

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: “Evaluación del efecto de la enzima alfa-amilasa en la calidad de pan de masa madre con harina de trigo y almidón de papa”

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingeniera en Alimentos

AUTORA: Santiana Caiza Jeniffer Anabel

TUTOR: Ing. Rivas Rosero Carlos Alberto, MSc.

Tulcán, 2026

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que la estudiante Santiana Caiza Jeniffer Anabel con el número de cédula 1755601984 ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación del efecto de la enzima alfa-amilasa en la calidad de pan de masa madre con la harina de trigo y almidón de papa"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en la Codificación del Reglamento de Régimen Académico y de Estudiantes de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

Ing. Rivas Rosero Carlos Alberto, MSc.

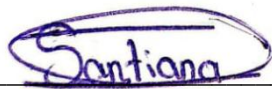
TUTOR

Tulcán, julio de 2026

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniera en la Carrera de alimentos de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Santiana Caiza Jeniffer Anabel con cédula de identidad número 1755601984 declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



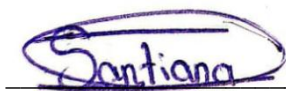
Santiana Caiza Jeniffer Anabel

AUTORA

Tulcán, julio de 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Santiana Caiza Jeniffer Anabel declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación del efecto de la enzima alfa-amilasa" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Santiana Caiza Jeniffer Anabel

AUTORA

Tulcán, julio de 2026

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme salud, fortaleza, perseverancia y sabiduría necesaria para culminar esta etapa de mi vida, sin su bendición y guía no sería posible este trabajo.

De manera especial, expreso mi más profundo agradecimiento a mi familia, quienes me apoyaron incondicionalmente, me tuvieron paciencia y amor en cada etapa de este proceso. Agradezco todo su esfuerzo, su confianza y sus palabras de aliento que fueron motor en mis momentos difíciles.

Agradezco a la Universidad Politécnica del Carchi por acogerme y ser mi segundo hogar, por haberme brindado la oportunidad de formarme académicamente y otorgarme recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Asimismo, agradezco a la Carrera de Alimentos y a todo el personal profesional por su dedicación, orientación y por compartir sus experiencias valiosas.

Agradezco a la Red de Cereales, Tubérculos, Leguminosas y Raíces por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación. Su colaboración, orientación y aporte de conocimientos fueron fundamentales para fortalecer el proceso investigativo y contribuir al logro de los objetivos planteados.

De igual manera, agradezco a mi tutor Msc. Carlos Rivas, por la guía constante, paciencia y su conocimiento durante esta etapa académica. Su compromiso, dedicación fueron esenciales, ya que me aportó claridad metodológica y exigencia. Valoro enormemente el tiempo que destino y la motivación para culminar este trabajo de titulación.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a todas las personas que contribuyeron en mí para culminar esta etapa de mi vida, cada apoyo recibido ha sido fundamental para alcanzar este logro.

Jeniffer Anabel Santiana Caiza

DEDICATORIA

Dedico a Dios, quien ha sido mi fortaleza y esperanza en cada etapa de mi vida, por guiarme el camino y alcanzar esta meta muy especial para mí.

A mis padres, Wilson Santiana y Verónica Caiza por apoyarme en cada etapa de mi vida. Gracias por haber sido mi motor para seguir adelante a pesar de las adversidades, por su sacrificio y su amor incondicional. Gracias por enseñarme que la grandeza se encuentra en los valores, la dedicación y educación; este logro no sería posible sin ustedes, Gracias por confiar en mí y brindarme palabras de aliento, por eso, este logro no solo es mío, sino de ustedes por ayudarme a ser alguien en la vida, con toda mi vida gracias infinitas, los amo tanto.

A mi hermana Wendy, gracias acompañarme en cada etapa de mi vida, por cuidarme, escucharme y tenerme paciencia. Gracias ñañita por ser mi familia estando lejos de casa, por las risas, los desvelos juntas, gracias por confiar en mí y darme a mi pequeña Nohelia, gracias por ser la persona más linda.

A mi hermana María José y Gabriel por ser mi felicidad, mis cómplices, mis compañeros de vida, agradezco profundamente su apoyo en este camino. No se olviden que ustedes también pueden, yo estaré siempre mis chiquitos.

A mi novio, Lenin por animarme cada día a no darme por vencida, por creer en mí cuando ni yo confiaba. Gracias por ser mi soporte en momentos difíciles de mi vida, por nunca dejarme sola. Gracias mi vida por tu amor infinito y ser un pilar fundamental en mi vida. Mi amor este logro es solo el comienzo de nuestro futuro, te amo con todo mi corazón.

Gracias a toda mi familia, por apoyarme en cada paso que doy esto no sería posible sin ustedes, los amo con mi vida.

Jeniffer Anabel Santiana Caiza

ÍNDICE

RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUCCIÓN	17
I. EL PROBLEMA.....	18
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.3. JUSTIFICACIÓN	19
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	20
1.4.1. Objetivo General	20
1.4.2. Objetivos Específicos	20
1.4.3. Preguntas de Investigación.....	20
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	21
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.2. MARCO TEÓRICO	24
2.2.1. Panificación.....	24
2.2.1.1. Clasificación de panes	24
2.2.1.1.1. Pan Blanco	25
2.2.1.1.2. Pan Integral.....	25
2.2.1.1.3. Pan de Centeno.....	26
2.2.1.1.4. Pan de Masa Madre.....	26
2.2.1.1.5. Panes Multicereales y germinados.....	27
2.2.2. Fermentación Panaria	28
2.2.3. Composición nutricional de pan de masa madre.....	29
2.2.4. Características de calidad del pan de masa madre	30
2.2.5. Factores que influyen en la conservación del pan de masa madre	30

2.2.6. El gluten en la panificación.....	31
2.2.6.1. Gluten	31
2.2.6.2. Estructura del gluten.....	31
2.2.6.2.1. Gliadinas.....	31
2.2.6.2.2. Gluteninas	32
2.2.6.3. Formación del gluten	32
2.2.6.4. Funciones importantes del gluten en panificación	32
2.2.6.5. Limitaciones en la panificación frente a la reducción de gluten.....	33
2.2.6.6. Consecuencias del gluten en la salud.	33
2.2.6.7. Ingesta de gluten en la dieta.	34
2.2.7. Ingredientes de pan de masa madre de esta investigación.	34
2.2.7.1. Trigo y taxonomía.....	34
2.2.7.2. Valor Nutricional.....	36
2.2.7.3. Uso Industrial	37
2.2.8. Papa y taxonomía	38
2.2.8.1. Valor nutricional	39
2.2.8.2. Uso Industrial	40
2.2.8.3. Subproductos de la papa	40
2.2.8.3.1. Harina de papa.....	40
2.2.8.3.2. Almidón de papa.....	41
2.2.9. Mejoradores y aditivos en el pan	44
2.2.9.1. Agentes Oxidantes	45
2.2.9.2. Agentes enzimáticos	45
2.2.9.3. Agentes emulsificantes	45
2.2.10. Enzimas	46
2.2.10.1. Clasificación de las enzimas	46
2.2.10.1.1. Amilasas.....	46

2.2.10.1.2. Alfa amilasa	46
2.2.10.1.3. β -amilasa	47
2.2.10.1.4. Proteasas	47
2.2.10.1.5. Xilanasas (Hemicelulasas)	48
2.2.10.1.6. Lipasas	48
2.2.10.1.7. Pectinasas	48
2.2.10.2. Beneficios de las enzimas en panificación.	48
2.2.11. Características reológicas del pan de masa madre	49
2.2.11.1. Absorción de agua	49
2.2.11.2. Elasticidad.....	49
2.2.11.3. Retención de gases y volumen del pan	50
2.2.12. Aceptación sensorial.....	50
2.2.13. Características texturales del pan de masa madre.....	51
2.2.13.1. Dureza de la miga	51
2.2.13.2. Fracturabilidad y corteza	51
2.2.13.3. Masticabilidad.....	51
III. METODOLOGÍA	52
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	52
3.1.1. Enfoque	52
3.1.2. Tipo de Investigación	52
3.2. HIPÓTESIS	52
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	53
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	55
3.4.1. Métodos	55
3.4.1.1. Lugar de investigación.....	55
3.4.1.2. Formulación del pan de masa madre	55
3.4.1.3. Proceso de elaboración de la masa madre	55

3.4.1.4. Descripción del proceso de elaboración de la masa madre.....	56
3.4.1.5. Proceso de la elaboración del pan de masa madre.....	57
3.4.1.6. Descripción del proceso de elaboración del pan de masa madre.	58
3.4.2. Técnicas	58
3.4.2.1. Análisis reológico	58
3.4.2.2. Análisis fisicoquímicos	59
3.4.2.2.1. Determinación de humedad	59
3.4.2.2.2. Determinación de acidez.....	60
3.4.2.2.3. Determinación de proteína.....	61
3.4.2.2.4. Determinación de grasa	62
3.4.2.2.5. Determinación de fibra	63
3.4.2.2.6. Determinación Gluten.....	64
3.4.2.2.7. Determinación Cenizas	65
3.4.2.3. Análisis de textura	66
3.4.2.4. Análisis microbiológico.....	66
3.4.2.4.1. Determinación de Mohos y levaduras.....	67
3.4.2.4.2. Método para el recuento de Aerobios mesófilos	67
3.4.2.4.3. Determinación de Coliformes y Escherichia coli.....	68
3.4.2.4.4. Determinación de Enterobacteriaceae.....	68
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	69
3.5.1. Diseño Experimental	69
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
4.1. RESULTADOS	71
4.1.1. Análisis reológico.....	71
4.1.2. Resultados fisicoquímicos	75
4.1.3. Análisis de textura	81
4.1.4. Resultados microbiológicos.....	84

4.1.5. Resultados de la evaluación sensorial.....	84
4.2. DISCUSIÓN.....	88
4.2.1. Análisis reológico.....	88
4.2.2. Análisis fisicoquímico del pan de masa madre.....	92
4.2.3. Análisis de textura	98
4.2.4. Análisis microbiológico.....	100
4.2.5. Análisis sensorial.....	101
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
5.1. CONCLUSIONES	103
5.2. RECOMENDACIONES	104
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
VII. ANEXOS	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional de pan de masa madre	30
Tabla 2. Clasificación taxonómica del trigo	35
Tabla 3. Valor nutricional del trigo	36
Tabla 4. Taxonomía de la papa.....	38
Tabla 5. Valor nutricional de la papa	39
Tabla 6. Composición nutricional de la harina de papa.....	41
Tabla 7. Composición nutricional del almidón de papa	42
Tabla 8. Operacionalización de las variables.....	54
Tabla 9. Formulación en gramos para la elaboración de pan de masa madre.....	55
Tabla 10. Tratamientos y número de repeticiones.	69
Tabla 11. Análisis de varianza ANOVA para los resultados reológicos	71
Tabla 12. Verificación de supuestos para los análisis reológicos	72
Tabla 13. Prueba de Post hoc-Tukey para los parámetros reológicos.....	72
Tabla 14. Análisis de varianza ANOVA para los resultados fisicoquímicos.	75
Tabla 15. Verificación de supuestos para los fisicoquímicos.	75
Tabla 16. Prueba de Post hoc-Tukey para los fisicoquímicos	76
Tabla 17. Análisis de varianza para los resultados fisicoquímicos.	77
Tabla 18. Verificación de supuestos para parámetros fisicoquímicos	78
Tabla 19. Prueba de Post hoc-Tukey de análisis fisicoquímicos.	78
Tabla 20. Análisis de varianza para los resultados texturales.	81
Tabla 21. Verificación de supuestos para los texturales.....	82
Tabla 22. Resultados microbiológicos	84
Tabla 23. Distribución porcentual del atributo del color	84
Tabla 24. Distribución porcentual del atributo del olor	85
Tabla 25. Distribución porcentual del atributo del sabor	85
Tabla 26. Distribución porcentual del atributo de textura	86
Tabla 27. Distribución porcentual de aceptabilidad	86
Tabla 28. Prueba de Friedman para los atributos	86
Tabla 29. Prueba de rangos	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fermentación alcohólica-láctica.....	29
Figura 2. Planta de trigo	35
Figura 3. Cadena de Trigo.....	37
Figura 4. Planta de papa	38
Figura 5. Amilosa y amilopectina.....	42
Figura 6. Etapas de la gelatinización	43
Figura 7. Diagrama de flujo de Proceso de elaboración de la masa madre	56
Figura 8. Diagrama de flujo de Proceso de elaboración de pan de masa madre.	57
Figura 9. Diagrama de barras de la etapa Par C1 en la prueba de Tukey.	73
Figura 10. Diagrama de barras de la etapa Par C2 en la prueba de Tukey.	73
Figura 11. Diagrama de barras de la etapa Par C3 en la prueba de Dun.....	74
Figura 12. Diagrama de barras de la etapa Par C4 en la prueba de Tukey.	74
Figura 13. Diagrama de barras de la etapa Par C5 en la prueba de Dun.....	75
Figura 14. Diagrama de barras de la humedad en la prueba de Tukey.	76
Figura 15. Diagrama de barras de la Acidez en la prueba de Tukey.....	77
Figura 16. Diagrama de barras de la Proteína en la prueba de Tukey.	79
Figura 17. Diagrama de barras de la Fibra en la prueba de Tukey.	79
Figura 18. Diagrama de barras de la Grasa en la prueba de Dun.	80
Figura 19. Diagrama de barras de la Gluten en la prueba de Tukey.	80
Figura 20. Diagrama de barras de la Cenizas en la prueba de Tukey.	81
Figura 21. Diagrama de barras de la Dureza en la prueba de Dun	82
Figura 22. Diagrama de barras de la Masticabilidad en la prueba de Dun	83
Figura 23. Diagrama de barras de la Dureza en la prueba de Dun	83
Figura 24. Peso de materia	118
Figura 25. Proceso de pan de masa madre	118
Figura 26. Pan de masa madre.....	118
Figura 27. Peso del crisol con la muestra.....	118
Figura 28. Crisoles en la estufa a 130°C por 4 h.	118
Figura 29. Acidez titulable en las muestras de harina	118
Figura 30. Muestras de la acidez titulable	118
Figura 31. Cenizas	118

