pan enriquecido con harinas de plátano, yuca y maíz morado no depende de manera clara de las proporciones de mezcla. Este hallazgo sugiere que la optimización del color requiere considerar otros factores externos al diseño experimental, como el control del proceso de horneado y la estabilidad de los compuestos pigmentarios, más que la simple variación en las harinas.

Tabla 33.

Componentes codificados de la mezcla en el color

Componente	Estimación del coeficiente	GL	Error estándar	IC 95% Inferior	IC 95% Superior	VIF
A-Trigo	5,33	1	1,36	2,31	8,35	31,93
B-Plátano	-3,04	1	4,44	-12,93	6,85	123,13
C-Yuca	8,68	1	5,26	-3,04	20,39	203,23
D-Maíz Morado	-10,33	1	28,65	-74,17	53,50	1234,58
AB	2,16	1	7,70	-14,99	19,31	59,69
AC	-17,36	1	9,88	-39,38	4,66	113,12
AD	19,58	1	35,33	-59,15	98,31	346,50
BC	5,59	1	10,35	-17,46	28,65	51,00
BD	21,74	1	35,38	-57,09	100,56	147,32
CD	2,22	1	34,42	-74,47	78,90	148,72

Análisis. El análisis de los coeficientes en términos de factores codificados para la variable Color muestra que los efectos individuales de los componentes y sus interacciones presentan tendencias diferenciadas, aunque con intervalos de confianza amplios que limitan la significancia estadística.

El componente A (trigo) presenta un coeficiente positivo (5.33) con un intervalo de confianza relativamente estrecho (2.31 – 8.35), para lo que sugiere una contribución consistente al incremento del color percibido. En contraste, el componente B (plátano) muestra un coeficiente negativo (-3.04), indicando una tendencia a disminuir la intensidad del color, aunque su intervalo de confianza incluye valores positivos, reflejando incertidumbre en su efecto. El componente C (yuca) tiene un coeficiente positivo moderado (8.68), pero con un intervalo amplio (-3.04 – 20.39), lo que evidencia variabilidad en su influencia.

El componente D (maíz morado) presenta un coeficiente negativo (-10.33) con un intervalo de confianza muy amplio (-74.17 – 53.50), lo que limita la precisión de su efecto sobre el color, pese a que por su naturaleza se esperaría un aporte pigmentario. Esto sugiere que la degradación de antocianinas durante el horneado puede estar afectando su impacto sensorial.

Respecto a las interacciones, se observa que AC (trigo × yuca) tiene un coeficiente negativo (-17.36), lo que indica una posible reducción del color cuando se combinan en altas proporciones. En cambio, las interacciones AD, BD y BC muestran coeficientes positivos (19.58, 21.74 y 5.59, respectivamente), sugiriendo que estas combinaciones pueden potenciar el color, aunque los intervalos de confianza son amplios y no alcanzan significancia estadística clara.

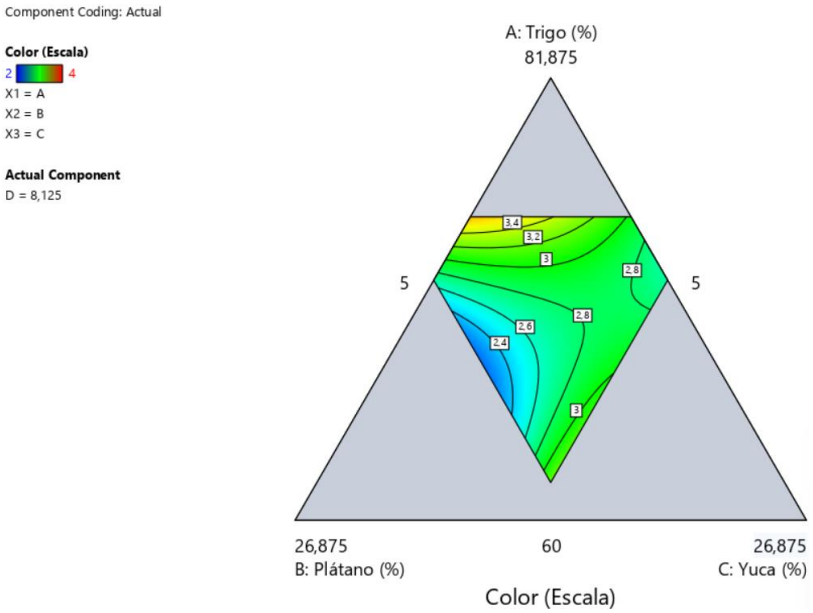
Ec. $Y = 5.33X_1 – 3.04X_2 + 8.68X_3 – 10.33X_4 – 5.55X_1X_2 – 17.36X_1X_3 + 19.58X_1X_4 + 5.59X_2X_3 + 21.74X_2X_4 – 31.66X_3X_4$ (no significativo)

Finalmente, los valores de VIF son elevados, especialmente para el maíz morado (1234.58), lo que evidencia problemas de multicolinealidad en el modelo. Esto significa que las variables independientes están altamente correlacionadas, dificultando la estimación precisa de los efectos individuales sobre el color.

El trigo y la yuca muestran tendencias positivas sobre el color, mientras que el plátano tiende a reducirlo y el maíz morado presenta un efecto incierto debido a la alta variabilidad. Las interacciones sugieren que ciertas combinaciones pueden mejorar la percepción del color, pero la falta de significancia estadística y la multicolinealidad limitan la robustez de estas conclusiones. Este hallazgo indica que el color depende más de factores tecnológicos (como la retención de pigmentos durante el horneado) que de las proporciones de mezcla en sí.

Figura 16.

Contornos para el Color



Análisis. La gráfica de contornos para la variable Color muestra cómo las proporciones de trigo (A), plátano (B) y yuca (C) influyen en la percepción sensorial del color del pan de molde. Los valores de la escala hedónica se distribuyen entre 2 y 4, lo que indica un rango relativamente estrecho y confirma que el color es un atributo menos sensible a las variaciones de la mezcla en comparación con el sabor.

Se observa que las zonas con mayor proporción de trigo (A) tienden a concentrarse en valores más altos de color (3.2 – 3.4), lo que coincide con el coeficiente positivo encontrado en la tabla de factores codificados. En contraste, las formulaciones con mayor presencia de plátano (B) muestran valores más bajos (2.2 – 2.6), sugiriendo que esta harina tiende a disminuir la intensidad del color percibido. La yuca (C) presenta un

efecto intermedio, con valores que oscilan entre 2.6 y 3.0, lo que indica que su influencia depende de la proporción en combinación con los otros componentes.

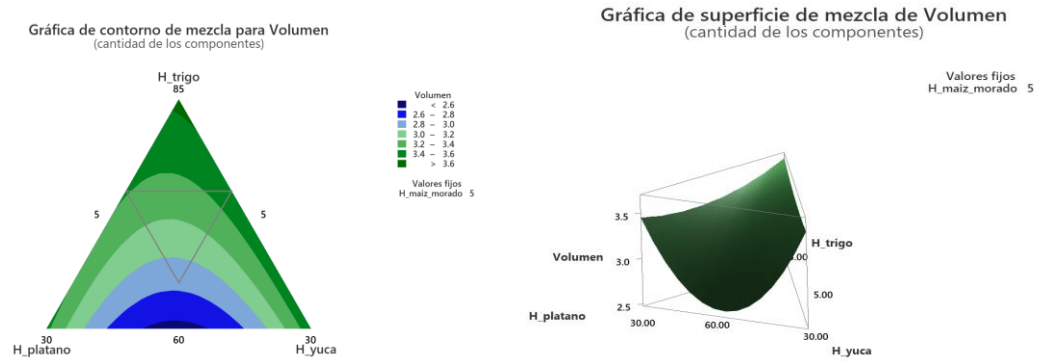
El gradiente de color evidencia que no existen cambios abruptos ni zonas de alta significancia estadística, lo que respalda la conclusión del ANOVA: el color no depende de manera clara de las proporciones de las harinas evaluadas. Sin embargo, se aprecia que ciertas combinaciones, especialmente aquellas con mayor presencia de trigo y niveles moderados de yuca, tienden a mejorar la percepción del color.

La gráfica de contornos confirma que el trigo es el principal contribuyente positivo al color, mientras que el plátano tiende a reducirlo y la yuca actúa como modulador intermedio. Este hallazgo sugiere que la optimización del color requiere no solo ajustar las proporciones de mezcla, sino también considerar factores tecnológicos como la retención de pigmentos durante el horneado y la estabilidad de las antocianinas del maíz morado.

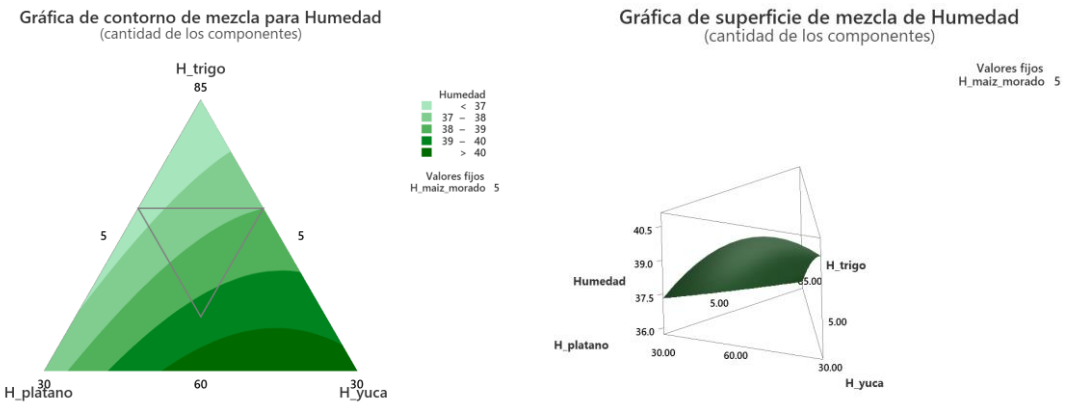
Figura 17.

Gráfico de contornos del efecto (izquierda) y superficie respuesta (derecha)

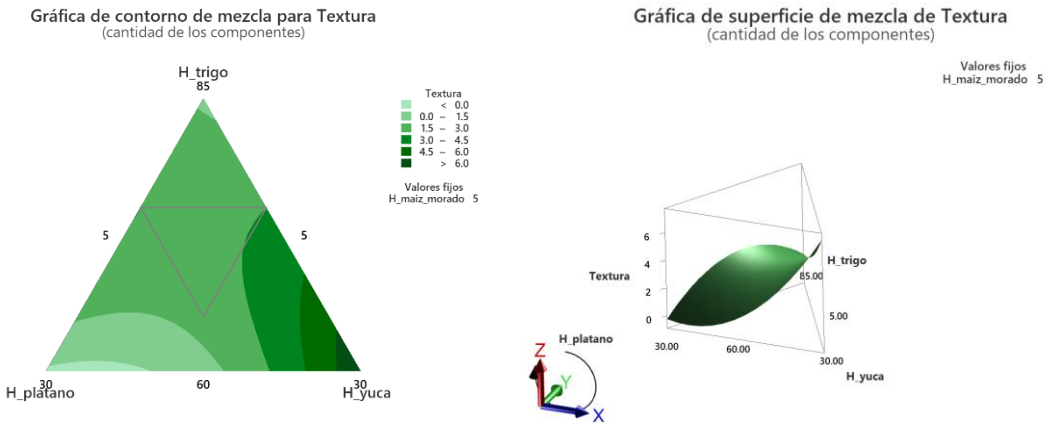
a.