Figura 32. Muestras de en desecador	118
Figura 33. Grasa por el método de Soxhlet	119
Figura 34. Fibra en el equipo de Fibertest.	119
Figura 35. Crisoles de fibra	119
Figura 36. Crisoles de fibra en la estufa.	119
Figura 37. Crisoles de fibra en el desecador.....	119
Figura 38. Muestras para la determinación de gluten.	119
Figura 39. Preparación de las diluciones de fibra.	119
Figura 40. Diluciones rotuladas.....	119
Figura 41. Determinación de parámetros de textura del pan de masa madre	119
Figura 42. Pesaje de reactivos.....	119
Figura 43. Proceso para la realización de proteína.....	119
Figura 44. Proteína.....	119
Figura 45. Diluciones para determinar MO no deseados.	120
Figura 46. Placas Petrifilm de Aerobios mesófil	120
Figura 47. Placas Petrifilm de Mohos y levaduras.....	120
Figura 48. Placas Petrifilm de E. coli.....	120
Figura 49. Muestras para el análisis sensorial.....	120
Figura 50. Instrucciones para la catación de pan de masa madre	120

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado del abstract por parte de idiomas.....	116
Anexo 2. Evidencia	118
Anexo 3. Ficha de evaluación sensorial	121
Anexo 4. Norma Técnica Colombiana NTC 1363	122
Anexo 5. Análisis funcional de la harina de trigo, almidón de papa y la enzima alfa amilasa.	131

RESUMEN

El presente estudio tuvo el objetivo de evaluar el efecto de la enzima α -amilasa en la calidad de pan de masa madre con harina de trigo y almidón de papa, con el propósito de desarrollar alimentos bajo en gluten y apreciar la papa carchense. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) conformado por seis tratamientos, más el testigo. Las formulaciones evaluadas fueron: T0 (0 % almidón de papa – 0 ppm α -amilasa), T1 (10 % almidón de papa – 75 ppm α -amilasa), T2 (20 % almidón de papa – 75 ppm α -amilasa), T3 (30 % almidón de papa – 75 ppm α -amilasa), T4 (10 % almidón de papa – 150 ppm α -amilasa), T5 (20 % almidón de papa – 150 ppm α -amilasa) y T6 (30% almidón de papa – 75 ppm α -amilasa). Se analizaron propiedades reológicas, fisicoquímicas, texturales, microbiológicas y sensoriales de los panes de masa madre. Los resultados mostraron que los tratamientos en la prueba reológica (Mixolab) no tuvieron significancia, ya que dominó la harina de trigo por la capacidad de las proteínas de gluten. En cuanto al Par C3, C4 y C5 tuvieron un aumento por la capacidad de gelatinización, poder de hinchamiento y retención de agua del almidón junto con la enzima α -amilasa. Respecto a los análisis fisicoquímicos, el tratamiento T6 destacó con contenidos menores de humedad (28.733 %), acidez (0.393 %), proteína (12.4300 %), fibra (2.3600 %), grasa (0.387 %) gluten (3.766 mg/kg) y cenizas (.,6933 %) a comparación del T0. En la prueba de textura, el T6 fue instrumentalmente más duro, sin embargo, en el análisis sensorial evidenció que el T6 fue el más aceptado globalmente, ya que la firmeza del pan de masa madre provocó una sensación de crocancia en los panelistas. En cuanto al análisis microbiológico todos los tratamientos cumplieron con la norma NTE INEN 616:2015 y NTC 1363. Se concluye que la formulación de pan de masa madre más viable fue 30 % de almidón de papa y 150 ppm de la enzima α -amilasa, el cual representa un producto bajo en gluten con alto valor nutricional y sensorial.

Palabras Claves: Almidón de papa, α -amilasa, pan de masa madre, bajo en gluten, calidad.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of the enzyme α -amylase on the quality of sourdough bread made with wheat flour and potato starch, with the purpose of developing low-gluten foods and showcasing the Carchi potato variety. A completely randomized design (CRD) was used, consisting of six treatments plus a control. The formulations evaluated were: T0 (0% potato starch – 0 ppm α -amylase), T1 (10% potato starch – 75 ppm α -amylase), T2 (20% potato starch – 75 ppm α -amylase), T3 (30% potato starch – 75 ppm α -amylase), T4 (10% potato starch – 150 ppm α -amylase), T5 (20% potato starch – 150 ppm α -amylase), and T6 (30% potato starch – 75 ppm α -amylase). Rheological, physicochemical, textural, microbiological, and sensory properties of sourdough breads were analyzed. The results showed that the treatments in the rheological test (Mixolab) were not significant, as wheat flour dominated due to the gluten protein capacity. Regarding the C3, C4, and C5 pairs, there was an increase due to the gelatinization capacity, swelling power, and water retention of the starch, along with the enzyme α -amylase. In terms of physicochemical analyses, treatment T6 stood out with lower contents of moisture (28.733%), acidity (0.393%), protein (12.4300%), fiber (2.3600%), fat (0.387%), gluten (3.766 mg/kg), and ash (0.6933%) compared to T0. In the texture test, T6 was instrumentally harder; however, the sensory analysis showed that T6 was the most accepted overall, as the firmness of the sourdough bread provided a crunchy sensation for the panelists. Regarding the microbiological analysis, all treatments complied with the NTE INEN 616:2015 and NTC 1363 standards. It is concluded that the most viable sourdough bread formulation was 30% potato starch and 150 ppm of the α -amylase enzyme, which represents a low-gluten product with high nutritional and sensory value.

Keywords: Potato starch, α -amylase, sourdough bread, low gluten, quality.

INTRODUCCIÓN

El incremento de la enfermedad celiaca, sensibilidad al gluten no celiaca tienen un nivel entre 0,7 % y el 2,9 % en la población a nivel mundial (Gatti, et al, 2024). Por ello, hay una creciente tendencia hacia el consumo de alimentos funcionales como productos de panificación con bajo contenido de gluten, que se elabora mediante diversas técnicas industriales y el uso de aditivos para reemplazar el gluten (Olojede, 2022). Sin embargo, la reducción del gluten representa un desafío tecnológico, debido al debilitamiento de la red proteica que es responsable de cuidar aspectos reológicos de los productos de panificación.

La búsqueda de alternativas de materias primas que reemplacen a la harina de trigo responde principalmente a la necesidad de diversificar alimentos (tubérculos) y optimizar costos. En este contexto, el almidón de papa y la enzima alfa-amilasa se destacan por sus bondades. El primero es utilizado como estabilizador, gelificante, espesante y sustituto de grasas en los alimentos (Jagadeesan et al., 2020); además, es una fuente de energía por su contenido de carbohidratos, fibra, vitaminas del grupo B y minerales. Mientras que, las enzimas alfa-amilasas catalizan el almidón formando cadenas pequeñas de amilosa y amilopectina, que son indispensables para la liberación de azúcares fermentables que activan a las levaduras y bacterias ácido-lácticas. Este proceso mejora la viscosidad de la masa, el sabor, la calidad y vida útil de pan de masa madre (Alhazmi & ALSHEHR, 2025). Además, este pan permite aprovechar materias primas alternativas (tubérculos, pseudocereales o legumbres) con el propósito de mejorar la digestión y ofrecer múltiples nutrientes (Hadnadev, 2011).

En consecuencia, resulta fundamental considerar el potencial del almidón de papa y la enzima alfa-amilasa en el desarrollo de productos de panificación, como es el pan de masa madre, ya que es una opción de alimentos con bajo contenido de gluten y múltiples nutrientes, por tanto, es ideal para satisfacer la demanda de productos funcionales.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria de la panificación, el trigo continúa siendo la materia prima tradicional gracias a la presencia del gluten, que es una proteína esencial para aportar estructura, elasticidad y volumen del pan. Sin embargo, este componente representa un riesgo para personas con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten, que son condiciones que afectan a la absorción de nutrientes y minerales. Al menos 1,4% de la población mundial lo padece esta situación. Ante esta necesidad se plantea desarrollar alternativas que reduzcan el contenido del gluten sin comprometer la calidad del producto (Cárdenas et al., 2021).

El pan de masa madre bajo en gluten representa una alternativa viable, ya que permite utilizar ingredientes sustitutos como el almidón de papa. No obstante, esta sustitución parcial de la harina de trigo por almidón de papa plantea desafíos tecnológicos relevantes, ya que la masa tiende a perder volumen, estructura y textura que comprometen directamente a la aceptación sensorial y viabilidad comercial del producto (Solarte et al., 2019).

Para solventar estas limitaciones, la aplicación de uso de enzimas como la alfa-amilasa presenta una estrategia tecnológica. Esta enzima favorece a la hidrólisis del almidón, libera azúcares fermentables que mejoran la actividad de levaduras y BAL, las cuales ofrecen la capacidad de modificar la funcionalidad de las proteínas de la masa, mejorar la manipulación y aumentar la vida útil del pan (Dabash & Buresova, 2022).

En este contexto, surge la necesidad de innovar en la formulación de alimentos con bajo contenido de gluten que garanticen seguridad alimenticia y aceptabilidad sensorial. Por ello, se plantea la sustitución de un porcentaje de harina de trigo por almidón de papa en la elaboración de pan de masa madre, con la aplicación de la enzima-amilasa, buscando mantener la calidad nutricional, tecnológica y sensorial del producto sin comprometer la calidad.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el efecto de la enzima alfa-amilasa sobre la calidad del pan de masa madre con harina de trigo y almidón de papa?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La industria de la panificación mantiene un crecimiento a nivel mundial, impulsado por la demanda de productos más saludables y funcionales. En América del Sur, este mercado se expande de manera significativa debido a la urbanización y cambios en los estilos de vida, mientras que en Ecuador se proyecta un crecimiento estable, con consumidores cada vez más interesados en alimentos funcionales y mínimamente procesados (Global Growth Insights, 2026). Esta tendencia obliga a la industria a innovar en la formulación de productos que responda a dichas exigencias.