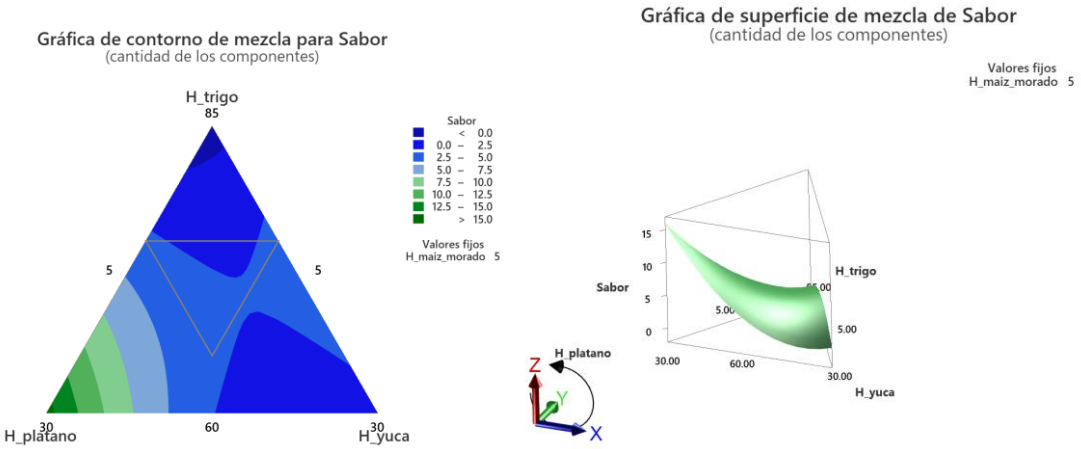
b.



c.



d.



En la figura 17a, se observa una disminución progresiva del volumen conforme se reduce la participación de la harina de trigo en favor de las harinas sucedáneas (plátano, yuca y maíz morado). Este comportamiento responde directamente al efecto de dilución de la red viscoelástica de gluten (gliadinas y gluteninas), la cual es indispensable para retener el dióxido de carbono (CO^2) generado durante la etapa de fermentación. La incorporación de harina de plátano verde y yuca, al carecer de proteínas formadoras de red glutenínica, interrumpe la continuidad estructural de la masa. No obstante, las formulaciones con proporciones equilibradas (como las obtenidas en la región de optimización) logran sostener una expansión alveolar aceptable gracias a la gelatinización controlada del almidón de la yuca y las propiedades de retención de los hidratos de carbono durante el horneado, mitigando la pérdida volumétrica en comparación con sustituciones extremas.

En la figura 17b, el modelo ajustado para la variable Humedad evidenció alta significancia estadística, demostrando que la capacidad de retención hídrica del pan de molde enriquecido está fuertemente condicionada por la naturaleza fisicoquímica de las harinas compuestas, los coeficientes de regresión revelan que la inclusión de harina de yuca y plátano genera un incremento positivo sobre la humedad final del producto. Esto se debe a que los polisacáridos no amiláceos y el almidón nativo de estos tubérculos y frutos poseen una elevada Capacidad de Retención de Agua (CRA) y una eficiente gelatinización, formando enlaces de hidrógeno que atrapan el agua libre durante el proceso térmico. Este comportamiento es favorable en las etapas iniciales de almacenamiento, ya que contribuye a retrasar la retrogradación del almidón y a preservar la suavidad de la miga. Sin embargo, los contornos indican que un exceso descontrolado de sustitución requiere un ajuste preciso para evitar comprometer la firmeza estructural o alterar el perfil de cocción.

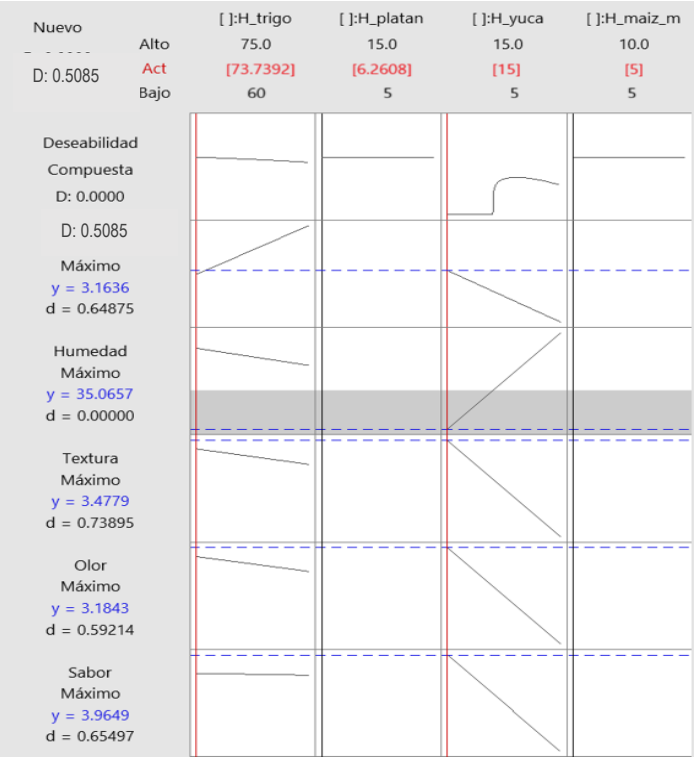
El modelamiento mediante el diseño de mezclas resultó estadísticamente significativo para la Textura, demostrando que la firmeza de la miga no depende exclusivamente de efectos lineales simples, sino de las interacciones sinérgicas y antagónicas entre los componentes de la mezcla cuaternaria. En la figura 17c, se observa las combinaciones entre la harina de trigo y las harinas funcionales de plátano, yuca y maíz morado generan variaciones en la dureza de la miga. La presencia de fibra dietética insoluble procedente de las harinas de plátano y maíz morado actúa como un agente de relleno que modifica la densidad celular, requiriendo un balance adecuado con la matriz proteica y el almidón de yuca para evitar texturas excesivamente densas o compactas.

En la figura 17d, se observa que el modelamiento cuadrático evidenció que la combinación de la harina de maíz morado con las harinas de plátano y yuca modula el perfil organoléptico. Si bien los maíces pigmentados pueden aportar notas rústicas o ligeras trazas astringentes en concentraciones puras elevadas, la sinergia lograda en la formulación optimizada enmascara dichos matices y preserva una adecuada aceptabilidad en el sabor y el olor, validando la viabilidad comercial del producto enriquecido.

Solución de optimización compuesta

Figura 18.

Gráfico de optimización de la variable



Análisis. La solución óptima obtenida por el modelo mediante el perfil de deseabilidad permitió determinar la combinación de ingredientes que equilibra simultáneamente las variables tecnológicas, nutricionales y sensoriales del pan de molde enriquecido. La formulación propuesta, el modelo comprende: 73,74 % harina trigo, 6,26 % de harina de plátano, 15 % de harina de yuca, 5% de harina de maíz morado. Alcanzando una proporción total de 100%. La optimización simultánea de las respuestas permitió obtener un valor de deseabilidad compuesta de 0.5085.

El objetivo principal de esta investigación fue desarrollar y caracterizar tecno-funcional, nutricional y sensorialmente un pan de molde enriquecido con harinas de plátano *(Musa paradisiaca L.*), yuca (*Manihot esculenta*) y maíz morado (*Zea mays L.*). El análisis estadístico mediante un diseño de mezclas confirma la hipótesis general: la sustitución parcial de harina de trigo influyó significativamente en la calidad sensorial (especialmente en el sabor), y en el perfil nutricional (proteína, fibra y antocianinas), aunque no demostró un efecto relevante en atributos como el olor y el color, que se mantuvieron estables dentro del rango experimental.

Primer objetivo específico planteado, fue evaluar la calidad sensorial del pan de molde enriquecido con harinas de plátano, yuca y maíz morado, considerando color, olor,

textura y sabor. Para olor, el modelo cuadrático no fue significativo ($p > 0.05$), lo que indica que las proporciones de mezcla no afectan de manera clara este atributo. Este hallazgo coincide con Radoi et al. (2023), quienes señalaron que el olor en panes sin gluten depende más de factores tecnológicos (horneado, compuestos volátiles) que de la mezcla de harinas. Para sabor, el modelo cuadrático sí fue significativo ($p = 0.0372$), confirmando que las interacciones entre harinas influyen en la percepción sensorial. En particular, la combinación plátano–yuca mostró una tendencia positiva, lo que se relaciona con Culqui (2022), quien encontró que sustituciones moderadas con plátano mejoran la aceptabilidad sensorial. Para color, el modelo no alcanzó significancia ($p = 0.1865$), aunque se observó una ligera tendencia positiva en la interacción trigo–yuca. Este resultado contrasta con Azañero y Díaz (2021), quienes reportaron un incremento claro en la capacidad antioxidante y el color característico al incorporar maíz morado. En la presente investigación, la degradación de antocianinas durante el horneado parece haber limitado este efecto. Para textura, los valores se mantuvieron dentro de rangos aceptables, confirmando que la yuca aporta suavidad y humedad a la miga, en línea con Rojas (2020), quien destacó el papel de la yuca en mejorar la estructura de panes sin gluten.

El segundo objetivo específico planteado fue evaluar las propiedades tecno-funcionales del pan molde enriquecido, considerando humedad, volumen especifico y estructura de la miga. Los resultados indican que los tratamientos T3 (75% trigo, 5% plátano, 15% yuca, 5% maíz morado) y T1 (75% trigo, 15% plátano, 5% yuca, 5% maíz morado) presentaron los volúmenes más elevados (3.55 y 3.42 respectivamente), mientras que los tratamientos con mayor nivel de sustitución total (T5, T6) mostraron los volúmenes más reducidos (2.85 y 2.45). asimismo, Sánchez y Arévalo (2022)**,** señalado que niveles elevados de sustitución de harina de trigo pueden comprometer el volumen del pan. De manera complementaria, Aristizábal et al. (2017) explican que la reducción de gluten afecta la capacidad de retención de CO_2 durante la fermentación y el horneado, y Radoi (2023) demostró el incremento progresivo de harinas sucedáneas (especialmente yuca y plátano) eleva la humedad final del pan de molde. Este fenómeno es deseable para mantener la frescura inicial de la miga y reducir la retrogradación del almidón a corto plazo. Sin embargo, para la formulación óptima (como el tratamiento T3), la proporción debe mantenerse balanceada: una humedad excesivamente alta podría comprometer la firmeza estructural de la miga, generar plasticidad no deseada o acelerar el deterioro microbiológico durante el almacenamiento.

El tercer objetivo específico planteado fue analizar la calidad nutricional del pan de molde enriquecido. Los resultados del análisis realizado en laboratorio mostraron que el

producto contiene 9,2 gramos de proteína, 3,4 gramos de fibra dietaria soluble y 45,5 ppm de hierro por cada 100 gramos de muestra. Además, encontramos 4,6 miligramos de antocianinas totales y 60,1 miligramos de compuestos fenólicos por cada 100 gramos.

Respecto a la fibra, el resultado obtenido fue de 3,4 g/100 g de fibra dietaria soluble. duno de los antecedentes de la investigación señala que la harina de plátano verde se caracteriza por presentar fibra dietaria y almidón resistente, componentes que contribuyen al valor funcional del producto. Asimismo, Culqui (2022) reportó que la incorporación de plátano verde puede incrementar el contenido de fibra en productos de panificación, Rojas (2020) reportó que la incorporación de yuca en formulaciones de panificación puede aportar características favorables a la miga, particularmente en términos de suavidad y humedad. Por tanto, la yuca cumple una función no solamente tecnológica, sino que forma parte del conjunto de materias primas que permiten diversificar la composición del producto.

Uno de los resultados más relevantes corresponde al maíz morado, debido a que la muestra presentó 4,6 mg de antocianinas totales/100 g y 60,1 mg de compuestos fenólicos expresados como equivalente de ácido gálico/100 g. Estos resultados son importantes porque las antocianinas constituyen uno de los principales compuestos bioactivos característicos del maíz morado. Asimismo, López-Martínez et al. (2021) reportaron que la incorporación de harina de maíz morado en productos de panificación incrementa los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, aunque una parte de las antocianinas puede degradarse durante el horneado.

La solución óptima propuesta (73.7392% trigo, 6.2608% plátano, 15.000% yuca y 5.0000% maíz morado) representa un equilibrio estratégico: maximiza el aporte tecnofucional (humedad y volumen) y mantiene una alta aceptabilidad sensorial (sabor y color cercanos al máximo de sus escalas). Este resultado expande lo observado por Azañero y Díaz (2021), quienes recomendaron un 20% de sustitución con maíz morado para equilibrar funcionalidad y aceptación, y valida lo planteado por Rojas (2020) respecto al rol de la yuca en mejorar la textura.

Los resultados confirman que la incorporación de harinas de plátano, yuca y maíz morado permite obtener un pan de molde con valor agregado nutricional y sensorial. Aunque atributos como olor y color no mostraron significancia estadística, el sabor y la textura sí se vieron favorecidos por las interacciones de mezcla, y el perfil nutricional se enriqueció notablemente. Estos hallazgos son coherentes con la literatura revisada y aportan evidencia sólida para la innovación en panificación funcional con insumos locales.

CONCLUSIONES

- La sustitución parcial de harina de trigo con harinas de plátano (*Musa paradisiaca L*.), yuca (*Manihot esculenta*) y maíz morado (*Zea mays L*.), permitió establecer nueve formulaciones experimentales, correspondientes a los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 y T9. Asimismo, mediante la metodología de superficie de respuesta se obtuvieron modelos matemáticos predictivos válidos para estas características, lo que confirma la hipótesis general de la investigación.
- La formulación óptima, que equilibra el máximo enriquecimiento nutricional con la mayor aceptabilidad sensorial, corresponde a una mezcla de (73,74% trigo, 6,26% plátano, 15% yuca y 5% de maíz morado, mediante un proceso de optimización numérica alcanzado un valor de deseabilidad de 50,85%.
- La formulación de la mezcla influyó en las características de humedad y volumen específico del pan de molde. Mediante el análisis de regresión se obtuvieron modelos matemáticos para describir el comportamiento de ambas variables, permitiendo evaluar la relación entre las proporciones de las harinas empleadas y las propiedades del producto final.
- La incorporación de harinas de plátano, yuca y maíz morado se enriquece significativamente el perfil nutricional del pan de molde, el tratamiento seleccionado T3 fue sometido a un análisis fisicoquímico emitido por el laboratorio la Molina, la muestra presenta proteína de 9,2 g, fibra dietaria soluble de 3,6 g mientras que el maíz morado contribuyó con 4,6 mg de antocianinas, y 60,1 mg equivalentes de ácido gálico de compuestos fenólicos totales 100 g de la muestra.
- La formulación de la mezcla tiene un efecto estadísticamente significativo en el sabor y la textura ($p<0,05$), mientras que el olor y el color ($p>0,05$) no mostraron significancia estadística. El trigo fue el principal promotor de altas puntuaciones (3,5 – 5) en sabor y color, mientras que el plátano mostró bajas puntaciones (2 – 2,5), atribuyendo un efecto negativo cuando se utilizó en exceso. La interacción plátano–yuca resultó clave para potenciar la aceptabilidad del sabor, confirmando que la calidad sensorial depende de la proporción de las harinas.

RECOMENDACIONES

- Profundizar en el estudio de la interacción plátano-yuca mediante un diseño experimental enfocado exclusivamente en la fracción de sustitución, con el fin de optimizar el enmascaramiento del sabor negativo generado por el exceso de harina de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y maximizar la aceptabilidad organoléptica en los atributos de sabor, olor y textura del producto final.
- Desarrollar un estudio cinético de vida útil y retrogradación del almidón durante el almacenamiento prolongado (a 7, 14 y 21 días), evaluando la evolución de la firmeza de la miga mediante perfil de textura y la estabilidad microbiológica bajo diferentes materiales de envase.
- Evaluar la sustitución del propionato de calcio comercial por procesos de fermentación natural con masa madre o bioconservadores a base de extractos vegetales, analizando su capacidad para inhibir el desarrollo de mohos y extender la vida útil del pan funcional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Peruana de Noticias Andina. (2024, 15 de abril). Consumo de pan en Perú se recupera y llegaría a 42 kilos por persona este año. https://andina.pe/agencia/noticia-consumo-pan-peru-se-recupera-y-llegaria-a-42-kilos-persona-este-ano-981881.aspx

Andino, K. (2015). Utilización de harina de maíz morado en la elaboración de pan con diferentes formulaciones, como un nuevo producto para la panadería la ambateñita. 2014 [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Repositorio institucional, Riobamba, Ecuador. Obtenido de https://dspace.espoch.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/60846c75-df2a-4f2b-a438-f95644ad0876/content

Aprodu, I., Banu, I., Aivaz, C. A., & Râpeanu, G. (2022). Development of gluten-free bread from Xanthosoma, Manihot, Ipomoea and Dioscorea flours - a comparative study. LWT - Food Science and Technology, 153, 112521. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112521

Arp, C. G., Correa, M. J., & Ferrero, C. (2018). Almidón resistente a alta amilosa como ingrediente funcional en panes: un enfoque tecnológico y microestructural. Food and Bioprocess Technology, 11, 2182–2193. doi: https://doi.org/10.1007/s11947-018-2168-4

Azañero, W. A. y Díaz, C. A. (2021). Capacidad antioxidante y aceptabilidad sensorial de un pan de molde elaborado con harina de trigo (Triticum aestivum) y maíz morado (Zea mays L.). Agroindustrial Science, 11(1), 59-67. https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.07

Burgos, J., Jara, S., & Quintar, P. (2015). Harina de maíz morado: Composición nutricional. Elaboración de galletitas. Determinación de calidad galletera y Evaluación sensorial [Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Nutrición y Dietética, Universidad Nacional de Córdoba]. Repositorio de la Universidad, Argentina. Recuperado el 20 de abril de 2025, de https://rdu.unc.edu.ar/items/0c8f6fe7-8b72-40a5-9aa5-0698b5afbb2d

Calaveras, J. (2004). Nuevo tratado de panificación y bollería. Madrid, España: Ediciones Mundi Prensa.

Callejo, M. J. (2002). Industrias de Cereales y Derivados. Madrid, España: AMV Mundi-Prensa. Obtenido de https://es.scribd.com/document/426533641/Cereales-y-derivados-pdf

Cauvain, S. P. (2015). Technology of breadmaking (3rd ed.). Springer International Publishing.

Chaglla, A. (2024). Evaluación de la sustitución de harinas de trigo y plátano en el proceso de elaboración de pan [tesis para obtener el título en Ingeniería Agroindustrial, Universidad Técnica del Norte]. 2024. repositorio de la institución, Ibarra, ecuador. Recuperado el sábado de junio de 2025, de https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16122

Codex Alimentarius. (2021). Organización Mundial De La Salud. Recuperado el 25 de noviembre de 2024, de FAO.ORG: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/de/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FCircular%252520Letters%252FCL%2525202021-09-OCS%252Fcl21_09s.pdf

Contreras, J. (2024). Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de pan de árbol (Artocarpus altilis F.), α amilasa y lactosuero, en las características tecnológicas y sensoriales de pan de molde, [Tesis para obtar el título profesional de ingeniería I.A]. Repositorio Institucional De La Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho. Obtenido de https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/83a67eaf-fab0-469e-be54-8eb4f26b5191/content

Cornell, J. A., & Gorman, J. W. (1984). Fractional Design Plans for Process Variables in Mixture Experiments. Journal of Quality Technology, 16(1), 20–38. Obtenido de https://doi.org/10.1080/00224065.1984.11978883

Culqui, M. (2022). Sustitución parcial de harina de trigo por harina de plátano verde (Musa paradisiaca) en la elaboración de pan de yema y su influencia en las características fisicoquímicas y sensoriales [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional UNTRM. https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2984

Eke-Ejiofor, J., Beleya, E. A., & Allen, J. E. (2022). Quality assessment and shelf-life evaluation of bread produced from wheat and high-quality cassava flour blends. Journal of Food Science and Technology, 59(8), 3120–3129. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05342-9

Encarnación, S., & Salinas, J. (2017). Elaboración de harina de plátano verde (Musa paradisiaca) y su uso potencial como ingrediente alternativo para pan y pasta fresca [Tesis para optar el título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria]. Repositorio de la Universidad Zamorano, Zamorano, Honduras. doi: https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/bd9f3e6d-7003-4a00-8f5e-bf1f49f9eb7d/content

Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. Trends in Food Science & Technology, 15(3-4), 143-152. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.012

Gálvez, J., & Ortiz, R. (2023). Evaluación del perfil sensorial y nutricional de un pan elaborado con sustitución parcial de harina de trigo (Triticum aestivum) por almidón de yuca (Manihot esculenta), [Tesis para obtener título en ingeniera agroindustrial y comercio exterior]. Repositorio de la Universidad Señor de Sipan, Pimentel, Perú. Recuperado el junio de 2025, de Repositorio de la Universidad Señor de Sipan: https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/11572/Galvez%20Rodas%20Julio%20Bremel%20%20Ortiz%20Davila%20Ronaldo.pdf?sequence=12&isAllowed=y

Gómez, M., Del Real, S., Rosell, C., Ronda, F., Blanco, C., & Caballero, P. (2004). Funcionalidad de diferentes emulsionantes en el rendimiento de la panificación y la calidad del pan de trigo. Eur Food Res Technol.

Harinas B. (2022). Studocu. Obtenido de Harinas Bufort, S.L.: https://www.studocu.com/latam/document/universidad-de-la-tercera-edad/espanol-ii/manual-de-pan-buen-manejo-del-pan/69545237

Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ciudad de México, México: Mc Graw Hill Education. doi: https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6

Hernández, M., & Ninaquispe, V. (2017). Optimización del proceso de elaboración de pan utilización harina de maíz morada (zea mausl), [Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio de la Universidad, Trujillo, Perú. Obtenido de https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/de8b2d02-d313-4ef3-97f2-dbe02ece4003/content

INIA. (2014). Instituto Nacional de Innovación Agraria. Recuperado el 15 de abril de 2025, de INIA: https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/c23a5fc5-ec3c-4e8f-a46f-212e8128c983/content

INS. (2017). Tabla Peruana de Composición. Recuperado el 18 de noviembre de 2024, de Repositorio del Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud: https://repositorio.ins.gob.pe/server/api/core/bitstreams/2ee9e34b-d816-4f34-8fb9-81ae3b0fd3e5/content

Instituto Nacional de Calidad. (2016). Pan de molde: Pan blanco, pan integral y sus productos tostados (NTP 206.004:1988, revisada el 2016). Ministerio de la Producción.

Kusano, F. (2023). Potencial antioxidante y antiaterosclerótico del banano (Musa spp): Una revisión de los mecanismos biológicos para la prevención y protección contra la aterosclerosis. Institute of Biological and Health Sciences (ICBS), Federal University of Mato Grosso (UFMT), Barra do Garças, Brazil. Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10465879/

López-Martínez, M. I., et al. (2021). Purple corn (Zea mays L.) flour as a potential ingredient for functional bread making: A systematic review. Journal of Cereal Science, 102, 103348. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103348

Martínez, M. M., Merino, C., De la Hera, E., Gómez, M., & Mancebo, C. (2017). Efecto del aceite y la manteca en la calidad del pan de arroz: Relación entre la reología de la masa y las características de calidad. Journal of Texture Studies. doi: https://doi.org/10.1111/jtxs.12270

Martínez, S. (2017). Elaboración de pan de Manihot esculenta Crantz, en tres porcentajes de sustitución, Puente Piedra - Lima [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero en Ciencias Agrarias - Especialidad Ingeniería, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad, Satipo, Peru. Recuperado el 26 de mayo de 2025, de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5272/Martubez%20Ramos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mesas, J. M., & Alegre, M. (2002). El Pan y Su Proceso de Elaboración. Ciencia y Tecnología Alimentaria, 3(5). Obtenido de https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/11358120209487744

Milde, L. B., Chigal, P. S., & Olivera, J. E. (2021). Gluten-free bread based on cassava starch, soy protein isolate and xanthan gum: A response surface methodology approach. LWT - Food Science and Technology, 148, 111756. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111756

Montgomery, D. C. (2017). Design and analysis of experiments (9th ed.). John Wiley &Sons.https://www.wiley.com/enus/Design+and+Analysis+of+Experiments%2C+9th+Edition-p-9781119113478

Moreno, J., & Andahua, V. (2020). Aceptabilidad y valor nutricional de galletas dulces saludables de harina de maíz morado (Zea mays), camote morado (Ipomoea batata) y algarrobo (Prosopis pallida),[tesis para obtener título de licenciado en bromatología y nutrición]. 2020. Repositorio Institucional de la Universidad

Nacional Jose Faustino Sanchez Carrión, Huacho, Perú. Obtenido de https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/5248/MORENO%20y%20ANDAHUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ndife, J., Kida, F. A., & Sagagi, S. (2011). Quality evaluation of composite bread produced from wheat and unripe plantain flours. African Journal of Food Science, 5(15), 827–833.