En este contexto, el pan de masa madre representa una alternativa diferenciada, ya que su proceso de fermentación natural genera compuestos bioactivos que favorecen la digestión, mejoran la absorción de minerales y contribuyen al equilibrio de la microbiota intestinal, fortaleciendo la salud inmunológica (D'Amico, et al 2023). Además, su elaboración con almidón de papa ofrece ventajas tecnológicas y nutricionales, pues este ingrediente actúa como espesante, aporta elasticidad y cohesión a la masa, y presenta propiedades de baja retrogradación y gelatinización a temperaturas reducidas, lo que mejora la textura y conservación del producto (Córdova, 2014).

Sin embargo, la sustitución parcial de harina de trigo por almidón de papa plantea dificultades en la calidad panaria, especialmente en la retención de agua, elasticidad y volumen de la masa. Para superar estas limitaciones, la incorporación de la enzima alfa-amilasa resulta una estrategia, ya que hidroliza el almidón, generando azúcares fermentables que favorecen la actividad de las levaduras, causando un incremento del volumen, mejora la textura y retrasan la retrogradación del almidón, prolongando la vida útil del pan (Moreira, 2022).

Por lo tanto, esta investigación se justifica en la necesidad de desarrollar pan de masa madre con bajo contenido de gluten, elaborado a partir de almidón de papa y enzima alfa-amilasa, que conserve sus propiedades fisicoquímicas, tecnológicas y sensoriales. Este producto no solo constituye una opción viable para personas con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten, sino que también para personas que buscan cuidar de su salud.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la enzima alfa-amilasa en las propiedades reológicas, fisicoquímicas, texturales, microbiológicas y sensoriales del pan de masa madre elaborado con harina de trigo y almidón de papa (*Solanum tuberosum*).

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar las características reológicas de las mezclas de harina elaboradas con diferentes porcentajes.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas del pan de masa madre.
- Determinar las propiedades texturales del pan de masa madre.
- Verificar el cumplimiento de las características microbiológicas del producto final de acuerdo con la norma NTE INEN 616:2015 y NTC 1363.
- Evaluar las características sensoriales del pan de masa madre.

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cómo afecta la enzima alfa-amilasa y las mezclas de los diferentes porcentajes de harina de trigo y almidón de papa en las características reológicas?
- ¿Cuáles son los efectos de la incorporación de la enzima alfa amilasa y las diferentes mezclas de harina de trigo y almidón de papa en el pan de masa madre respecto a las propiedades fisicoquímicas?
- ¿Afecta la sustitución parcial de almidón de papa y la enzima alfa amilasa en las propiedades texturales?
- ¿Qué parámetros microbiológicos debe cumplir el pan de masa madre?
- ¿Cuál es la diferencia entre un pan comercial y un pan de masa madre con harina de trigo y almidón de papa con la aplicación de la enzima alfa amilasa?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Gunko et al. (2025), en su estudio titulado "Determinación de la influencia de las enzimas y la masa madre de las bacterias lácticas en la calidad del pan de trigo y cáñamo", analizaron el efecto de la fermentación y la aplicación de enzimas en la mejora de la calidad del pan de trigo enriquecido con harina integral de cáñamo. La investigación contempló sustituciones de harina de cáñamo en proporciones del 5, 7 y 10 %, con el objetivo de contrarrestar el debilitamiento de la red de gluten ocasionando por el elevado contenido de fibra (16.5 %) y lípidos (34.4 %) de este ingrediente. Para optimizar las propiedades reológicas, se empleó un complejo enzimático con las siguientes dosificaciones por cada 100 kg de harina: 0.002 kg de alfa-amilasa fúngica, 0.01 kg de lipasa, 0.01 kg de celulasa y 0.02 kg de transglutaminasa, completamente con masa madre de bacterias lácteas. La metodología incluyó la evaluación del volumen específico, la porosidad y la cinética de endurecimiento de la miga durante el almacenamiento. Los resultados más favorables se obtuvieron con la combinación de un 10 % de harina de cáñamo junto con masa madre y el complejo enzimático completo. Bajo estas condiciones, se registró un aumento del volumen específico del pan entre 4.3 % y un 3.1 % respecto al control, además de una mejora notable en la suavidad de la miga. Asimismo, el producto final presentó un perfil enriquecido de aminoácidos esenciales, particularmente lisina y metionina, lo que evidencia un valor nutricional superior.

Pulloquinga (2011), investigó "El efecto de la adición de glucoxidasas y alfa-amilasas en la elaboración de pan con sustitución parcial de harina de papa (*Solanum tuberosum*) nacional". El estudio se desarrolló bajo un diseño experimental factorial A*B, analizando mediante ANOVA y prueba de Tukey, considerando nueve tratamientos con diferentes concentraciones de glucoxidasa (100, 150 y 200 ppm) y alfa-amilasa (50, 75 y 100 ppm). Además, se incorporaron aditivos tecnológicos como ácido ascórbico (100 ppm), estearoil-2-lactilato de sodio (250 ppm) y

azodicarbonamida (30 ppm). El análisis reológico realizado con el farinógrafo Brabender determinó que la mezcla óptima correspondía a una formulación con 80% de harina de trigo y 20 % harina de papa, alcanzando una estabilidad de 3 a 4 minutos. Por su parte, las pruebas en el Mixolab Standard evidenciaron que las harinas tratadas presentaron mejoras en la calidad proteica, mayor gelatinización, incremento de la actividad amilásica y una retrogradación más lenta. El tratamiento más destacado fue denominado a1b2, compuesto por ácido ascórbico (100 ppm), estearoil-2-lactilato de sodio (250 ppm), azodicarbonamida (30 ppm), alfa amilasa (75 ppm) y glucoxidasa (200 ppm), el cual permitió obtener un producto con características innovadoras en el ámbito de la panificación.

Rodriguez (2025), en su estudio titulado "Comparación de las características fisicoquímicas, sensoriales y perfil de textura entre pan elaborado con masa madre y con levadura comercial", analizó el efecto de distintos agentes leudantes sobre la calidad final del pan. El diseño experimental incluyó dos tratamientos: T1, corresponde al pan elaborado con masa madre con un tiempo de fermentación prolongado y el T2, basado en el método convencional con levadura comercial (*Saccharomyces cerevisiae*) de acción rápida. La metodología se enfocó en la caracterización fisicoquímica de ambos tratamientos, un análisis de perfil de textura (TPA) para evaluar parámetros mecánicos como dureza y elasticidad, además de una evaluación sensorial descriptiva. Los resultados evidenciaron que el pan elaborado con masa madre (T1) presentó las mejores propiedades tecnológicas y estructurales. Este tratamiento alcanzó una humedad significativa mayor a 37.18 % y una miga más robusta, con valores superiores de elasticidad y cohesividad respecto al control. Asimismo, el descenso del pH 4.9 favoreció una mayor vida útil potencial y un perfil aromático más complejo. En conclusión, el estudio identificó al tratamiento con masa madre como el más destacado en términos de calidad física y tecnológica, resaltando su capacidad de retención de agua y sus propiedades reológicas, que tiene al producto final atributos superiores de frescura, consistencia y complejidad sensorial frente al pan elaborado con métodos industriales frecuentes.

Ojobi et al. (2025), en su investigación sobre el impacto de la fermentación y el tratamiento enzimático en panes elaborados a partir de cebada de montaña y salvado de trigo, con el propósito de superar las limitaciones tecnológicas asociadas al alto contenido de fibra en estos cereales. La investigación comparó el uso de masa madre fermentada con cepas individuales (*Lactobacillus plantarum* o

Levilactobacillus brevis) frente a una fermentación mixta que combinaba ambas cepas, integrando además un complejo enzimático conformado por xilanasa, alfa-amilasa fúngica y glucosa oxidasa. La metodología incluyó el análisis de propiedades reológicas y el rendimiento de panificación en mezclas con alto contenido de fibra. Los resultados señalaron que la combinación de fermentación con masa madre mixta y el tratamiento enzimático fue la más eficaz, ya que incrementó significativamente el volumen específico del pan en comparación con los tratamientos de cepa única y redujo de manera más marcada la dureza de la miga durante el almacenamiento. Asimismo, se evidenció que la acción conjunta de la masa madre mixta y la xilanasa favoreció la solubilidad de hemicelulosas, lo que derivó en una estructura de miga más elástica y en una mayor biodisponibilidad de compuestos fenólicos y minerales. En conclusión, el estudio determinó que la formulación combinada de fermentación mixta y tratamiento enzimático constituye la estrategia más efectiva para la producción de panes integrales con propiedades sensoriales y nutricionales óptimas.

Montoya y Román (2010), realizaron una investigación orientada al desarrollo de nuevos productos de panificación mediante la incorporación de harina de papa como sustituto parcial de la harina de trigo. El estudio se diseñó un esquema experimental con tres factores: porcentaje de sustitución de papa (20, 30 y 40 %), tiempo de amasado (10 y 20 minutos) y tiempo de fermentación (15 y 25 minutos), conformando un diseño completamente al azar con arreglo factorial AxBxC, tres repeticiones y un total de 12 tratamientos y 36 unidades experimentales. Los resultados evidenciaron que los tratamientos más destacados fueron T11, T12, T10 y T9, conformando que la harina de papa aporta una composición y calidad diferenciada en el producto final, alcanzando niveles de proteína de hasta 11.1%. En particular, el tratamiento T9 con 40 % de harina de papa, 10 minutos de amasado y 15 minutos de fermentación presentó las mejores características organolépticas, con una miga de buen volumen, adecuada textura y alta aceptabilidad sensorial. Además, se obtuvo un rendimiento del proceso del 86.07 %, calculado en función del peso inicial y final del producto, lo que evidencia una eficiencia tecnológica significativa. En conclusión, la incorporación de harina de papa en la formulación del pan no solo mejora atributos físicos y sensoriales, sino que también representa una alternativa innovadora para diversificar la oferta de productos de panificación. Esta estrategia contribuye a la seguridad alimentaria y a la rentabilidad del sector.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Panificación

El pan, más que un alimento, se considera un símbolo cultural e importante en la nutrición diaria a nivel global. Este alimento es un sustento básico en numerosas culturas y religiones, llegando a considerarse sagrados en muchas de ellas. El pan inicialmente estaba compuesto por harina, el agua y la sal. Sin embargo, con el tiempo y las diversidades fueron apareciendo otros ingredientes que son pilares en la panificación. Por ello, está la tecnología resulta relevante, porque constituye un proceso evolutivo que refleja tanto avances técnicos como transformaciones sociales y culturales (Fernández, 2018).

Desde el desarrollo de la civilización humana, remontándose en los orígenes del año 10 000 a.C. el consumo de los cereales por parte de los humanos ha ido integrándose gradualmente. Fue entre los años 9 000 y 4000 a.C., en la era Neolítica se realizaron los primeros experimentos con cereales, ya que el trigo fue domesticado y se realizó de forma primitiva la harina, obtenida al triturar los granos entre piedras. Luego en Egipto y Babilonia, en el año 5 000 a.C., revelan la existencia de los primeros hornos de adobe, para la cocción del pan pasando por la fermentación y el leudado, a través de la mezcla de agua y el reposo de la masa por horas. Es crucial destacar que la diversidad griega al desarrollar y perfeccionar las técnicas panaderas, ya que en el año 500 a.C., los griegos refinaron el proceso de molienda a grandes volúmenes y adaptaron una mejor técnica de fermentación, dando así variedad en panes. Por su parte, Roma innovaron en la infraestructura para la producción de harina al construir molinos y establecieron hornos públicos, por lo que democratizó el pan y facilitó el acceso masivo a su producción. Finalmente, la revolución industrial marco un antes y un después en la producción del pan, con la innovación de una maquinaria a vapor que facilitó la molienda y optimizó los tiempos de producción. Además, apareció levaduras y otros insumos que dio lugar a diversas recetas culinarias (Viteri & Cordero, 2024).

2.2.1.1. Clasificación de panes

Los principales tipos de pan se clasifican en blanco, integral, centeno, masa madre y multicereales, cada uno con características nutricionales y tecnológicas distintas, a continuación, se expone cada uno de ellos.