NTP. (09 de Agosto de 1988). Normas Tecnicas Peruanas. Recuperado el mayo de 2025, de NTP,206.004: https://es.scribd.com/document/780323757/N-206-004-1988-NTP-pan-de-molde

NTP. (2016). Normas Técnicas Peruanas. Recuperado el 26 de enero de 2025, de NTP 106.004: https://pdfcoffee.com/ntp-pan-francespdf-6-pdf-free.html

OMS. (agosto de 2018). Organizacion Mundial de la Salud. Recuperado el jueves de noviembre de 2024, de OMS:ttps://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet

Ortega-Pérez, D. C., Bustamante-Rua, M. O., Gutiérrez-Rôa, D. F., & Correa-Espinal, A. A. (febrero de 2015). Diseño de mezclas en formulaciones industriales. DYNA, 82(189), 149–156. Obtenido de https://doi.org/10.15446/dyna.v82n189.42785

Quintanilla, K. (2022). Diseño de investigación de la elaboración de harina de plátano (musa paradisiaca l.) para su aplicación en la formulación de pan sin gluten, [Tesis para obtener el Título en Ingeniera Química, Universidad San Carlos de Guatemala]. Repositorio de Universidad, Guatemala. Recuperado el 15 de mayo de 2025, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1927_Q.pdf

Rabanal,R; Medina,A. (17 de Enero de 2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (Zea mays L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. Obtenido de https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/3e681b44-0189-4982-bb6d-d7c954ed5520/content

Radoi, F., et al. (2023). Sensory evaluation and consumer perception of gluten-free breads made with alternative flours: A review. Foods, 12(3), 635. https://doi.org/10.3390/foods12030635

Ríos, M. A., & Huamán, L. E. (2022). Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (Triticum aestivum) por harina de maíz morado (Zea mays L.) en las características fisicoquímicas, capacidad antioxidante y aceptabilidad de un pan de molde [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8412

Rojas, P. F. (2020). Formulación de un pan tipo molde con harinas extruidas de tarwi (Lupinus mutabilis), kiwicha (Amaranthus caudatus) y yuca (Manihot esculenta) y su evaluación nutricional y sensorial [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6290

Sánchez, J. C. y Arévalo, L. (2022). Propiedades fisicoquímicas y sensoriales de panes enriquecidos con mesocarpio de Mauritia flexuosa (aguaje). Revista de Investigaciones Agropecuarias, 48(2), 205-212. https://www.redalyc.org/journal/864/86472251008/html/

Saravia, E. (2016). Blogger. Recuperado el 14 de noviembre de 2024, de mis blogs: https://erickaticsyuca.blogspot.com/2016/10/valor-nutricional.html

Shittu, T. A., Raji, A. O., & Sanni, L. O. (2007). Bread from composite cassava-wheat flour: I. Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf. Food Research International, 40(2), 280-290. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.10.004

Sicchar, J. (2022). Procesos de elaboración de chifles de plátano y yuca, [para optar el título profesional de ingeniero en industrias alimentarias, Universidad Nacional de la Amazona Peruana]. Repositorio de la Universidad, Iquitos, Peru. Recuperado el 20 de mayo de 2025, de https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/8204/Juan_Exam.Suf.Prof_Titulo_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. Appetite, 51(3), 456-467. https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.05.060.

Tinoco, F. (2024). Snacks fortificados a partir de harina de lombriz roja californiana (Eisenia fétida), quinua (Chenopodium quinoa) y maíz morado (Zea mays L), [Tesis para obtener título profesional en ingeniería agroindustrial, Universidad Nacional Autonoma de Chota]. Repositorio Institucional, Chota, Perú. Obtenido de https://repositorio.unach.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f6ef64bb-d496-4057-ae39-4810a915fef8/content

Velasquez, L. (2011). Evaluación de vida en anaquel de pan con sustitución parcial de harina de oca. [Tesis para obtener el título de ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.]. Repositorio Institucional, Puno, Perú. Obtenido de https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/3370/Velasquez_Velasquez_Lucas_Raul.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Zanoni, B., Cappelle, M., & Decock, L. (2007). Horneado de pan: una reseña. Revista de Ingeniería de Alimentos. doi: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.014

ANEXOS

ANEXO 1: Boleta para la prueba de preferencia pareada

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL – PRUEBA DE PREFERENCIA

Cod. Panelista: _____ **Sexo:** (M) (F) **Fecha:** ___/___/2026

Se le entregarán las muestras de pan de molde codificadas con figuras geométricas.

Pruebe cada muestra en el orden indicado.

Evalúe los atributos sensoriales según la escala proporcionada, no se permite un empate.

Escala Hedónica:

1 = Me desagrada mucho
2 = Me desagrada
3 = Ni me gusta ni me disgusta
4 = Me gusta
5 = Me gusta mucho

Entre cada muestra, enjuague su boca con agua para evitar interferencias.

MUESTRAS	●	■	▲	◆	○	□	△	◇	★
ESCALA DE PREFERENCIA									

Observaciones: .....

.....

¡Muchas gracias por su participación!

ANEXO 2: Resultados de la prueba de preferencia pareada (Prueba preliminar)

Tabla A2.1: Resultados enriquecido con harina de plátano, yuca y maíz morada

MUESTRAS	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T6**	**T7**	**T8**	**T9**
	●	■	▲	◆	○	□	△	◇	★
ESCALA DE PREFERENCIA									
P1	3	3	5	4	3	3	5	3	3
P2	3	4	4	4	3	2	4	2	2
P3	5	4	5	5	4	4	5	4	4
P4	5	5	4	5	3	4	5	4	4
P5	4	5	5	5	5	5	5	4	5
P6	5	4	4	5	3	4	5	4	4
P7	4	5	4	5	5	5	5	5	5
P8	4	5	5	5	4	5	4	3	3
P9	4	4	5	4	4	4	4	5	5
P10	5	4	5	5	5	5	5	4	3
P11	4	4	4	5	4	4	4	5	4
P12	5	5	5	5	5	5	5	4	4
P13	4	5	4	4	4	5	5	3	3
P14	5	5	5	5	5	3	5	4	4
P15	5	4	5	5	4	4	5	2	3
P16	4	5	5	4	5	5	5	3	4
P17	4	4	4	5	5	4	4	3	5
P18	3	5	5	5	5	3	5	3	5
P19	4	4	4	4	4	4	4	4	5
P20	5	4	5	4	5	5	5	4	3
P21	4	4	4	3	3	4	4	4	5
P22	3	5	4	4	5	4	5	4	1
P23	4	5	5	5	5	4	4	5	5
P24	4	4	4	4	3	5	4	3	3
P25	5	5	5	5	5	4	3	5	3
P26	4	4	4	4	3	5	3	3	5
P27	4	5	5	5	5	4	4	4	3
P28	3	4	5	4	4	3	5	4	5
P29	4	5	5	5	5	5	4	4	1
P30	5	4	5	4	5	3	4	5	4
P31	3	5	5	5	5	5	5	4	5
P32	3	5	4	4	4	2	5	3	3
TOTAL, DE ACEPTACION	**131**	**143**	**147**	**145**	**137**	**131**	**144**	**121**	**121**

ANEXO 3: Ficha de evaluación sensorial hedónica

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL HEDÓNICA

Cod. Panelista: _____ **Sexo:** _____ **Fecha:** _____

Instrucciones.

Se le presenta una muestra de pan de molde, se le pide que pruebe y marque con una "X" la casilla que mejor describa su opinión sobre cada atributo, utilizando la escala propuesta. Por favor enjuague su boca con agua mineral antes de empezar y al proceder a evaluar la siguiente muestra.

TRATAMIENTO 1

	ATRIBUTO					
ESCALA	APARIENCIA	OLOR	COLOR	TEXTURA	SABOR	ACEPTABILIDAD
Me gusta mucho						
Me gusta moderadamente						
Me gusta ligeramente						
Ni me gusta ni me disgusta						
Me desagrada ligeramente						
Me desagrada moderadamente						
Me desagrada mucho						

TRATAMIENTO 2

	ATRIBUTO					
ESCALA	APARIENCIA	OLOR	COLOR	TEXTURA	SABOR	ACEPTABILIDAD
Me gusta mucho						
Me gusta moderadamente						
Me gusta ligeramente						
Ni me gusta ni me disgusta						
Me desagrada ligeramente						
Me desagrada moderadamente						
Me desagrada mucho						

TRATAMIENTO 3

	ATRIBUTO					
ESCALA	APARIENCIA	OLOR	COLOR	TEXTURA	SABOR	ACEPTABILIDAD
Me gusta mucho						
Me gusta moderadamente						
Me gusta ligeramente						
Ni me gusta ni me disgusta						
Me desagrada ligeramente						
Me desagrada moderadamente						
Me desagrada mucho						

TRATAMIENTO 4

	ATRIBUTO					
ESCALA	APARIENCIA	OLOR	COLOR	TEXTURA	SABOR	ACEPTABILIDAD
Me gusta mucho						
Me gusta moderadamente						
Me gusta ligeramente						
Ni me gusta ni me disgusta						
Me desagrada ligeramente						
Me desagrada moderadamente						
Me desagrada mucho						



Observaciones: .....



Muchas gracias por su participación. Su opinión es muy valiosa y contribuirá al desarrollo de un pan de molde enriquecido con mejores características nutricionales y sensoriales.

ANEXO 4: Resultados de la evaluación sensorial (Prueba definitiva).

Tabla A4.1: Tratamiento T2, atributos evaluados: Apariencia, olor, color, textura, sabor y aceptación.

	Tratamiento				T2	
PANELISTAS	APARIENCIA	OLOR	COLOR	TEXTURA	SABOR	ACEPTABILIDAD
1	6	5	5	6	3	5
2	6	6	7	6	7	7
3	5	5	4	6	6	5
4	7	7	6	7	6	6
5	7	7	7	7	7	7
6	6	6	6	7	7	6
7	7	7	6	7	7	7
8	5	6	5	5	5	5
9	6	6	6	5	6	6
10	6	7	7	7	6	6
11	6	6	6	6	6	7
12	5	5	5	4	4	4
13	6	6	6	6	7	7
14	7	7	7	6	7	7
15	4	5	5	3	5	4
16	5	6	6	5	5	5
17	7	6	7	7	6	7
18	7	6	7	7	4	5
19	5	5	5	5	5	5
20	5	5	6	4	5	5
21	5	5	4	5	4	5
22	5	4	7	3	6	2
23	6	7	6	7	6	6
24	6	7	7	6	6	6
25	6	6	6	6	7	7
26	5	6	7	6	5	6
27	7	6	5	7	6	5
28	5	6	5	6	6	6
29	6	6	6	7	6	6
30	7	6	6	5	6	6
31	5	6	5	6	5	6
32	4	5	5	7	5	5
33	4	4	5	5	5	5
34	4	5	5	4	5	5
35	1	2	4	5	6	6
36	5	6	5	5	5	5
37	4	4	3	4	3	3
38	6	7	6	7	6	6
39	7	5	6	7	3	4
40	6	6	5	5	6	6
41	6	7	6	6	6	7
42	4	5	4	6	6	6
43	5	6	2	7	4	3
44	6	5	6	4	5	6
45	7	7	7	4	5	6

46	6	5	7	6	7	5
47	7	6	6	7	7	7
48	5	5	7	5	5	5
49	6	7	7	7	7	7
50	5	6	5	4	4	4
51	5	5	5	4	4	4
52	6	7	7	6	5	6
53	5	5	3	1	4	6
54	5	4	7	6	3	3
55	1	4	3	5	7	2
56	6	6	6	7	6	2
57	2	5	3	5	5	6
58	5	6	6	5	5	5
59	5	5	5	4	5	5
60	4	4	3	5	5	5
61	5	4	7	4	3	7
TOTAL	328	342	339	337	329	329

Tabla A4.2: Tratamiento T3, atributos evaluados: Apariencia, olor, color, textura, sabor y aceptación.

	Tratamiento				**T3**	
PANELISTAS	**APARIENCIA**	**OLOR**	**COLOR**	**TEXTURA**	**SABOR**	**ACEPTABILIDAD**
1	7	7	6	5	6	6
2	6	5	5	6	5	6
3	6	5	4	5	6	5
4	5	6	6	6	5	5
5	7	6	7	7	5	6
6	7	7	7	7	6	7
7	7	7	7	7	6	5
8	6	6	7	6	6	6
9	6	7	7	6	7	7
10	7	7	6	7	7	7
11	7	7	7	7	7	7
12	7	6	7	7	7	7
13	7	7	6	7	7	7
14	7	7	7	6	6	6
15	6	4	6	6	6	6
16	5	6	6	6	5	6
17	6	6	6	6	6	6
18	7	6	7	6	6	5
19	7	7	7	7	7	7
20	5	5	5	5	5	5
21	6	4	5	5	4	3

22	7	6	5	4	2	2
23	7	7	7	7	7	7
24	6	6	6	6	7	6
25	6	7	7	7	6	7
26	7	7	7	6	6	5
27	6	5	4	6	7	6
28	5	5	5	6	6	6
29	6	7	7	7	6	7
30	7	7	6	6	7	6
31	7	7	7	6	6	7
32	5	4	4	7	4	3
33	4	4	3	6	5	5
34	6	6	5	5	5	6
35	1	3	4	6	7	6
36	6	6	5	3	6	5
37	5	4	5	6	5	6
38	6	6	5	7	5	6
39	6	5	7	7	2	3
40	6	6	5	5	6	6
41	5	6	6	6	5	5
42	4	5	5	5	5	5
43	4	5	7	6	3	1
44	6	7	6	4	5	4
45	6	6	7	5	7	5
46	4	3	6	7	5	7
47	7	3	5	5	6	6
48	1	4	6	6	3	4
49	7	5	4	6	7	6
50	4	5	5	4	4	5
51	5	5	6	6	6	6
52	6	6	7	7	6	6
53	7	2	3	6	4	5
54	5	3	2	4	6	1
55	4	7	3	2	6	3
56	6	6	6	6	4	3
57	7	6	7	3	7	7
58	4	5	4	4	4	4
59	6	5	5	5	6	6
60	5	6	6	4	6	6
61	7	5	7	4	6	5
TOTAL	353	341	348	348	341	330

Tabla A4.3: Tratamiento T4, atributos evaluados: Apariencia, olor, color, textura, sabor y aceptación.

	Tratamiento			T4		
PANELISTAS	APARIENCIA	OLOR	COLOR	TEXTURA	SABOR	ACEPTABILIDAD
1	7	7	7	7	7	7
2	7	7	7	7	7	7
3	5	4	5	6	5	5
4	6	7	7	6	6	6
5	6	7	7	7	7	7
6	7	7	7	6	6	7
7	6	6	7	7	6	5
8	6	6	6	7	6	6
9	7	7	7	4	7	7
10	6	7	7	6	5	5
11	6	6	6	6	6	7
12	6	5	6	5	6	6
13	6	6	6	6	5	5
14	7	7	7	6	7	6
15	5	6	5	6	5	5
16	6	6	6	5	5	5
17	7	6	6	7	7	7
18	6	5	7	6	7	6
19	5	5	5	5	5	5
20	5	5	5	4	5	5
21	3	4	4	5	4	4
22	6	7	4	5	3	2
23	7	7	7	7	7	7
24	6	6	7	7	7	7
25	7	7	7	7	7	7
26	6	7	7	6	7	7
27	6	5	4	6	7	5
28	6	6	6	6	6	6
29	6	6	6	6	7	7
30	7	7	6	5	4	5
31	5	6	5	6	6	6
32	5	5	5	7	5	5
33	4	4	5	4	4	4
34	7	6	6	6	7	7
35	4	3	5	6	7	1

36	4	6	4	5	5	5
37	5	5	5	3	3	4
38	5	6	5	6	7	7
39	6	6	7	7	4	4
40	5	6	6	5	5	5
41	6	5	6	6	5	5
42	4	4	4	5	5	5
43	5	3	6	7	4	1
44	6	5	6	4	4	4
45	7	6	7	5	2	6
46	7	6	7	6	7	6
47	7	7	7	7	7	7
48	7	7	4	4	7	7
49	7	7	6	7	7	7
50	4	5	4	4	5	5
51	4	4	4	5	6	3
52	6	6	7	4	5	6
53	7	1	6	2	4	2
54	5	7	3	5	4	4
55	2	7	4	6	5	1
56	6	6	6	7	1	4
57	6	7	6	3	5	6
58	5	6	6	5	5	5
59	5	4	5	5	5	5
60	6	6	5	3	6	6
61	7	6	7	7	4	6
TOTAL	351	352	353	341	335	325

Tabla A4.4: Tratamiento T7, atributos evaluados: apariencia, olor, color, textura, sabor y aceptación.

	Tratamiento				**T7**	
PANELISTAS	**APARIENCIA**	**OLOR**	**COLOR**	**TEXTURA**	**SABOR**	**ACEPTABILIDAD**
1	6	7	6	6	7	6
2	6	6	7	5	6	6
3	5	5	4	6	6	6
4	6	6	7	7	7	7
5	7	7	7	7	7	7
6	7	6	7	7	7	7
7	7	6	5	7	6	7

8	6	6	6	6	6	6
9	7	7	7	7	7	7
10	5	6	6	6	5	5
11	6	6	6	6	6	6
12	5	4	5	4	4	4
13	5	6	5	6	4	4
14	7	7	7	6	6	6
15	6	6	6	5	6	6
16	5	6	6	6	5	5
17	6	5	6	7	6	6
18	6	7	6	6	6	6
19	5	5	5	5	5	5
20	5	5	6	3	4	5
21	7	6	6	7	6	6
22	6	5	3	3	7	1
23	6	6	5	6	6	6
24	6	6	7	5	7	6
25	6	5	6	6	6	7
26	6	5	4	6	7	7
27	6	5	4	7	6	7
28	5	5	6	6	6	6
29	5	7	6	7	7	7
30	7	7	6	7	6	6
31	7	6	6	6	7	6
32	5	5	4	7	5	5
33	5	5	4	2	6	5
34	5	5	4	5	4	5
35	3	4	5	6	7	1
36	6	5	5	5	5	5
37	3	4	5	3	6	4
38	6	6	7	6	5	6
39	7	5	7	7	6	6
40	5	7	6	5	6	6
41	5	6	6	6	5	5
42	4	5	4	5	5	4
43	5	3	7	6	4	1
44	6	4	6	5	5	5
45	7	6	5	3	7	5
46	5	4	7	6	7	3
47	6	6	6	7	7	7

48	7	6	5	4	2	4
49	6	5	6	7	6	5
50	5	6	5	4	5	5
51	5	5	6	6	6	6
52	6	6	6	5	5	5
53	6	3	7	2	4	1
54	4	3	6	5	7	1
55	4	6	5	2	7	3
56	6	6	6	2	6	5
57	6	7	7	6	5	7
58	6	5	6	5	5	5
59	4	4	3	4	4	4
60	5	6	5	3	4	4
61	7	4	7	6	4	3
TOTAL	345	334	347	329	347	313

Tabla N° A4.5: Promedio total de la prueba de análisis sensorial con respecto a los atributos evaluados del pan molde.

TRATAMIENTO	**CARACTERÍSTICAS DEL PAN MOLDE**					
	APARIENCIA	**OLOR**	**COLOR**	**TEXTURA**	**SABOR**	**ACEPTABILIDAD**
T2	5.4	5.6	5.6	5.5	5.4	5.4
T3	5.8	5.6	5.7	5.7	5.6	5.5
T4	5.8	5.8	5.8	5.6	5.5	5.3
T7	5.7	5.5	5.7	5.4	5.7	5.1

ANEXO 5: Detalle de las formulaciones según diseño de mezclas – vértices extremos

:	50.1%				49.9%										100%
N° Trat.	Harina de trigo (%)	Harina de plátano (%)	Harina de Yuca (%)	Harina de maíz morado (%)	Sal (%)	Azúcar (%)	Mantequilla (%)	Mejorador (%)	Levadura fresca (%)	Leche en polvo (%)	Agua (%)	Gluten (%)	Antimoho (%)	Mixo (%)	TOTAL (%)
1	37,5	7,5	2,5	2,5	1,3	4,4	4,4	1,3	1,9	3,8	30,7	1,3	0,1	1	100
2	35	7,5	2,5	5	1,3	4,4	4,4	1,3	1,9	3,8	30,7	1,3	0,1	1	100
3	38	2,5	7,5	2,5	1,3	4,4	4,4	1,3	1,9	3,8	30,7	1,3	0,1	1	100
4	35	2,5	7,5	5	1,3	4,4	4,4	1,3	1,9	3,8	30,7	1,3	0,1	1	100
5	32,5	7,5	7,5	2,5	1,3	4,4	4,4	1,3	1,9	3,8	30,7	1,3	0,1	1	100
6	30	7,5	7,5	5	1,3	4,4	4,4	1,3	1,9	3,8	30,7	1,3	0,1	1	100
7	37,5	5	2,5	5	1,3	4,4	4,4	1,3	1,9	3,8	30,7	1,3	0,1	1	100
8	37,5	2,5	5	5	1,3	4,4	4,4	1,3	1,9	3,8	30,7	1,3	0,1	1	100
9	35,4	5,3	5,3	4,1	1,3	4,4	4,4	1,3	1,9	3,8	30,7	1,3	0,1	1	100

ANEXO 6: Análisis microbiológico del pan (T3) efectuado por el laboratorio la molina

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

INFORME DE ENSAYOS
Nº 000217 - 2026

SOLICITANTE	: **LUDEÑA PAÑAO CINTHIA RENATA**
DIRECCIÓN LEGAL	: ASOC. LOS LICENCIADOS MZ G
	: RUC: **10701524573** Teléfono: 939 407 292
PRODUCTO	: **PAN DE MOLDE ENRIQUECIDO CON HARINAS DE PLÁTANO, YUCA Y MAÍZ MORADO**
NÚMERO DE MUESTRAS	: Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA.	: S.I.
CANTIDAD RECIBIDA	: 114,7 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S)	: S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN	: A Granel, la muestra ingresa en bolsa de polietileno cerrado
SOLICITUD DE SERVICIO	: S/S NºEN-000141 -2026
REFERENCIA	: ACEPTACION TELEFONICA
FECHA DE RECEPCIÓN	: 27/01/2026
ENSAYOS SOLICITADOS	: **MICROBIOLÓGICO**
PERÍODO DE CUSTODIA	: No aplica

RESULTADOS :

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS :

ALCANCE : N.A.

ENSAYOS	RESULTADO
1.- N. de Bacillus cereus (UFC/g)	$<10^2$ Estimado
2.- N. de E. coli (NMP/g)	<3
3.- N. de Mohos (UFC/g)	<10 Estimado
4.- N. de Levaduras (UFC/g)	<10 Estimado
5.- D. de Salmonella sp. (cn 25g)	Ausencia

V°B° Dirección Técnica

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :

1.- ICMSF Vol. I, Parte II Ed. II Pág. 285-286 (Traducción Versión Original 1978) Reimpresión 2000 (Ed. Acribia) 1983 /// Bioquímica por FDA-BAM On line 8th. Ed. October 2020. Chapter 14, F y G. Revision A 1998 1995. 1983
2.- ICMSF Vol. I, Parte II, Ed. II Pág. 131-134; 138-142 (Traducción Versión Original 1978) Reimpresión 2000 (Ed. Acribia). 1983
3.- ICMSF Vol. I Parte II Ed. II Pág. 166-167 (Traducción Versión Original 1978) Reimpresión 2000 (Ed. Acribia) 1983
4.- ICMSF Vol. I Parte II Ed. II Pág. 166-167 (Traducción Versión Original 1978) Reimpresión 2000 (Ed. Acribia) 1983
5.- ICMSF Vol.I, Part II, Ed.II, Pág. 171-175, 176 I 1-9, 10(a) y 10 (c), Pág. 177 II y [illegible]g. 178 III (Traducción versión original 1978) Reimpresión 2000 (Ed. Acribia). 1983

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 29/01/2026 Al 06/02/2026.