2.2.1.1.1. Pan Blanco

El pan blanco es uno de los productos de panificación más consumidos a nivel mundial y se elabora principalmente con harina de trigo refinada, agua, sal y levadura. El refinado de la harina implica la eliminación del salvado y el germen, conservando únicamente el endospermo, lo que favorece la formación de una red de gluten capaz de retener los gases de producción durante la fermentación (Jiang, Yang, Tian, & Sun, 2023).

Desde el punto de vista nutricional, el pan blanco constituye una fuente importante de hidratos de carbono complejos, con un aporte moderado de proteínas y bajo contenido graso. Sin embargo, debido al refinamiento de la harina, presenta una menor concentración de fibra, vitaminas y minerales en comparación con el pan integral. Aunque su consumo sigue siendo elevado, diversos estudios señalan que el predominio del pan blanco en la dieta puede contribuir a un índice glucémico más alto y una menor ingesta de micronutrientes, por lo que se recomienda buscar otras alternativas más saludables (FAO, 2025).

Características generales:

- Harina refinada de trigo, sin salvado ni germen.
- Textura ligera y esponjosa, corteza suave.
- Bajo contenido de fibra y micronutrientes, lo que genera glucosa en sangre
- Es el menos recomendable nutricionalmente.

2.2.1.1.2. Pan Integral

El pan integral se elabora a partir de harina de trigo sin refinar, lo que significa que conserva todas las partes del grano: el endospermo, el salvado y el germen. Por lo que se genera un alimento con mayor densidad nutricional, ya que contiene fibra, proteínas de origen vegetal, vitaminas y minerales. En términos nutricionales, por cada 100 g de pan integral se puede encontrar aproximadamente 221 kcal, 38 g de carbohidratos, 7 g de proteínas, 2.9 g de grasa y 7.5 de fibra, que se da gracias a la ausencia del refinado. El consumo habitual del pan integral se asocia con una dieta más equilibrada, ya que contribuye a mejorar el perfil calórico y nutricional, además de reducir el riesgo de enfermedades metabólicas y cardiovasculares (FEN. Fundación Española de la Nutrición , 2025).

Características generales:

- Elaborado con grano completo (salvado, germen y endospermo).
- Aporta más fibra, vitamina B y minerales.
- Son recomendables para reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2.
- Mejora el índice glucémico.

2.2.1.1.3. Pan de Centeno

Este pan se elabora principalmente con harina de centeno (*Secale cereale* L.), un cereal tradicionalmente cultivado en climas fríos de Europa y Rusia. A diferencia del pan de trigo, el centeno contiene menos gluten, lo que genera una masa más compacta y con menor capacidad de retención de gases. Sin embargo, su riqueza en pentosanas le confiere una textura húmeda y una conservación más prolongada.

Este pan se distingue por su color oscuro, sabor ligeramente amargo y aroma intenso, en muchos casos, se mezcla con harina de trigo para mejorar la esponjosidad y el volumen, aunque la normativa europea establece que para denominarse "pan de centeno" debe contener al menos un 51% de harina de este cereal. En cuanto a su composición nutricional, por cada 100 g de pan de centeno se aportan 230 kcal, 45 g de carbohidratos, 6 g de proteínas, 6.4 g fibra y de 1 g de grasa. Además, contiene vitaminas del grupo B y minerales como hierro, magnesio, zinc y potasio. Estas propiedades lo convierten en un alimento con un índice glucémico más bajo que el pan blanco, recomendado para personas con diabetes y para quienes buscan mejorar la salud digestiva (Alimentos, 2025).

Características generales:

- Contiene menos gluten que el trigo, produciendo una textura más densa y compacta.
- Rico en fibra, lignanos y vitamina B.
- Reduce la glucosa e insulina posprandial y aumenta la saciedad.
- Promueve salud intestinal, ya que produce ácidos grasos de la cadena corta.

2.2.1.1.4. Pan de Masa Madre

El pan de masa madre se obtiene mediante un proceso de fermentación prolongada que utiliza un cultivo natural de levaduras y bacterias lácticas presentes en la harina

y el ambiente. A diferencia de los panes elaborados con levadura comercial, este pan cuenta con un método tradicional que permite una fermentación lenta que transforma la composición de la masa y genera un producto con características nutricionales y organolépticas únicas (Alkay, Fereshteh, Hasan, & Dertil, 2024).

Durante la fermentación, las bacterias lácticas producen ácido láctico y acético, responsables de la acidez y del perfil aromático complejo del pan. Además, estas bacterias activan la enzima fitasa, que degrada el ácido fítico presente en harinas integrales, liberando minerales como hierro, zinc y magnesio, los cuales son primordiales para la adsorción en el organismo.

En cuanto al gluten, las enzimas liberadas por los microorganismos de la masa madre lo descomponen parcialmente, que facilita la digestión y reduce molestias gastrointestinales en personas sensibles. Nutricionalmente, este pan presenta un índice glucémico más bajo a diferencia de otros, ya que la fermentación modifica la estructura de los almidones, permitiendo una liberación gradual de glucosa en sangre. Se caracteriza también, por su conservación de frescura a través del tiempo, gracias a la acidez generada durante la fermentación aumenta su vida útil y evita el rápido endurecimiento de la miga (Escribano, 2025).

Características generales:

- Fermentado con levaduras y bacterias lácticas naturales.
- Mejora la digestibilidad y biodisponibilidad de minerales (hierro, zinc, magnesio).
- Reduce el índice glucémico en comparación con panes de levadura comercial.
- Su sabor es más complejo y ligeramente ácido.

2.2.1.1.5. Panes Multicereales y germinados

Este tipo de panes se elabora a partir de una mezcla de harinas de trigo, avena, cebada, centeno, maíz y pseudocereales como amaranto o quinua. Es una versión más innovadora, donde se incorporan harinas germinadas, obtenidas de granos sometidos a procesos controlados de germinación que activan enzimas naturales y transforman la composición del grano. Este procedimiento aumenta la concentración de almidón resistente, antioxidante, aminoácidos libres y compuestos bioactivos como el ácido y aminobutírico, además de mejorar la digestibilidad de proteínas y carbohidratos (Mendoza, 2024).

La germinación también reduce factores antinutricionales como los fitatos y taninos, lo que favorece la absorción de minerales esenciales como hierro, zinc y magnesio. En términos tecnológicos, los panes elaborados con harinas germinadas presentan una textura más suave, mayor volumen específico y mejor conservación, aunque el exceso de sustitución puede afectar la estructura del gluten y disimular la esponjosidad. Nutricionalmente, los panes multicereales y germinados aportan entre 220 y 260 kcal por cada 100 g, con un contenido de 7 a 10 g de proteínas, 3 a 5 g de grasas saludables y 6 a 8 g de fibra. Además, el consumo de este pan de masa madre se asocia con beneficios (L., Puppo, & Salinas, 2022).

Características generales:

- Combinan harinas de avena, cebada, linaza, girasol, centeno, etc.
- Aportan diversidad de nutrientes, ácidos grasos, omega 3 y fibra.
- El pan de grano germinado mejora la digestibilidad y tiene un índice glucémico más bajo.

2.2.2. Fermentación Panaria

La fermentación constituye uno de los procesos más antiguos empleados en la transformación de alimentos, basado en la acción de microorganismos como bacterias, mohos y levaduras. Estos organismos aprovechan parte del sustrato para su crecimiento y reproducción, enriqueciendo el alimento con los compuestos derivados de su metabolismo. Las enzimas durante este proceso, entre ellas las amilasas, proteasas y lipasas actúan sobre polisacáridos, proteínas y lípidos, generando sustancias que contribuyen a prevenir el deterioro del producto. Además, se modifican de manera significativa sus características nutricionales, tecnológicas y sensoriales, otorgando a los alimentos fermentados un valor agregado en términos de conservación y calidad (Emkani, et al 2022).

En la panificación con masa madre predominan principalmente dos tipos de fermentación: la fermentación alcohólica; es realizada por las levaduras (*Saccharomyces*) que convierten los azúcares simples en dióxido de carbono y pequeñas cantidades de etanol. El dióxido de carbono queda dentro de la red de gluten, provocando el crecimiento y esponjosidad de la masa. Este fenómeno es fundamental para obtener una miga aireada y un adecuado volumen del pan. Y la fermentación láctica, es producida por las bacterias ácido-lácticas y ácido acéticas, compuestos responsables del sabor ligeramente ácido característico del pan de

masa madre y a la degradación parcial de proteínas y fitatos, incrementando la digestibilidad y disponibilidad de minerales del pan. Además, contribuye a inhibir microorganismos indeseables, prolongando la vida útil del producto y mejorando su estabilidad (Bartkiene, Özogul, & Rocha, 2022).

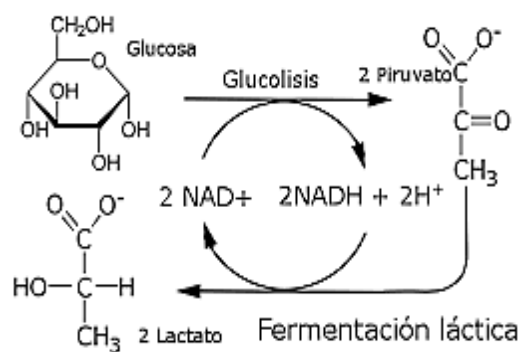


Figura 1. Fermentación alcohólica-láctica.

Fuente: (Dashki, 2014)

La fermentación simbiótica entre las levaduras y bacterias ácido-lácticas permite que la fermentación de la masa madre sea más compleja que la fermentación realizada únicamente con levadura comercial. Mientras las levaduras generan el gas necesario para el desarrollo de la masa, las bacterias producen los ácidos orgánicos que aportan características distintivas al pan de masa madre, como mejor perfil sensorial, mayor tiempo de conservación, textura estable a comparación de los panes convencionales (Pérez, et al, 2022).

2.2.3. Composición nutricional de pan de masa madre.

El pan de masa madre se caracteriza por una composición nutricional que combina macronutrientes esenciales con micronutrientes de alta biodisponibilidad, el cual es el resultado de la fermentación prolongada. Además, también modifica la estructura de los almidones, generando un índice glucémico más bajo en comparación con el pan blanco convencional; este efecto se traduce en una liberación gradual de glucosa, lo que resulta beneficioso para el control metabólico.

En el plano nutricional, la fermentación con masa madre reduce el contenido de fitatos, compuestos que limitan la absorción de nutrientes, y favorece la liberación de bioactivos con función prebiótica, que estimulan el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino, como las bacterias ácido-lácticas. En general, el pan de masa madre no solo aporta nutrientes básicos, sino que su proceso biotecnológico

transforma la calidad nutricional del alimento, convirtiéndolo en una opción funcional y saludable (Muñoz, 2020).

Tabla 1. Composición nutricional de pan de masa madre
Composición nutricional de pan de masa madre de una porción de 100 g

Energía	240 kcal
Grasa	1.5 g
Grasa Saturada	0.3 g
Grasa Monoinsaturada	0.6 g
Grasa Poliinsaturada	0.4 g
Carbohidratos	45 g
Azúcar	2 g
Fibra	4 g
Proteína	9.4 g
Cenizas	1.6 g
Sal	2.75 g

Fuente. (Molina D. F., 2020).

2.2.4. Características de calidad del pan de masa madre

El pan de masa madre se distingue por una miga elástica y aireada, con alveolos irregulares que reflejan la adecuada retención de gas durante la fermentación prolongada. Su corteza crujiente y dorada es resultado de la reacción de Maillard y de la caramelización de azúcares, mientras que el aroma es ligeramente ácido y tostado que es producto de los ácidos orgánicos y compuestos volátiles durante la fermentación. Este proceso lento no solo descompone parcialmente el gluten y los carbohidratos, generando notas sensoriales complejas con matices de nuez y acidez, sino que también incrementa la biodisponibilidad de vitaminas B y minerales como hierro, zinc y magnesio (Núñez, 2024).

Además, tecnológicamente y sensorial, este pan se caracteriza por una textura de miga suave y flexible, una corteza crocante y un perfil organoléptico complejo que combina acidez equilibrada con notas tostadas. Su índice glucémico reducido respecto al pan convencional es mucho mejor para el metabolismo. En conjunto, el pan de masa madre integra atributos físicos, sensoriales, nutricionales y funcionales que lo posicionan como un producto de alta calidad dentro de la panificación, valorando tanto por su sabor distintivo como por sus beneficios para la salud y su conservación prolongada (Ameur, Kashika, Polo, & Gobbetti, 2022).