CONTINÚA INFORME DE ENSAYOS Nº 000217 - 2026

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322
E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal
la molina calidad total

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

INFORME DE ENSAYOS
Nº 000217 - 2026

ADVERTENCIA :

1. El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM son responsabilidad del solicitante.
2. La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM es responsable de toda la información suministrada en el informe de ensayos, excepto la información suministrada por el solicitante que pueda o no afectar a la validez de los resultados.
3. Los resultados se aplican únicamente a la muestra recibida. No es un Certificado de Conformidad, ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
4. Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin autorización de La Molina Calidad Total Laboratorios-UNALM

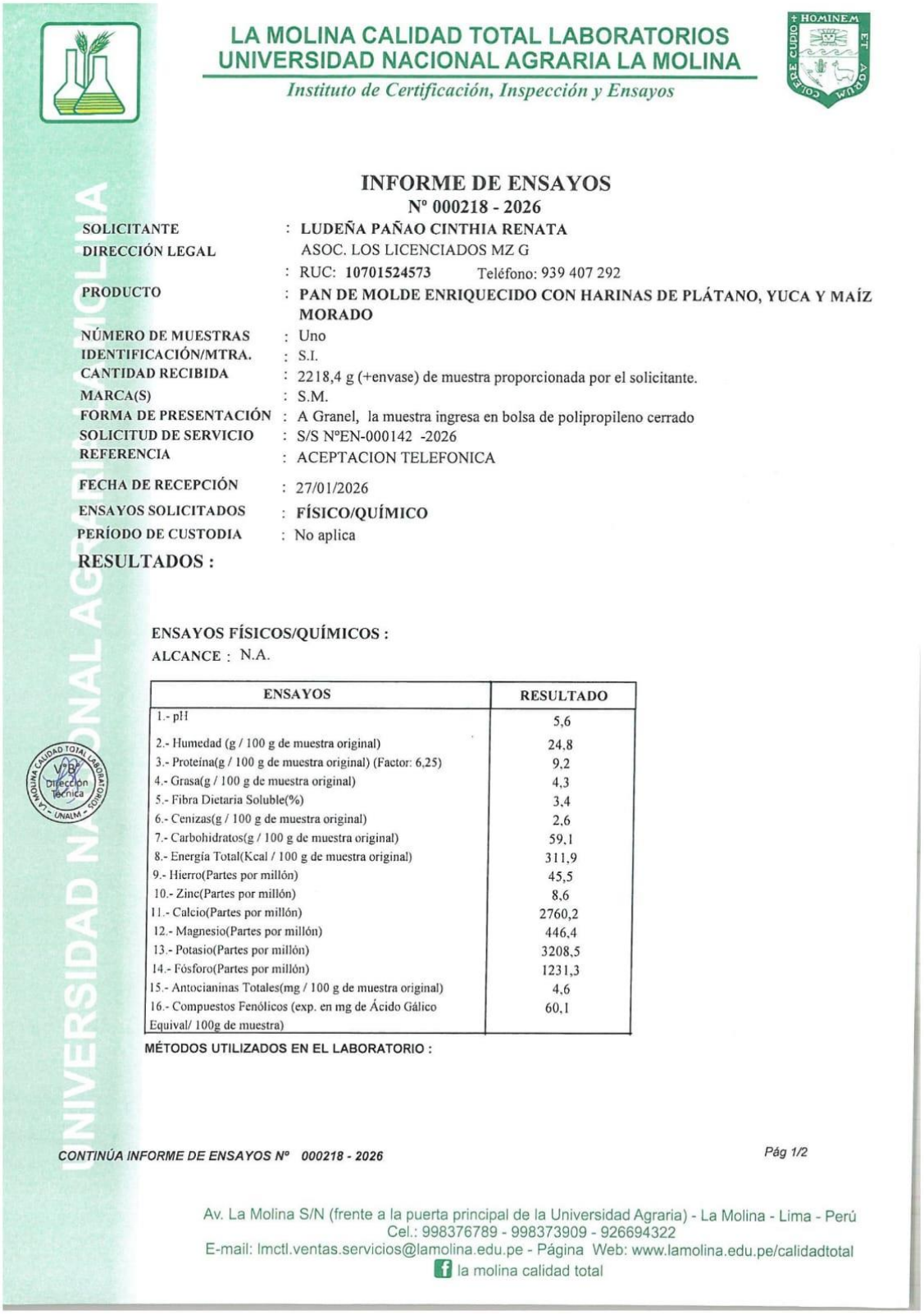
La Molina, 6 de Febrero del 2026

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM
Dirección Técnica

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM
Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
Directora Técnica (e)
CBP - N° 01232

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322
E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal
la molina calidad total

ANEXO 7: Análisis Físico-Químico del pan molde (T3) efectuado por el laboratorio la molina



LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

INFORME DE ENSAYOS
Nº 000218 - 2026

SOLICITANTE	: **LUDEÑA PAÑAO CINTHIA RENATA**
DIRECCIÓN LEGAL	ASOC. LOS LICENCIADOS MZ G
	: RUC: **10701524573** Teléfono: 939 407 292
PRODUCTO	: **PAN DE MOLDE ENRIQUECIDO CON HARINAS DE PLÁTANO, YUCA Y MAÍZ MORADO**
NÚMERO DE MUESTRAS	: Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA.	: S.I.
CANTIDAD RECIBIDA	: 2218,4 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S)	: S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN	: A Granel, la muestra ingresa en bolsa de polipropileno cerrado
SOLICITUD DE SERVICIO	: S/S N°EN-000142 -2026
REFERENCIA	: ACEPTACION TELEFONICA
FECHA DE RECEPCIÓN	: 27/01/2026
ENSAYOS SOLICITADOS	: **FÍSICO/QUÍMICO**
PERÍODO DE CUSTODIA	: No aplica

RESULTADOS :

ENSAYOS FÍSICOS/QUÍMICOS :
ALCANCE : N.A.

ENSAYOS	RESULTADO
1.- pH	5,6
2.- Humedad (g / 100 g de muestra original)	24,8
3.- Proteína(g / 100 g de muestra original) (Factor: 6,25)	9,2
4.- Grasa(g / 100 g de muestra original)	4,3
5.- Fibra Dietaria Soluble(%)	3,4
6.- Cenizas(g / 100 g de muestra original)	2,6
7.- Carbohidratos(g / 100 g de muestra original)	59,1
8.- Energía Total(Kcal / 100 g de muestra original)	311,9
9.- Hierro(Partes por millón)	45,5
10.- Zinc(Partes por millón)	8,6
11.- Calcio(Partes por millón)	2760,2
12.- Magnesio(Partes por millón)	446,4
13.- Potasio(Partes por millón)	3208,5
14.- Fósforo(Partes por millón)	1231,3
15.- Antocianinas Totales(mg / 100 g de muestra original)	4,6
16.- Compuestos Fenólicos (exp. en mg de Ácido Gálico Equival/ 100g de muestra)	60,1

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :

CONTINÚA INFORME DE ENSAYOS Nº 000218 - 2026

Pág 1/2

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322
E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal
la molina calidad total

Anexo 8: Norma Técnica Peruana de Elaboración de Pan de Molde

NORMA TÉCNICA PERUANA | NTP 206.004 1988 (revisada el 2016)

Dirección de Normalización - INACAL
Calle Las Camelias 815, San Isidro (Lima 27) Lima, Perú

PAN DE MOLDE: PAN BLANCO, PAN INTEGRAL Y SUS PRODUCTOS TOSTADOS

MOLD BREAD: WHITE BREAD, WHOLE-WHEAT BREAD AND ITS PRODUCTS

2016-08-26
1ª Edición

R.D. N° 021-2016-INACAL/DN. Publicada el 2016-09-02 Precio basado en 09 páginas
I.C.S.: 67.060 ESTA NORMA ES RECOMENDABLE
Descriptores: Pan, molde, blanco, integral, tostado

© INACAL 2016

© INACAL 2016

Todos los derechos son reservados. A menos que se especifique lo contrario, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada por cualquier medio, electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia o publicándolo en el internet o intranet, sin permiso por escrito del INACAL.

INACAL

Calle Las Camelias 815, San Isidro
Lima - Perú
Tel.: +51 1 640-8820
administracion@inacal.gob.pe
www.inacal.gob.pe

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

PRÓLOGO
(de revisión 2016)

A.1 La Norma Técnica Peruana (NTP) **NTP 206.004:1988 (Revisada el 2011) PAN DE MOLDE: PAN BLANCO, PAN INTEGRAL Y SUS PRODUCTOS TOSTADOS,** 1ª Edición, se encuentra incluida en el programa de actualización de Normas Técnicas Peruanas que cumplieron 05 años de vigencia.

A.2 La NTP referida, aprobada mediante resolución N° 0008-2011/CNB-INDECOPI, fue revisada por el Comité Técnico de Normalización (CTN) de Panadería, pastelería y galletería, y puesta a consulta pública por un periodo de 30 días calendario. No recibió observaciones por parte de los representantes de los sectores involucrados: producción, consumo y técnico.

A.3 El CTN de Panadería, pastelería y galletería, recomendó mantener la vigencia de la NTP y la Dirección de Normalización (DN), procedió a mantener su vigencia, previa revisión final, aprobando la versión revisada el 26 de agosto de 2016.

NOTA: Cabe resaltar que la revisión de la presente NTP se ha realizado con el objetivo de determinar su vigencia, más no su actualización.[1]

A.4 Los métodos de ensayo y de muestreo cambian periódicamente con el avance de la técnica. Por lo cual, recomendamos consultar en el Centro de Información y Documentación del INACAL, la vigencia de los métodos de ensayo y de muestreo citados en esta NTP.

A.5 La presente Norma Técnica Peruana reemplaza a la NTP 206.004:1988 (Revisada el 2011) PAN DE MOLDE: PAN BLANCO, PAN INTEGRAL Y SUS PRODUCTOS TOSTADOS, 1ª Edición.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE NORMA TÉCNICA PERUANA

Secretaría	Asociación Peruana de Empresarios de la Panaderia y Pastelería - ASPAN
Secretaria	Laura Rodriguez

[1] De acuerdo al Decreto Supremo Nº 003-2005-SA, se prohíbe el uso de la sustancia química bromato de potasio en la elaboración de pan y otros productos alimenticios destinados al consumo humano, por tal motivo se ha retirado de la presente Norma Técnica Peruana todo lo relacionado a bromato.

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

ENTIDAD	REPRESENTANTE
AB MAURI - Fleischmann	Rosa Arcos
Alicorp S.A.A.	Alexander Moran Delgado
Asociación Peruana de Empresarios de la Panadería y Pastelería - ASPAN	Pedro Luis Martínez García
Certificaciones y Calidad S.A.C. - Certifical	Yuri Ascarza Felices
Certificaciones del Perú S.A.	Gloria Reyes Robles
Ministerio de la Producción Instituto Tecnológico de la Producción - ITP	Gloria Fuertes Vicente
Levapan del Perú S.A.C.	Ana Gates Ojeda
Ministerio de Salud. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición	Mariela Esperanza Jurado Santos
Molitalia S.A.	Martha Limo Figueroa
Horno, Trigo y Miel S.A.C.	Marianella Salazar Noriega
Supermercados Peruanos S.A.	Carmen Rojas Yarleque

---oooOooo---

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

PRÓLOGO
(De Revisión 2011)

A. RESEÑA HISTÓRICA

A.1 La presente Norma Técnica Peruana se encuentra dentro de la relación de normas incluidas en el Plan de Revisión y Actualización de Normas Técnicas Peruanas, aprobadas durante la gestión del ITINTEC (periodo 1966-1992).

A.2 La NTP 206.004:1988 fue aprobada mediante resolución R.D. Nº 834-88-ITINTEC-DG del 88-07-22 y el Comité Técnico de Normalización de Cereales, leguminosas y productos derivados, Sub Comité de Trigo y productos derivados, la revisó acordando en su sesión de 2011-03-29, mantenerla vigente.

A.3 La Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias -CNB-, aprobó mantener vigente la presente norma, oficializándose como **NTP 206.004:1988 (Revisada el 2011) PAN DE MOLDE: PAN BLANCO, PAN INTEGRAL Y SUS PRODUCTOS TOSTADOS**, el 14 de abril de 2011.

NOTA: Cabe destacar que la revisión de la presente Norma implica que ésta no ha sido modificada.

A.4 La presente Norma Técnica Peruana reemplaza a la NTP 206. 004:1988 PAN DE MOLDE: PAN BLANCO, PAN INTEGRAL Y SUS PRODUCTOS TOSTADOS. Las Normas Técnicas Peruanas que fueron dejadas sin efecto no figuran en la presente edición.

B. INSTITUCIONES MIEMBROS DEL CTN DE CEREALES, LEGUMINOSAS Y PRODUCTOS DERIVADOS – SUB COMITÉ DE TRIGO Y PRODUCTOS DERIVADOS

Secretaría	Dirección General de Competitividad Agraria – Ministerio de Agricultura
Presidente	Amelia Huaringa
Secretario CTN	Magno Meyhuay

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

Secretario SCTN	José Luis Rabines

ENTIDAD	**REPRESENTANTE**
Panificadora Bimbo del Perú S.A.	Henry Bautista Denisse Casariego
ALICORP	Jorge Martínez
Panera Ediciones S.A.C.	Nancy Fuentes
ASPAN	William Heida
Granotec Perú S.A.	Mercedes Malache
Industrias Teal S.A.	Amelia Aguilar Rosa Arcos
Dirección General de Competitividad Agraria	Juan Pomares
INIA	Agripina Roldán
UNALM	Martha Ibañez
CENAN	Sonia Córdova Percy Alfaro
Consultor	Sonia Bernaola

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

PRÓLOGO

A. RESEÑA HISTÓRICA

La presente Norma Técnica Peruana, se refiere a la revisión de la NTP 206.004 Pan de molde. Pan blanco y pan integral (1975), que se ha llevado a cabo en reuniones efectuadas durante los meses de enero, febrero y marzo de 1988, teniendo como propuesta de estudio el documento titulado Pan de molde: Pan blanco, pan integral y sus productos tostados.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN DE LA PRESENTE NORMA TÉCNICA PERUANA

- ASOCIACIÓN DE INDUSTRIALES DE PANADERÍA
- FÁBRICA DE GALLETAS VENTANILLA S.A.
- INSTITUTO NACIONAL DE DESARROLLO AGROINDUSTRIAL (INDDA)
- INSTITUTO NACIONAL DE NUTRICIÓN.
- MUNICIPALIDAD DE LIMA METROPOLITANA.
- PANIFICADORA ALFONSO UGARTE S.A.
- PRODUCTOS ALIMENTICIOS PYC S.A.
- ROLLY'S PASTELERÍA S.A.
- SOCIEDAD UNIÓN INDUSTRIALES DE PANADERÍAS-CALLAO.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA. Facultad de industrias alimentarias.
- VILLAPAN S.A.

---oooOooo---

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

PAN DE MOLDE: PAN BLANCO, PAN INTEGRAL Y SUS PRODUCTOS TOSTADOS

1 NORMAS A CONSULTAR

NTP 202.005	LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS. Leche en polvo. Requisitos
NTP 205.027[2]	HARINA DE TRIGO PARA CONSUMO DOMÉSTICO Y USO INDUSTRIAL
NTP 206.006	PRODUCTOS DE PANADERÍA. Extracción y preparación de la muestra para el laboratorio
NTP 206.007	PRODUCTOS DE PANADERÍA. Determinación del porcentaje de cenizas
NTP 206.008	PRODUCTOS DE PANADERÍA. Determinación del porcentaje de acidez titulable
NTP 206.011	BIZCOCHOS, GALLETAS, PASTAS Y FIDEOS. Determinación de humedad
NTP 209.002	MANTECAS
NTP 209.016[3]	SAL PARA USO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

[2] La NTP 205.027 fue dejada sin efecto y ha sido reemplazada por las siguientes Normas Técnicas Peruanas: NTP 205.058:2015 y NTP 205.064:2015
[3] La NTP 209.016 fue dejada sin efecto y ha sido reemplazada por la NTP 209.015:2006 Sal para consumo humano

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

NTP 209.038	ALIMENTOS ENVASADOS. Etiquetado
NTP 209.180	LEVADURAS. Levadura industrial para panificación. Definiciones y requisitos
NTP 205.040	HARINAS SUCEDÁNEAS DE LA HARINA DE TRIGO. Generalidades
NTP 207.003	AZÚCAR. Azúcar refinado. Requisitos
NMP 001[4]	PRODUCTOS ENVASADOS. Rotulado

2 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

La presente Norma Técnica Peruana establece las definiciones y requisitos que debe cumplir el pan de molde, tanto blanco como integral, así como el pan tostado que tiene a los mencionados como producto anterior.

3 DEFINICIONES

3.1 **pan de molde:** Es el producto obtenido por la cocción en moldes, de una masa fermentada hecha básicamente con harina de trigo, agua potable, sal, azúcar, levadura y manteca, pudiendo tener otros ingredientes y aditivos permitidos.

3.1.1 **pan integral:** Es el pan de molde elaborado con harina integral.

3.1.2 **pan blanco:** Es el pan de molde elaborado con harina, con un máximo de 82 % de extracción.

[4] La NMP 001 PRODUCTOS ENVASADOS. Rotulado fude dejada sin efecto y fue reemplazada por la NMP 001:2014 Requisitos para el etiquetado de productos preenvasados

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

3.1.3 **pan corriente:** Es el pan de molde elaborado con harina de más de 82 % hasta 86 % de extracción.

3.2 **pan tostado de molde:** Es el producto que como producto anterior tiene el pan de molde (apartado 3.1) y que ha sido tostado (o secado) bajo condiciones controladas.

4 CLASIFICACIÓN

4.1 Según el producto haya sido o no adicionado de aditivos se clasificará en:

4.1.1 Con aditivos

4.1.2 Sin aditivos

4.2 Según el grado de extracción de la harina utilizada, el pan de molde se clasificará en:

4.2.1 Pan integral

4.2.2 Pan blanco

4.2.3 Pan corriente

Correspondiendo la misma clasificación para los productos tostados correspondientes.

5 CONDICIONES GENERALES

5.1 Los diversos ingredientes utilizados en la elaboración del producto deberán ser suministrados cumpliendo con sus Normas Técnicas Peruanas correspondientes.

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

5.2 El producto deberá estar exento de materias extrañas, manchas, roturas así como de olores, colores y sabores desagradables.

5.3 El producto deberá presentar uniformidad en sus dimensiones, forma, volumen y apariencia en general.

5.4 El pan de molde deberá tener una miga esponjosa, sin zonas almidonosas, su color será uniforme el mismo que dependerá de las harinas empleadas; y no será pegajosa ni desmenuzable.

5.5 El pan tostado deberá tener una miga esponjosa y crocante, sin zonas almidonosas, su color será dorado uniforme el mismo que dependerá de las harinas empleadas.

5.6 Se podrá emplear también mezclas de harina de trigo con harina sucedáneas (otros cereales, tubérculos, raíces, oleaginosas) y otras aptas para panificación cuyos componentes no sean dañinos a la salud y que cumplan con las NTP correspondientes.

5.6.1 La mezcla no deberá contener más de un equivalente al 10 % de harinas sucedáneas panificables.

6 REQUISITOS

6.1 Requisitos físico-químicos

6.1.1 **Humedad:** Será como máximo 40 % (base húmeda) para cualquier tipo de pan de molde; y de 6 % (base húmeda) como máximo para cualquier tipo de pan tostado de molde.

6.1.2 **Acidez:** Será como máximo 0,5 % (base seca) expresada en ácido sulfúrico (H_2SO_4) para cualquiera de los productos considerados en la presente NTP.

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

6.1.3 **Cenizas:** Será como máximo 4,0 % (base seca) para cualquier de los productos considerados en la presente NTP.

6.2 Aditivos alimentarios

En la elaboración del producto estará permitido el uso de los aditivos siguientes, el mismo que será verificado por la autoridad sanitaria así como también la verificación de su pureza:

6.2.1	**Ácidos, Bases y Sales**	**Dosis máxima de uso**
	Ac. acético	2 000 mg/kg (5)
	Fosfatos (mono y difosfatos de Na K y Ca, polifosfatos de K y Na	PCF*
	Cloruros NH_4	2 500 mg/kg (6)
	Carbonatos de Ca	PCF

6.2.2	**Antioxidantes o sinergistas**	
	Ácido ascórbico	PCF*
	BHA/BHT (sólo para pan tostado blanco o integral y pan integral)	200 mg/kg

6.2.3 Colorantes, de acuerdo a la NTP 209.134[7]

6.2.4	**Enzimas**	
	Amilasa (α o β) Proteinasa Solas o mezcladas	PCF*

(5) Durante la elaboración del pan para evitar el "roping" (aspecto filamentoso en el pan).
(6) Cálculado sobre la harina.
* PCF Prácticas correctas de fabricación.
[7] La NTP 209.134 fue dejada sin efecto y ha sido reemplazada por la NTP 209.701:2011 ADITIVOS ALIMENTARIOS. Colorantes y agentes de retención de color. Definiciones y clasificación

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

6.2.5 Saborizantes

Naturales y artificiales permitidos por la autoridad sanitaria.

6.2.6 Agentes ablandadores

Se permitirá el uso de aceites minerales sólo como lubricantes.	2 000 mg/kg (b,c)

6.2.7 Emulsificantes

Glicéridos (etoxilados) Glicéridos (mono y di) de ácidos grasos dietéticos Lecitina Ésteres poliglicerol Ésteres propilenglicol de ácidos grasos Compuestos sorbitan Compuestos sorbitan (derivados polyoxietileno) Aceite de soya Ésteres estearil Ácido lactílico-2-estearol y sus sales de Ca y Na	PCF*

6.2.8 Agentes oxidantes

Azodicarbonamida	45 mg/kg
Peróxido de Ca	75 mg/kg solos o en combinación
Yodatos de K y Ca	
Cisteína y cloruros	90 mg/kg

(c) Como agente ablandador y como agente engrasante de moldes.

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

6.2.9 Conservadores

Ácido propiónico y sus sales de Ca y Na	4 000 mg/kg
Ácido sórbico y sus sales de Ca, K y Na	1 500 mg/kg

6.2.10 Vitaminas y nutrientes

	Dosis mínima de uso por kg de producto
Tiamina	4,4 mg
Riboflavina	2,6 mg
Niacina	35,0 mg
Hierro	28,0 mg

Estas dosis corresponderán al producto que se denomine "Pan enriquecido", asimismo, en adición a lo mencionado se podrá adicionar otros nutrientes en proporciones que serán dadas por la autoridad sanitaria.

7 INSPECCIÓN Y RECEPCIÓN

Se efectuará de acuerdo a lo establecido en la NTP correspondiente.

8 MÉTODOS DE ENSAYO

Los ensayos necesarios se efectúan según las NTP correspondientes.

9. ENVASE Y ROTULADO

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

9.1 Envase

9.1.1 El producto con aditivos, deberá estar envasado.

9.1.2 Los materiales para envasado deberán ser seleccionados de tal forma, que mantengan en buen estado el producto, hasta la venta final; y, deberán reunir las siguientes características:

a) Proteger sus cualidades organolépticas y características.

b) Proteger al producto de cualquier contaminación.

c) Prevenir la pérdida de humedad.

d) El envase no deberá comunicar ninguna sustancia tóxica ni imprimir color, sabor, olor u otras características extrañas.

e) El envase deberá permitir ver el producto, total o parcialmente.

9.2 Rotulado

9.2.1 El rotulado deberá cumplir con la NTP 209.038 y la NMP 001.

9.2.2 Si el envase no está impreso deberá llevar interiormente una etiqueta rotulada.

9.2.3 La etiqueta rotulada no deberá comunicar al producto, ninguna sustancia tóxica, ni imprimir color, sabor, olor u otras características extrañas.

10 ANTECEDENTES

10.1 Comisión del Codex Alimentarius. Documento CX/FAC 88/10 Parte II Enero 1988. Aprobación de disposiciones sobre aditivos alimentarios en las Normas del

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

Codex para productos (harina de trigo).