2.2.5. Factores que influyen en la conservación del pan de masa madre

Obtener un pan de masa madre de calidad y rentables, es importante llevar a cabo un proceso de fabricación preciso y el empaquetado adecuado. Todo empieza desde el tipo de materia prima, la hidratación de la masa, tiempo y temperatura de

fermentación son importantes para que los microorganismos adecuados crezcan y desarrollen una textura, aromas, y sabor característico de este producto de calidad. El valor de la acidez final aumenta con el incremento de las cenizas de la harina que puede ser blancas o integrales. La hidratación de la masa desarrolla el ácido láctico y las masas crean un mejor ambiente para la viabilidad del ácido acético. La temperatura mayor es ideal para formar el ácido láctico, y la temperatura menor forma el ácido acético. Los microorganismos de la masa ya se desarrollaron desde la harina, por medio del cultivo para la microflora típica, todo esto influenciado por el tiempo de fermentación, adición de levaduras, entre otros.

Además, el tipo de almacenamiento cuida la calidad en el tiempo, lo que se recomienda mantener el pan en bolsas de papel o tela permitiendo la transpiración para evitar que la corteza se vuelva gomosa, ya que el plástico acelera el deterioro por su retención de humedad. Por lo tanto, mantener adecuados los factores físicos, microbiológicos y tecnológicos en todo el proceso es crucial para preservar en la vida útil del pan (Marqués et al., s. f.).

2.2.6. El gluten en la panificación

2.2.6.1. Gluten

El gluten es un conjunto de proteínas de reserva presentes principalmente en el trigo y otros cereales como la cebada y el centeno. Está formado por moléculas de gliadina y glutenina, las cuales, al mezclarse con agua y someterse al amasado, desarrollan una red elástica y cohesiva que proporciona estructura, extensibilidad y capacidad de retención de gases en la masa. En la harina de trigo, el contenido de gluten suele variar entre el 75 y 80 % en materia seca, dependiendo las condiciones de calidad y de cultivo. Estas propiedades son fundamentales para obtener productos panificados con buen volumen, textura y calidad sensorial, siendo uno de los componentes más importantes en la elaboración de productos de panificación (Shewry, 2019).

2.2.6.2. Estructura del gluten

2.2.6.2.1. Gliadinas

Las gliadinas corresponden a un grupo de proteínas monoméricas presentes en el endospermo del trigo y forman parte del almacenamiento de proteínas. A nivel molecular, se caracterizan por poseer una elevada proporción de residuos de

glutamina y prolina. Se clasifican en α -, β -, γ -, ω -gliadinas conforme a su movilidad en electroforesis a pH ácido, lo que confiere una estructura flexible, viscosa y extensible en la masa durante la etapa de fermentación (Sciarini, Steffolani, & León, 2016).

2.2.6.2.2. Gluteninas

Constituyen a la fracción polimérica del gluten y están formadas por múltiples subunidades proteicas unidas entre sí mediante enlaces disulfuro intermoleculares, aproximadamente tiene un tamaño variable que oscila entre 500 000 y más de 10 millones. Por tanto, las gluteninas pertenecen a las proteínas más grandes de la naturaleza y son capaces de desarrollar una red viscoelástica de la masa por la resistencia mecánica permitiendo que la masa recupere parcialmente su forma después de ser deformada (Wieser, 2007).

2.2.6.3. Formación del gluten

La formación del gluten ocurre cuando las proteínas (gliadinas y gluteninas) se hidratan y experimenta la acción de la fuerza y la tensión residual de la masa (amasado). A nivel molecular, las gliadinas aportan extensibilidad gracias a su estructura rica en prolina y glutamina, mientras que las gluteninas confieren elasticidad mediante la formación de cadenas poliméricas. Durante el amasado, las moléculas de glutenina se enlazan entre si a través de puentes de disulfuro entre residuos de cisteína, generando una red tridimensional estable, tenacidad y elasticidad en la masa durante la fermentación y el horneado. Paralelamente, las interacciones no covalentes, como enlaces de hidrogeno y fuerzas hidrofóbicas, consolidan la matriz proteica. Esta red viscoelástica es capaz de atrapar el dióxido de carbono producido por las levaduras en la fermentación, lo que otorga volumen y textura alveolada al pan. La proporción y calidad de las isoformas de gliadina y glutenina determinan la fuerza de la masa y su capacidad de retener gases, siendo por ello el gluten un componente esencial en la tecnología panadera (Zhang, y otros, 2024).

2.2.6.4. Funciones importantes del gluten en panificación

El gluten desempeña un papel fundamental en la tecnología de la panificación, ya que es responsable de la formación de una red proteica que otorga a la masa sus propiedades viscoelásticas. Este, actúa como retenedor de gases, atrapando el dióxido de carbono producido por las levaduras, lo que se traduce en un pan con mayor volumen y una miga aireada, que son característica de calidad del producto

final. Además, genera una corteza crujiente y una miga suave; por lo tiene la función de aglutinante, permitiendo la incorporación homogénea de otros ingredientes como la sal, gases o azúcares, que modifican la fuerza de la red proteica.

2.2.6.5. Limitaciones en la panificación frente a la reducción de gluten.

La elaboración de panes sin gluten o con sustitución parcial presentan limitaciones tecnológicas debido a la ausencia de la red proteica formada por gliadinas y gluteninas, la cual es responsable de la elasticidad, extensibilidad capacidad de retención de gases en las masas tradicionales. Sin esta estructura, las masas libres de gluten tienen a ser más frágiles, pegajosas y difíciles de manipular, lo que se traduce en productos con menor volumen, textura densa y baja aceptabilidad sensorial. Además, la falta de gluten afecta a la capacidad de la masa durante la etapa de fermentación, generando panes con poca aireación y una miga compacta. Otro desafío tecnológico es la rápida pérdida de humedad y por tanto acelera el endurecimiento del producto (Sciarini, Steffolani , & León, 2016).

Para solventar estas limitaciones, la industria recurre a la incorporación de hidrocoloides, fibras, enzimas y proteínas vegetales que buscan complementar y actuar similar al gluten. Sin embargo, estos sustitutos no logran reproducir completamente las propiedades del gluten por tanto ha sido un reto desafiante.

2.2.6.6. Consecuencias del gluten en la salud.

El consumo de gluten puede desencadenar diferentes trastornos como la enfermedad celiaca, sensibilidad al gluten no celiaca, alergia al trigo en individuos susceptibles. La enfermedad celiaca se caracteriza por una reacción inmunitaria frente a péptidos tóxicos de la gliadina, lo que provoca inflamación intestinal, atrofia de las vellosidades y aumento de la permeabilidad del intestino delgado. Este daño genera síntomas digestivos como distensión abdominal, diarrea o estreñimiento, y en algunos casos problemas de malabsorción que derivan en anemia y deficiencias nutricionales. Por otro lado, la alergia del trigo corresponde a una respuesta mediada por inmunoglobulina E frente a las proteínas del cereal, que puede manifestarse con urticaria, dermatitis, síntomas respiratorios e incluso anafilaxia, siendo más frecuente en niños, aunque en muchos casos desaparece con la edad. Finalmente, existe la denominada sensibilidad al gluten no celiaca, en el que algunos individuos presentan síntomas gastrointestinales y extraintestinales tras consumir gluten, sin cumplir los criterios diagnósticos de enfermedad celiaca ni alergia al trigo. Aunque su

prevalencia y mecanismos no están completamente definidos, se reconoce como un síndrome heterogéneo que requiere mayor investigación (Biesiekierski, 2017).

2.2.6.7. Ingesta de gluten en la dieta.

En muchas culturas, el trigo es la base de la dieta diaria y se consume en grandes cantidades. Sin embargo, la información precisa sobre la ingesta de gluten en la población sigue siendo limitada, ya que el contenido de esta proteína en los distintos alimentos no siempre está claramente especificado. Por ello, las estimaciones suelen realizarse a partir del cálculo de la proteína de los cereales que contienen gluten y de la composición de las recetas. Para las personas sanas, no existe un límite oficial de ingesta de gluten, ya que es un nutriente esencial, sin embargo, se estima que en dietas occidentales la ingesta promedio oscila entre 5 y 20 g diarios y en adultos de 20 a 75 años el consumo medio es de 10,4 g/día. El pan elaborado con trigo es la principal fuente de gluten, ya que cada rebanada puede aportar alrededor de 4g. Además, se sugiere que la exposición al gluten podría aumentar cambios en las prácticas modernas de panificación como la reducción del tiempo de fermentación, el mayor uso de agentes leudantes químicos y el incremento en fertilización nitrogenada para elevar el contenido proteico del grano (Biesiekierski, 2017).

La Comisión del Codex Alimentarius (CODEX) de la OMS y la FAO estableció en 2000 un estándar para alimentos libres de gluten son aquellos elaborados con ingredientes que no contienen gluten de trigo, cebada, centeno y avena; con un nivel máximo de 20 ppm lo que equivale a 20 mg/kg para que el alimento sea considerado libre de gluten (gluten free) y sean aptos para las personas celiacas, ya que la mayoría puede tolerar 10 mg/día sin presentar daño intestinal. Por otro lado, los productos considerados bajos en gluten deben tener un nivel máximo de 100 ppm lo que equivale 100 mg/kg, aunque esta categoría no es apta para las personas celíacas, debido al riesgo de exposición (Achmadi, 2022).

2.2.7. Ingredientes de pan de masa madre de esta investigación.

2.2.7.1. Trigo y taxonomía

El trigo (*Triticum aestivum* L.) se ha constituido históricamente la base de la alimentación humana, dado que sus granos son utilizados en la elaboración de productos como: pan, pasta y repostería. Este cereal representa una fuente importante de hidratos de carbono de lenta asimilación, además de aportar proteínas, fibra, minerales, vitaminas y una cantidad reducida de lípidos, los cuales se

concentran principalmente en el salvado y el germen. Por esta razón, las harinas blancas presentan un contenido menor de dichos componentes en comparación con las harinas integrales. Asimismo, el trigo es la materia prima más empleada y comercializada en la industria panadera, debido a la calidad de sus proteínas solubles (albúminas y globulinas) e insolubles en agua (prolaminas y glutelinas). Dentro de estas últimas destacan las gliadinas y gluteninas, responsables de la formación del gluten; una red tridimensional capaz de retener los gases generados durante la fermentación, lo que confiere al pan una textura esponjosa y suave (Astiz, Salinas, & Puppo, 2022).



Figura 2. Planta de trigo

Fuente: Goel et al. (2021).

De acuerdo con Guañuna (2014), el trigo pertenece al reino *Plantae* y al género *Triticum*, el cual agrupa aproximadamente entre 20 y 25 especies, tanto silvestres como cultivadas. Entre las más relevantes se encuentran *Triticum aestivum* (trigo blanco) y *Triticum durum* (trigo duro), ampliamente utilizados en la alimentación humana por sus características tecnológicas y nutricionales. Estas especies son plantas herbáceas anuales que producen espigas con granos ricos en almidón y proteínas, dentro de las cuales el gluten desempeña un papel fundamental en la formación de masa panarias.

Tabla 2. Clasificación taxonómica del trigo

Taxonomía	
Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Spermatophyta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Cyperales</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Género	<i>Triticum</i>
Especie	<i>Triticum aestivum</i>

Fuente. Guañuna (2014).

2.2.7.2. Valor Nutricional

El trigo se compone de tres fracciones principales: salvado, endospermo y germen. Donde el endospermo representa cerca del 80 % del grano, la cual constituye la principal fuente de almidón y aporta aproximadamente un 10 % de proteínas, siendo la fracción más utilizada en la industria molinera y panadera. El salvado, es la capa externa del gran, es rico en fibra dietética, vitaminas del complejo B, minerales como hierro, zinc y magnesio, además de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes. El germen, es la fracción más pequeña, donde está concentrada de nutrientes de alta calidad como ácidos grasos esenciales, vitamina E y pequeñas cantidades de aceite, lo cual confiere un valor funcional adicional (Totoy, 2022).

Nutricionalmente, el trigo es considerado un cereal de alto valor energético por su elevado contenido de carbohidratos complejos, principalmente almidón, que constituyen la base de la dieta en muchas poblaciones. Además, aporta proteínas vegetales, entre las que destaca el gluten, esencial para la formación de masas panarias y la elaboración de productos fermentados. El trigo también contiene aminoácidos esenciales, aunque en menor cantidad que las leguminosas, lo que lo convierte en un alimento completamente dentro de dietas balanceadas. Su perfil nutricional se ve reforzado por la presencia de micronutrientes y compuestos bioactivos que contribuyen tanto a la salud digestiva como a la prevención de enfermedades crónicas.

Tabla 3. Valor nutricional del trigo

Contenido nutricional del grano del trigo		
Compuesto	Unidad	Valor
Calorías	Kcal	27.5
Grasa	g	4.25
Carbohidratos	g	21.72
Azúcares	g	0.09
Proteína	g	15.55
Vitamina B1	mg	0.52
Vitamina B2	mg	0.57
Vitamina B3	mg	18.28
Vitamina B6	mg	1.3
Vitamina E	mg	2.3
Sodio	mg	2
Calcio	mg	7.3
Hierro	mg	10.57
Potasio	mg	11.82
Magnesio	mg	6.12

Fuente. Totoy (2022).

2.2.7.3. Uso Industrial

De acuerdo con Cava (2020), el trigo es clasificado como suave, duro y cristalino, presenta aplicaciones industriales diferentes, donde los dos primeros se destinan generalmente a la obtención de harinas finas para ser utilizadas en la panificación, pastelería, galletería y cereales. La calidad tecnológica de esta harina se optimiza mediante agentes químicos y enzimáticos que favorecen a la fermentación y el volumen del producto. Mientras, que los trigos cristalinos se muelen en una fracción más gruesa denominada sémola, la cual es utilizada como materia prima para la elaboración de pastas extruidas, garantizando una textura firme y estabilidad en la cocción. Además, una parte menor de este tipo de trigo es destinada para alimentación animal y en la industria cervecera, donde aportan almidón y proteínas para la producción de maltas y aditivos para licores. Estas aplicaciones reflejan cómo la textura y composición del grano determinan su funcionalidad tecnológica y su valor agregado en distintos sectores industriales.

La cadena productiva del trigo constituye un eje fundamental en la industria alimentaria, ya que a partir de su gran se derivó múltiples derivados. El trigo se transforma en harina refinada, harina integral y sémola, que son insumos que sirven como materia prima para una amplia gama de productos. Este proceso refleja una relación entre el sector primario, dedicado al cultivo y producción del grano y el sector industrial que son encargados de transformar tecnológicamente, hasta llegar a la etapa final de comercialización. De esta manera, el trigo impulsa diversidades de productos consolidándose un recurso estratégico para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico (Mir, 2016).

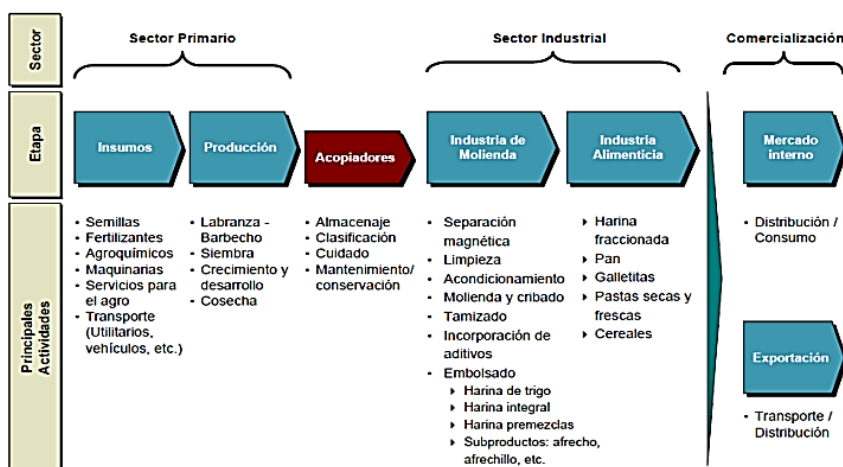


Figura 3. Cadena de Trigo.
Fuente. (Mir, 2016)

2.2.8. Papa y taxonomía

La papa es un cultivo fundamental a nivel mundial, considerado el cuarto alimento más importante después del arroz, trigo y maíz. La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una planta herbácea de la familia Solanaceae, reconocida por sus tubérculos subterráneos ricos en almidón, que constituye su principal órgano de reserva y consumo. Se trata de un cultivo de origen andino, domesticado hace más de 8 000 años en la región del lago Titicaca, entre Perú y Bolivia, lo que explica la amplia diversidad genética y morfológica que aún se conserva en variedades nativas (Molina S. , 2022).



Figura 4. Planta de papa
Fuente: (Molina S. , 2022).

Actualmente existe 5000 variedades de papas características por su forma, color y sabores, además constituye una fuente de energía y micronutrientes (vitamina C, ácido fólico, potasio, ácido fólico, fósforo, fibra y magnesio), esta proporciona diversas ventajas entre ellas el valor nutritivo, la versatilidad, la diversidad, por ello destaca su cultivo en todo el mundo (FAO, 2024).

Ecuador tiene gran variedad de papas, se cultivan a gran escala en tres zonas nacionales, la primera es en la zona norte en la provincia del Carchi e Imbabura, donde registra un rendimiento de 21.7 t/ha al año, es decir que representa un 40% de su producción para todo el país, seguidamente esta la zona centro en la provincia de Chimborazo donde se destaca un rendimiento menor con un 11 t/ha por sus variaciones de altitud que esta entre los 2 200 a 3 600 m.s.n.m.; Por último, está la zona sur del país en la provincia de Cañar dando un rendimiento de 8 a 10 t/ha año. (Basantes et al., 2020).

Tabla 4. Taxonomía de la papa

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales

Familia	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Solanum tuberosum L.</i>

Fuente. Liu, et al. (2023)

2.2.8.1. Valor nutricional

De acuerdo con Ceroli (2022), la papa (*Solanum tuberosum L.*) constituye uno de los alimentos básicos por su amplia nutrición, ya que este tubérculo se caracteriza por su alto contenido de agua 80 % y carbohidratos complejos en forma de almidón 17 a 20 g/100g, lo que la convierte en fuente primaria de energía. Este contenido de almidón y las características fisicoquímicas son vinculadas directamente a los parámetros de calidad que se valorizan para los procesos industriales.

La composición nutricional de la papa depende principalmente de las características genéticas, zonas de crecimiento, formas de cultivo, almacenamiento entre otras.

Por ellos, el aporte proteico es moderado y las grasas libres también de cada papa, además, contiene macronutrientes, como vitaminas C y vitaminas B que son esenciales para el metabolismo energético y la función nerviosa. Su riqueza mineral incluye potasio, fósforo, hierro, magnesio que regulan la formación de glóbulos rojos y la salud ósea. Las variedades de papa con pulpa amarilla o morada presentan antioxidantes que son los carotenoides y compuestos fenólicos, que son fundamentales para evitar las enfermedades como diabetes, cáncer y patologías cardiovasculares. Por estas características, la papa no solo es un alimento energético, sino también un recurso nutricional para la salud (Moreira , 2013).

Tabla 5. Valor nutricional de la papa

Contenido nutricional de la papa	
Carbohidratos	23.7 g
Almidón	20 g
Azúcares reductores	0.3 g
Azúcares totales	0.5 g
Fibra cruda	0.71 g
Nitrógeno total	0.32 g
Proteína cruda	2 g
Lípidos	0.12 g
Cenizas	1.1 g
Ácidos orgánicos	0.6 g
Agua	77.5 g

Fuente. (Ceroli, 2022).

2.2.8.2. Uso Industrial

El uso industrial de la papa (*Solanum tuberosum* L.) ha cobrado relevancia en los últimos años debido a su versatilidad como materia prima en la agroindustria. En Ecuador, investigaciones recientes destacan que solo un 15.21 % de la producción total se destina a procesos industriales, principalmente para la obtención de almidón y derivados, mientras que el resto se comercializa en fresco. Es bajo porcentaje refleja una oportunidad de expansión hacia sectores como la elaboración de películas comestibles, empaques biodegradables y productos mínimamente procesados, que responden a la creciente demanda de sostenibilidad y valor agregado en la industria alimentaria.

Estudios, han demostrado que el almidón de papa puede ser transformado en películas comestibles con capacidad antioxidante, lo que prolonga la vida útil de productos frescos y reduce el pardeamiento enzimático. Asimismo, investigaciones sobre la cadena de comercialización en la zona norte del país evidencian que los intermediarios incrementan el precio de la papa más de un 40 %, reduciendo la rentabilidad del productor, lo cual nace una necesidad de fortalecer la industrialización para mejorar la competitividad y estabilidad económica (Basantes, Aragón, Albuja , & Vásquez, 2020).

2.2.8.3. Subproductos de la papa

2.2.8.3.1. Harina de papa

La harina de papa se obtiene mediante procesos de molienda y secado del tubérculo, transformándose en un producto con valor agregado, este ingrediente presenta cierta inestabilidad tecnológica, pero se utiliza ampliamente como mejorador de sabor, color y agente espesante en la industria alimentaria, especialmente en la elaboración de salsas, sopas instantáneas y productos de panificación. Su composición le confiere propiedades similares a la harina de trigo, aunque requiere un control preciso en las proporciones de sustitución para mantener la calidad del producto final.

Desde el punto de vista tecnológico, la harina de papa aporta plasticidad y flexibilidad a las masas, favoreciendo a una textura más fina y homogénea en el pan. Aunque no contiene gluten, almidón contribuye a la estructura y estabilidad de la masa, lo que la convierte en un recurso interesante para formulaciones libres de gluten o con reducción parcial de trigo. En el ámbito nutricional, se considera una

fuentes de proteínas, vitaminas del grupo B, vitamina C y minerales como potasio y hierro, lo que incrementa su valor para el consumidor (Unchupaico, s. f.).

2.2.8.3.1.1. Valor nutricional de la harina de papa

Este tipo de harina de papa se obtiene a partir del secado y molienda del tubérculo dando una materia prima para diversas aplicaciones industriales con valor agregado, ya que, desde el punto nutricional, 100 g de harina de papa aporta 357 kcal, con un predominio de carbohidratos en forma de almidón, siendo una fuente de energía eficiente.

Tabla 6. Composición nutricional de la harina de papa

Componente	Cantidad	Componente	Cantidad
Energía	357 kcal	Niacina	3,51 mg
Agua	6,52 %	Vitamina C	4,00 mg
Proteína	6,90 g	Vitamina A (retinol)	6,90 mg
Grasas totales	0,34 g	Vitamina B6	0,77 mg
Carbohidratos	83,08 g	Magnesio	65,00 mg
Fibra	5,90 g	Zinc	0,54 mg
Cenizas	3,13 g	Hierro	1,38 mg
Calcio	65,00 mg	Riboflavina	0,05 mg
Fósforo	168,00 mg	Tiamina	0,23 mg

Fuente: (Guerrero, 2018)

2.2.8.3.2. Almidón de papa

El almidón de papa es un carbohidrato complejo que se extrae de los tubérculos de la planta *Solanum tuberosum* (la papa). Está formado principalmente por dos polisacáridos: amilosa y amilopectina que son responsables de sus propiedades funcionales en los alimentos. La amilosa es una molécula lineal que consta principalmente de α -glucosa (Figura 4), la cual se une con enlaces de α 1, 4-glucosídicos y en la papa representa entre 20 al 30 % del almidón, además, la amilopectina es típicamente el componente principal, lo cual constituye entre el 70 y 80%, está formada por muchas cadenas cortas de unas 20 a 25 unidades de α -glucosa. El extremo de cada una cadena se une a la siguiente unidad mediante un enlace α -1,6-glucosídicos, formando ramificaciones. Las diferencias de los gránulos se basan en composición porcentual, la organización cristalina, contenido de fósforo, el tamaño y la forma de la amilopectina y la amilosa, de modo que varía entre sus especies y las propiedades fisicoquímicas (Meneses, 2022).