10.2 Dehove Raymond. La reglamentation des produits alimentaires et non alimentaires – France – Paris.

10.3 Elsevier Scientific Publishing Company. Food aditives tables Classes I-IV 1980.

10.4 ICONTEC 1363 Industrias Alimentarias. Pan común. Requisitos generales (82-05-05) Bogotá – Colombia.

10.5 Indian Standard IS 1483-1968 Specification for white bread – New Delhi – India.

10.6 Juan de la Canal – Código Alimentario Argentino

10.7 Legislación Alimentaria Española. Ca. XX.

10.8 Ministerio de Salud. Lima – Perú. Reglamento Sanitario de Alimentos.

10.9 Servicio Nacional de Salud. Santiago – Chile. Reglamento Sanitario de Alimentos.

© INACAL 2016 - Todos los derechos son reservados

ANEXOS 9: obtención de las harinas de plátano, yuca y maíz morada

Figura N° A9.1: Plátano de variedad ordinario, hartón o bellaco materia prima para la obtención de harina



Figura N° A9.2: Harina de plátano ordinario obtenida mediante el procesamiento de la materia prima



Figura N° A9.3: Yuca utilizada como materia prima para la obtención de harina



Figura N° A9.4: Harina de yuca obtenida mediante el procesamiento de la materia prima



Figura N° A9.5: Maíz morado utilizado como materia prima para la obtención de harina



Figura N° A9.6: Harina de maíz morado obtenida mediante el procesamiento de la materia prima



ANEXOS 10: Elaboración pan de molde enriquecido con harinas de plátano, yuca y maíz morado

Figura N° A10.1: Dosimetría de los ingredientes



Figura N° A10.2: Pesado de harina e ingredientes



Figura N° A10.3: Mezclado – amasado

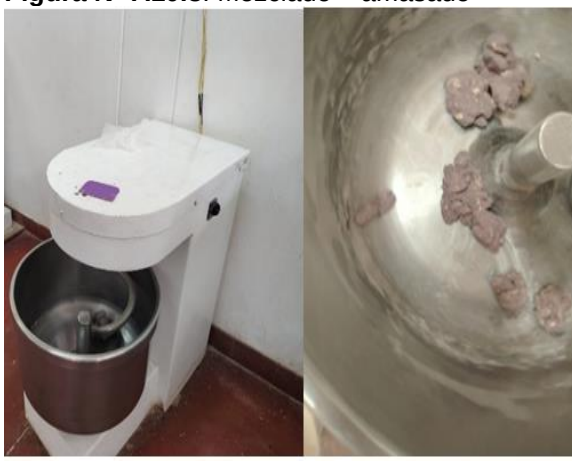


Figura N° A10.4: Elasticidad de la masa.



Figura N° A10.5: Pesado de la masa.



Figura N° A10.6: Boleado de la masa



Figura N° A10.7: Fermentación de la masa



Figura N° A10.8: Horneado



Figura N° A11.9: Enfriado



Figura N° A10.10: Embolsado del pan de molde



ANEXOS 11: Pan de molde enriquecido con harinas de plátano, yuca y maíz morado a diferentes sustituciones de la prueba preliminar

Figura A11.1: Pan molde a diferentes sustituciones



Figura A12.2: Pan molde a diferentes sustituciones



Figura A11.3: Corte del Pan molde a diferentes sustituciones



Figura A14.4: Embolsado del pan molde



ANEXO 12: Evaluación sensorial del pan molde enriquecido con harina de plátano, yuca, y maíz morado

Figura A12.1: Troceado.



Figura A12.2: Modelo de la prueba preliminar



Figura A12.3: Modelo de la prueba definitiva



Figura A12.4: Acondicionamiento del ambiente del CEP para la evaluación sensorial.



Figura A12.5: Evaluación sensorial (Estudiantes de la UNSCH)



Figura A12.6: Evaluación sensorial



Figura A12.7: Evaluación del pan molde (Estudiantes de la UNSCH de la carrera profesional ingeniería civil)



Figura A12.8: Evaluación del pan molde (Estudiantes de la UNSCH)



Figura A12.9: Evaluación sensorial del pan molde (Egresados de la carrera profesional ingeniería agroindustrial)



UNSCH FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Elaboración y caracterización tecno-funcional, nutricional y sensorial de un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (*Musa paradisiaca* L.), yuca (*Manihot esculenta*) y maíz morado (*Zea mays* L.)

Expositora: Janet Lisbet Gomez Misares
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial

Expediente N° 26135345 Resolución Decanal N° 150-2026-UNSCH-FIQM/D Fecha: 30-09-2026

En la Sala de Conferencias "Pedro VILLENA HIDALGO" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las ocho de la mañana con cinco minutos del día viernes dos de octubre del año dos mil veintiséis, se reunieron la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **Janet Lisbet Gomez Misares,** los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Wilfredo TRASMONTE PINDAY, Mg. Jorge Adalberto MALAGA JUAREZ (Miembros) (Ausente) y Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Miembro-Asesor), bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), el Mg. Wuelde Cesar DIAZ MALDONADO (Secretario-Docente(e)) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Elaboración y caracterización tecno-funcional, nutricional y sensorial de un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (*Musa paradisiaca* L.), yuca (*Manihot esculenta*) y maíz morado (*Zea mays* L.),** presentado por la Bachiller **Janet Lisbet Gomez Misares**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 150-2026-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó a la Bachiller **Janet Lisbet Gomez Misares,** a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición de la Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE, Mg. Jorge Adalberto MALAGA JUAREZ (Ausente) y Dr. Wilfredo TRASMONTE PINDAY.

Concluyó con esta etapa el Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA, en su condición de Presidente.

UNSCH FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Elaboración y caracterización tecno-funcional, nutricional y sensorial de un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (*Musa paradisiaca* L.), yuca (*Manihot esculenta*) y maíz morado (*Zea mays* L.)

Expositora: Janet Lisbet Gomez Misares
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial

Expediente Nº 26135345 Resolución Decanal Nº 150-2026-UNSCH-FIQM/D Fecha: 30-09-2026

Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó a la Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADA POR UNANIMIDAD PROMEDIO QUINCE (15).**

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que la Bachiller **Janet Lisbet Gomez Misares,** ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA AGROINDUSTRIAL** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las diez de la mañana con cinco minutos, se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

.....	.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA	Dr. Wilfredo TRASMONTE PINDAY
Presidente	Miembro
.....	.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE	Mg. Wuelde Cesar DIAZ MALDONADO
Miembro-Asesor	Secretario Docente(e)

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria

UNSCH FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Elaboración y caracterización tecno-funcional, nutricional y sensorial de un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (*Musa paradisiaca* L.), yuca (*Manihot esculenta*) y maíz morado (*Zea mays* L.)

Expositora: Cinthia Renata Ludeña Pañao
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial

Expediente N° 26135345 Resolución Decanal N° 150-2026-UNSCH-FIQM/D Fecha: 30-09-2026

En la Sala de Conferencias "Pedro VILLENA HIDALGO" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las ocho de la mañana con cinco minutos del día viernes dos de octubre del año dos mil veintiséis, se reunieron la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **Cinthia Renata Ludeña Pañao,** los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Wilfredo TRASMONTE PINDAY, Mg. Jorge Adalberto MALAGA JUAREZ (Miembros) (Ausente) y Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Miembro-Asesor), bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la FIQM), el Mg. Wuelde Cesar DIAZ MALDONADO (Secretario-Docente(e)) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Elaboración y caracterización tecno-funcional, nutricional y sensorial de un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (*Musa paradisiaca* L.), yuca (*Manihot esculenta*) y maíz morado (*Zea mays* L.),** presentado por la Bachiller **Cinthia Renata Ludeña Pañao**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 150-2026-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó a la Bachiller **Cinthia Renata Ludeña Pañao,** a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos.

Terminada la exposición de la Bachiller, el Presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE, Mg. Jorge Adalberto MALAGA JUAREZ (Ausente) y Dr. Wilfredo TRASMONTE PINDAY.

Concluyó con esta etapa el Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA, en su condición de Presidente.

UNSCH FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:

(Reglamento de grados y títulos, aprobado con RCU N° 3403-2024-UNSCH-CU)

Elaboración y caracterización tecno-funcional, nutricional y sensorial de un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (*Musa paradisiaca* L.), yuca (*Manihot esculenta*) y maíz morado (*Zea mays* L.)

Expositora: Cinthia Renata Ludeña Pañao
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial

Expediente N° 26135345 Resolución Decanal N° 150-2026-UNSCH-FIQM/D Fecha: 30-09-2026

Culminada la etapa de preguntas, el Presidente del Jurado invitó a la Sustentante y al público para que se sirvan abandonar la Sala de Conferencias con la finalidad de permitir al Jurado de Sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADA POR UNANIMIDAD PROMEDIO QUINCE (15).**

Finalmente el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la Sala de Conferencias, y anunció que la Bachiller **Cinthia Renata Ludeña Pañao,** ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA AGROINDUSTRIAL** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las diez de la mañana con cinco minutos, se dio por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

.....	.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA	Dr. Wilfredo TRASMONTE PINDAY
Presidente	Miembro
.....	.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE	Mg. Wuelde César DIAZ MALDONADO
Miembro-Asesor	Secretario Docente(e)

FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y METALURGIA
Av. Independencia s/n
Ciudad Universitaria

La Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, la egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial ha remitido, con el aval y por intermedio de su asesor de la Tesis Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE, se procedió a la evaluación de originalidad del archivo adjunto con el TURNITIN - UNSCH, **de acuerdo a los criterios establecidos en el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU;** cuyos resultados son:

Tesis Elaboración y caracterización tecno-funcional, nutricional y sensorial de un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (*Musaparadisiaca* L.),yuca (*Manihot esculenta*) y maíz morado (*Zea mays* L.).

Nombre y Apellido : **Janet Lisbet GOMEZ MISARES y Cinthia Renata LUDEÑA PAÑAO**
Identificador de entrega : 3079017118
Fecha : 03-nov-2026 10:20a. m. (UTC-0500)
Archivo : Tesis_Agroindustrial_Janet_y_Renata.pdf (6.28M)

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del 14 % de ÍNDICE DE SIMILITUD realizado con Depósito de trabajos estándar, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Ayacucho, 3 de noviembre 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
E.P. INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Dr. Ing. Saúl R. Chuqui Diestra
DIRECTOR

C.c.
Const. N°014-2026
Archivo.

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERA AGROINDUSTRIAL
Av. Independencia S/N - Ayacucho
Telf. 066-303496
Correo: ep.agroindustrial@unsch.edu.pe

Elaboración y caracterización tecno-funcional, nutricional y sensorial de un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (Musa paradisiaca L.),yuca (Manihot esculenta) y maíz morado (Zea mays L.)

por Janet Lisbet GOMEZ MISARES, y Cinthia Renata LUDEÑA PAÑAO

Fecha de entrega: 03-nov-2026 10:20a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 3079017118
Nombre del archivo: Tesis_Agroindustrial_Janet_y_Renata.pdf (6.28M)
Total de palabras: 30593
Total de caracteres: 165002

Elaboración y caracterización tecno-funcional, nutricional y sensorial de un pan de molde enriquecido con harinas de plátano (Musa paradisiaca L.),yuca (Manihot esculenta) y maíz morado (Zea mays L.)

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%	12%	2%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unibague.edu.co Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.descubre.cr Fuente de Internet	<1%
8	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.upec.edu.ec Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1%
12	Submitted to University of the Andes Trabajo del estudiante	<1%
13	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
14	Submitted to Universidad Nacional Hermilio Valdizan Trabajo del estudiante	<1%

15	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	rei.iteso.mx Fuente de Internet	<1 %
17	bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080 Fuente de Internet	<1 %
18	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
19	pdfcoke.com Fuente de Internet	<1 %
20	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
23	repository.lasalle.edu.co Fuente de Internet	<1 %
24	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to Universidad Agraria del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
27	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	www.repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.unat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
31	rdu.unc.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
	repositorio.unicesar.edu.co	

32	Fuente de Internet	<1 %
33	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
34	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 30 words
Excluir bibliografía	Activo		