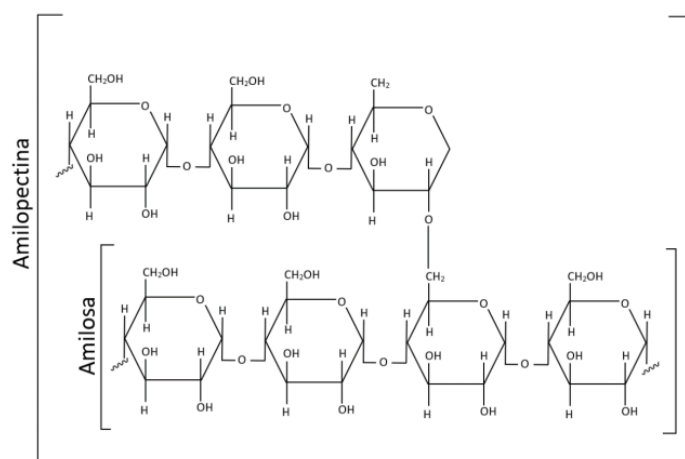


Figura 5. Amilosa y amilopectina

Fuente: (Meneses, 2022).

El almidón de papa es un biopolímero que se obtiene mediante procesos de extracción húmeda y sedimentación, dando un polvo blanco con alta pureza y bajo contenido de proteínas, grasas y cenizas. Desde el punto de vista tecnológico, el almidón de papa se caracteriza por su alta capacidad de adsorción de agua, formación de geles y estabilidad frente a procesos de congelación y descongelación, lo que es considerado una materia prima versátil para la industria alimentaria, ya que se usa como espesante, estabilizante, agente de recubrimiento y mejorador de textura en productos de panificación, salsas, helados, sopas instantáneas, etc. (Vera & Chavarría, 2020).

2.2.8.3.2.1. Valor nutricional del almidón de papa

Esta materia prima que es el almidón de papa está formada por las cadenas de glucosa, considerándose en una fuente calórica para la dieta humana. En 100 g de almidón se encuentra aproximadamente 357 kcal, con 83 g de carbohidratos, 6 a 7 g de proteínas y menos de 0.5 g de lípidos. Aunque su perfil proteico y lipídico sea bajo, este posee una fracción denominada almidón resistente, que es considerada fibra prebiótica, la cual favorece el crecimiento de bacterias beneficiosas, mejora la salud intestinal y regula la glucosa en la sangre (Chafuelan, 2022).

Tabla 7. Composición nutricional del almidón de papa

Componente	Cantidad
Energía	357 kcal/100g
Carbohidratos	83 g/100 g
Proteínas	6 – 7g/100g
Grasas	0,3 g/100 g
Hierro	10 ppm
Fósforo	0,08 ppm

Fuente: (Chafuelan, 2022).

2.2.8.3.2.2. Propiedades Funcionales del Almidón

El almidón de papa es un polisacárido natural compuesto por amilosa y amilopectina, las cuales abarcan propiedades funcionales con gran aporte en la industria alimentaria. Entre las más importantes es la capacidad de absorción de agua, formación de geles estabilidad frente a ciclos de congelamiento y descongelación y generación de geles viscosos, estas características lo convierten en un ingrediente versátil, a continuación, algunas funciones del almidón.

2.2.8.3.2.2.1. Gelatinización

Este proceso inicia cuando el almidón de papa está expuesto a una temperatura entre 60 y 75 °C, donde el granulo absorbe agua en las zonas intermicelares amorfas donde se produce el primer hinchamiento reversible dando como resultado un medio acuoso y formación de gel, es considerado un semisólido con estructura tridimensional (Lechón & Freddy , 2021).

La Figura 6 muestra de manera clara el comportamiento del almidón, donde A los gránulos se dispersan en agua y comienza a hidratarse, luego en B incrementa la temperatura (60 °C), y los gránulos se hinchan por la absorción de agua y se produce la gelatinización, luego en C sigue aumentando la temperatura y los gránulos rompen y liberan cadenas de amilosa y amilopectina que forman una red coloidal, en este punto aumenta la viscosidad. Por último, en D las condiciones físicas y la estabilidad del gel da paso a la retrogradación del almidón y se produce la sinéresis (Chafuelan, 2022).

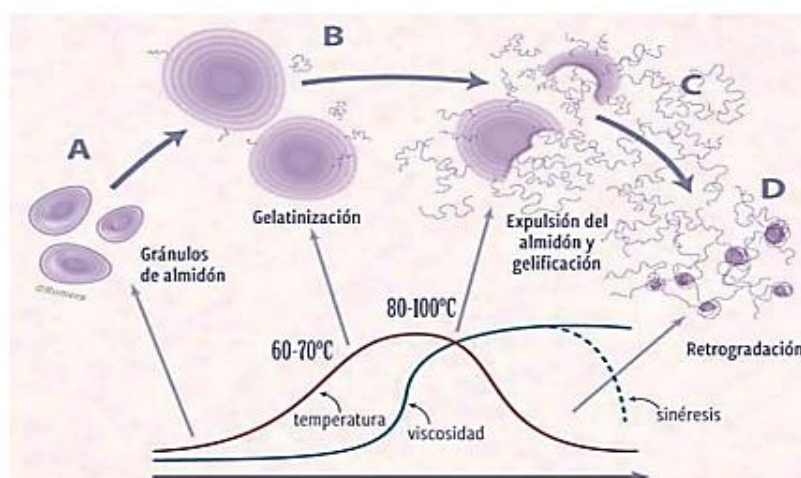


Figura 6. Etapas de la gelatinización
Fuente: (Chafuelan, 2022).

2.2.8.3.2.2.2. Gelificación

Es una disolución del almidón, de las moléculas de amilosa y amilopectina, las cuales se reorganizan y forman una red tridimensional capaz de retener el agua cuando se someten a un calentamiento excesivo. La capacidad de gelificación es superior a comparación de otros almidones, generando geles transparentes y viscosos estables frente a congelación y descongelación. Esta gelificación abarca el resultado de varios procesos que son el hinchamiento del gránulo, exudación de componentes moleculares y la desintegración del gránulo. La amilopectina es la que provoca el hinchamiento y la viscosidad, una vez de haber logrado el máximo hinchamiento de los gránulos de almidón, algunos se rompen y se desnaturalizan, logrando una red denominada gel, ideal para ser utilizada como espesantes, estabilizante y agentes texturales (Vera & Chavarría, 2020).

2.2.8.3.2.2.3. Retrogradación

Seguido de la gelificación, durante la fase de enfriamiento el almidón se retrograda, es decir que las cadenas tienden a reasociarse de forma ordenada. Las moléculas de almidón, tras la gelatinización se presentan de forma amorfa, donde se reasocian formando cristales compuestos de doble hélices de almidón, la cristalización es un gel que se puede presentar en tres estados, dilatación con la forma helicoidal, la otra es la pérdida del límite de agua seguido de una reorientación de las moléculas y la última es la formación de enlaces de hidrogeno formando una estructura, esta cristalización va a dar paso a la sinéresis, la cual es una parte disolvente fuera del gel que produce caída de viscosidad. Este comportamiento afecta la vida útil y calidad sensorial de los alimentos, ya que puede generar pérdida de suavidad en los panes, endurecimiento en productos horneados y cambios de viscosidad en las salsas y geles (Unchupaico, s. f.)

2.2.9. Mejoradores y aditivos en el pan

Los mejoradores y aditivos en la panificación constituyen insumos tecnológicos fundamentales que se incorporan con el propósito de optimizar el proceso de elaboración, potenciar las propiedades sensoriales y estructurales del pan, así como prolongar su vida útil. En contexto en la industria moderna, estos compuestos permiten a los panaderos reducir la variabilidad inherente a las materias primas y garantizar un nivel de calidad uniforme en la producción. Su aplicación responde tanto a las necesidades funcionales como la mejora de la estabilidad de la masa, el incremento

del volumen y una textura esencial de la miga, dando así una conservación y aceptación sensorial (Viteri & Cordero, 2024).

2.2.9.1. Agentes Oxidantes

Los agentes oxidantes se emplean en panificación para fortalecer la red de gluten y mejorar la estabilidad de la masa. Su acción principal consiste en oxidar los grupos sulfhirilo (-SH) de las proteínas de la harina, causando enlaces disulfuro que refuerzan la estructura proteica, dando como resultado un incremento de la elasticidad de la masa, favoreciendo la retención de gas y un mayor volumen del pan. Entre los más utilizados se encuentran el ácido ascórbico (E300), considerado seguro y ampliamente permitid en la Unión Europea, y el azodicarbonamida (ADA, E927), el cual, su uso ha sido restringido en algunos países por cuestiones regulatorias. En la actualidad, también se emplean enzimas oxidativas como la glucosa oxidasa, que ofrecen alternativas más naturales y alineados con la tendencia (Giola, Ganancio, & Steel, 2017).

2.2.9.2. Agentes enzimáticos

Las enzimas representan uno de los grupos de mejoradores más versátiles y efectivos en la industria panaria. Actúan de manera específica sobre los componentes de la harina: las amilasas degradan el almidón liberando azúcares fermentables, las xilasas modifican las hemicelulosas mejorando la extensibilidad de la masa, y las proteasas ajustan la tenacidad del gluten. Su uso permite mejorar la fermentación, incrementar el volumen del pan y retardar el endurecimiento de la miga durante el almacenamiento. Investigaciones recientes han demostrado que la combinación de α -amilasa y hemicelulosa optimiza la calidad de panes integrales, mejorando la retención del gas y reduciendo el envejecimiento del pan (Lewko, Wójtowicz, & Gancarz, 2024).

2.2.9.3. Agentes emulsificantes

Los emulsificantes cumplen un papel clave en la estabilización de la estructura de la miga y en la mejora de la textura del pan. Actúan reduciendo la tensión interfacial entre los componentes de la masa, lo que favorece una distribución homogénea de las burbujas de gas y una miga más uniforme. Entre los más empleados se encuentran los mono y diglicéridos de ácidos grasos, el estearoil lactilato de sodio (SSL) y el DATEM (diacetil tartárico éster de mono y diglicéridos). Estos compuestos no solo mejoran la suavidad y el volumen del pan, sino que también retrasan la retrogradación del

almidón, prolongando la frescura durante el almacenamiento. Estudios recientes han confirmado que el uso de emulsificantes en niveles óptimos contribuye significativamente a la calidad sensorial y reológica del pan (GM, Pathiam, Kumar, & Prakasha, 2025).

2.2.10. Enzimas

Las enzimas utilizadas en la panificación son proteínas naturales que actúan como catalizadores biológicos que aceleran las reacciones químicas específicas dentro de la matriz de la masa. Su principal función es descomponer polímeros complejos como el almidón, las proteínas (gluten) y las hemicelulosas en unidades más simples. Estas sustancias se encuentran presentes de forma natural en diversos organismos vivos como plantas, animales, bacterias y hongos, donde desempeñan un papel clave en los procesos metabólicos. Sin embargo, para su comercialización, las enzimas se producen mediante un proceso de fermentación que emplean microorganismos aptos para el ser humano, seguido de etapas de purificación, acondicionamiento y estandarización, lo que permite su aplicación en funciones específicas dentro de la panificación (Kornbrust, Forman, & Matveeva, 2012).

Son consideradas unas herramientas de optimización natural que mejoran la fermentación al proveer azúcares fermentables, refuerzan la red de gluten para dar volumen y retrasan el endurecimiento en el pan, extendiendo así la vida útil sin necesidad de adicionar químicos (Smith, 2024).

2.2.10.1. Clasificación de las enzimas

2.2.10.1.1. Amilasas

Las amilasas son las enzimas más utilizadas en panificación, ya que hidrolizan el almidón presente en la harina liberando azúcares simples como maltosa y glucosa, que sirven como alimento para las levaduras, favoreciendo la fermentación y aumentando el volumen del pan. Además, contribuyen a mejorar el color de la corteza y la suavidad de la miga, siendo esenciales para obtener productos con buena textura y apariencia, existen dos tipos principales que son α -amilasa y β -amilasa (Goesaert, 2009).

2.2.10.1.2. Alfa amilasa

Las alfa amilasas (α -amilasa) rompe uniones glucosídicas internos del almidón, de manera casi aleatoria produciendo cadenas más cortas llamadas dextrinas y

azúcares de cadena corta que son sustrato para las levaduras que mejoran la retención de humedad y aumenta la frescura del pan durante la fermentación. El resultado de la acción de la enzima es la reducción rápida del tamaño de las moléculas largas de almidón y por ende la reducción de la viscosidad de una solución de almidón, además su aplicación permite la reducción de la necesidad de aditivos químicos por lo que los productos de panificación corresponden a alimentos más saludables y con etiquetas limpias.

La aplicación de la alfa-amilasa es una estrategia fundamental para retrasar el endurecimiento del pan (anti-staling) al interferir con los procesos fisicoquímicos que ocurren durante el almacenamiento. Por lo que, al degradar la amilopectina, la enzima limita la recristalización de sus cadenas laterales, lo que impide la inmovilización del agua en los cristalinós de almidón. Creando una red de gluten y almidón flexible y resiliente con el fin de mantener una miga suave y el retraso de la tasa de endurecimiento. Estudios demuestran que la enzima alfa-amilasa fúngica es altamente efectiva para prolongar la frescura sin causar daños negativos en la calidad del producto final (Iten, Escher, & Conde , 2001).

2.2.10.1.3. β -amilasa

La beta amilasa es una enzima que participa activamente en la degradación del almidón, la cual consiste en romper los enlaces de las cadenas de polisacáridos desde los extremos, liberando moléculas de maltosa, es decir que aumenta la disponibilidad de azúcares fermentables para las levaduras. Esta enzima aporta aromas y sabores más fuertes (Escudero, 2020).

2.2.10.1.4. Proteasas

Las enzimas proteolíticas o proteasas actúan sobre las proteínas de la harina, especialmente el gluten, reduciendo su fuerza y tenacidad. Este efecto permite que la masa sea más extensible y fácil de trabajar, lo cual es beneficioso en procesos industriales de panificación. Sin embargo, su uso debe controlarse cuidadosamente, ya que un exceso puede debilitar demasiado la red de gluten y afectar la capacidad de retención de gas. Además, su función tecnológica contribuye a la generación de péptidos y aminoácidos libres que participan en el desarrollo de sabor y aroma durante el horneado, en ese sentido no solo mejora las propiedades reológicas, sino que también influye en la calidad sensorial final (Villanueva).

2.2.10.1.5. Xilanasas (Hemicelulasas)

Estas enzimas actúan descomponiendo las hemicelulosas que forman parte de la pared celular de los granos de cereal. Este proceso favorece una mayor extensibilidad de la masa y mejora su capacidad para retener gas durante la fermentación, lo que da como resultado panes de mayor volumen y con una miga más homogénea. Estas enzimas ayudan a incrementar la adsorción de agua y a mantener la estabilidad de la masa en la producción panadera a gran escala (Industry, 2023).

2.2.10.1.6. Lipasas

Las lipasas catalizan la modificación de lípidos presentes en la harina y en otros ingredientes de la masa. Su acción favorece la formación de compuestos aromáticos que enriquecen el sabor y el olor del pan. También ayudan a prolongar la vida útil del producto al mejorar la estabilidad de la miga y retrasar el endurecimiento.

2.2.10.1.7. Pectinasas

Actúan sobre las pectinas, polisacáridos presentes en pequeñas cantidades en la harina. Su acción favorece la suavidad y homogeneidad de la miga, mejorando la calidad sensorial del pan, aunque su uso es menos común que las otras enzimas, se emplean en formulaciones específicas donde se busca optimizar la textura (Industry, 2023).

2.2.10.2. Beneficios de las enzimas en panificación.

La industria panadera utiliza enzimas en sus procesos de producción donde estas mejoran las propiedades tecnológicas de la masa y la calidad final del pan. Su incorporación permite optimizar diferentes procesos durante la elaboración, las características sensoriales del producto terminado y vida útil. Estas sustancias actúan sobre componentes específicos de la harina, como el almidón y las proteínas, generando cambios en las masas para mejorar atributos nutricionales y físicos.

Algunos de los principales beneficios es el incremento del volumen del pan, la mejora de textura de la miga y alargamiento de la vida útil. Enzimas como las amilasas transforman el almidón en azúcares fermentables, los cuales sirven de alimento para las levaduras y producen dióxido de carbono durante la fermentación, dando una mayor esponjosidad, mejor textura interna, mejoran la estabilidad y elasticidad de la masa. Otras enzimas como las xilanasas actúan sobre las hemicelulosas presentes en

la harina y afecta directamente al mejoramiento del aumento de la capacidad de retención de agua y favoreciendo la extensibilidad de la masa, dando una ventaja en el proceso de amasado y moldeado (Singh & Singh, 2017).

El uso de las enzimas también favorece al desarrollo de sabor, color y olor durante el horneado, mientras otras contribuyen a incrementar la digestibilidad de ciertos componentes de la harina. Debido a las ventajas mencionadas las enzimas se han convertido en una herramienta biotecnológica que permite obtener productos de calidad con menos aditivos químicos que podrían ser perjudiciales a la salud.

2.2.11. Características reológicas del pan de masa madre

2.2.11.1. Absorción de agua

La absorción de agua constituye un parámetro esencial en la caracterización reológica de las harinas utilizadas en panificación, ya que determina la cantidad de agua necesaria para formar una masa con consistencia adecuada. Este fenómeno está directamente relacionado con la composición de la harina, en particular con el contenido de proteínas (gliadinas y gluteninas), almidón y fibra, que interactúan con el agua durante el amasado. Una harina con alta capacidad de absorción tiende a producir masas más hidratadas, extensibles y con mayor rendimiento en volumen, mientras que una baja absorción genera masas secas y menos cohesivas (Rosell & Rojas , 2009). En el caso del pan de masa madre, la fermentación prolongada y la acción de ácidos orgánicos modifican la red de gluten y la capacidad de retención de agua, favorece una textura más suave y una miga aireada, la cual es clave en la influye en la viscoelasticidad de la masa y en la estabilidad durante la fermentación, asegurando la calidad tecnológica del producto final (Sciarini, Steffolani , & León, 2016).

2.2.11.2. Elasticidad

Determina la capacidad de la red de gluten para recuperar su forma después de ser sometida a la acción mecánica durante el amasado o la fermentación. Esta característica depende principalmente de las gluteninas, que aportan resistencias y cohesión, permitiendo que la masa mantenga su estructura frente a la presión ejercida por el dióxido de carbono liderando por la levadura. Una masa con buena elasticidad logra retener mejor los gases, lo que se traduce en panes con mayor volumen y una miga más aireada. Por el contrario, una elasticidad insuficiente provoca colapsos en la estructura y productos densos, mientras que un exceso de

elasticidad puede limitar la extensibilidad y dificultar la expansión de la masa (Hussein, 2023). En el pan de masa madre, la fermentación prolongada y la acción de los ácidos orgánicos modifican esta propiedad, suavizando la red proteica y generando un equilibrio más favorable entre elasticidad y extensibilidad, lo que mejora la textura y aceptabilidad sensorial del producto final.

2.2.11.3. Retención de gases y volumen del pan

La capacidad de la masa para retener los gases producidos durante la fermentación es uno de los factores más determinantes en la calidad del pan, ya que influye directamente en su volumen y en la estructura de la miga. Esta propiedad depende principalmente de la red de gluten, formada por la interacción de las levaduras y bacterias ácido-lácticas. Una masa con buena retención de gases produce panes más esponjosos y con alveolos uniformes, mientras que una red proteica débil o insuficiente genera productos compactos y de bajo volumen. En el caso de pan de masa madre la fermentación prolongada y la acción de bacterias lácticas contribuyen a estabilizar las burbujas de gas, mejorando la textura y la distribución de poros en la miga. Sin embargo, la ausencia de gluten en formaciones libres de esta proteína representa una limitación tecnológica, ya que dificulta la retención de gases y obliga a incorporar hidrocoloides o proteínas vegetales para limitar parcialmente esta función (Arai, et al, 2018)

2.2.12. Aceptación sensorial

La aceptación sensorial constituye un criterio decisivo en la evaluación de la calidad del pan, ya que integra la percepción del consumidor respecto a atributo como color, olor, sabor, textura y apariencia general. En el caso del pan de masa madre elaborados con almidón de papa y la enzima alfa-amilasa generan una fermentación prolongada con la acción de bacterias lácticas y levaduras que desarrollan compuestos volátiles que intensifican el aroma y aportan un perfil gustativo más complejo, lo que suele incrementar la preferencia del consumidor frente a panes elaborados con fermentaciones rápidas. Asimismo, la textura más suave de la miga y la corteza crujiente derivada de la fermentación natural contribuyen a aun mayor aceptación sensorial, reforzando la percepción de frescura y calidad artesanal (Terrazas, Palma , & Navarro, 2024)

2.2.13. Características texturales del pan de masa madre.

2.2.13.1. Dureza de la miga

Es resistencia que ofrece la miga frente a la compresión, este atributo depende de factores como el contenido y calidad del gluten, el grado de hidratación de la masa, el tiempo de fermentación y la retrogradación del almidón durante el almacenamiento. Desde el punto de vista reológico, una miga con baja dureza refleja una red proteica flexible y una adecuada retención de humedad, lo que se traduce en panes más suaves y aireados. Mientras que, valores altos de dureza se asocia a una estructura más compacta y menor extensibilidad. En el pan de masa madre, la acción de los ácidos orgánicos producidos por bacterias lácticas contribuye a mantener la humedad y retrasar el endurecimiento, lo que se traduce en una miga más tierna y con mayor vida útil (Yahia & Bourekoua, 2025).

2.2.13.2. Fracturabilidad y corteza

Es la fracturabilidad es la fuerza necesaria para provocar la ruptura inicial de la estructura del pan, especialmente en la corteza, la cual se rompe al aplicar presión, lo que está directamente relacionado con la percepción de crocancia y frescura. Una corteza con alta fracturabilidad suele ser más apreciada por los consumidores, ya que aporta una experiencia sensorial distinta frente a panes de corteza blanda. Este parámetro depende de factores como el tiempo de horneado, la humedad de la masa y la composición de la harina, especialmente el contenido de gluten y la interacción con los azúcares y grasas añadidas (Cediel, 2025).

2.2.13.3. Masticabilidad

Es la fuerza necesaria para masticar un alimento sólido hasta un estado tal que permita su ingesta, su unidad de medida es Newton (N). Este atributo depende de la interacción entre la red de gluten, la humedad retenida en la masa y la distribución de los alveolos. Una miga con mayor cohesividad elasticidad suele presentar valores altos de masticabilidad, que implica un esfuerzo mayor durante el consumo, mientras que una estructura frágil y menos compacta reduce esta percepción (Hussein, 2023).

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

La presente investigación tiene un enfoque mixto, combinando las características cualitativas y cuantitativas, lo cual significa que las variables de este estudio se relacionan numéricamente para obtener resultados de las características reológicas, fisicoquímicas, texturales y microbiológicas que se conseguirá experimentalmente del producto. Paralelamente, se incorpora un análisis cualitativo mediante la evaluación sensorial, para identificar percepciones y atributos organolépticos relevantes, fortaleciendo la validez y el alcance de la investigación.

3.1.2. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo experimental, ya que se aplicaron métodos científicos rigurosos que incluyen pruebas de laboratorio, análisis reológicos, fisicoquímicos, texturales, microbiológicos y sensoriales. El enfoque experimental permitirá establecer relaciones de causa y efecto entre las variables independientes (como la incorporación de almidón de papa y la adición de la enzima alfa-amilasa) y las variables dependientes, relacionadas con las propiedades del producto final.

El estudio se desarrollará mediante la manipulación controlada de formulaciones de pan de masa madre, con el objetivo de comprobar hipótesis en condiciones controladas y garantizando la validez de los resultados. Asimismo, el carácter experimental de la investigación contribuye a la innovación en panificación, ya que permite explorar el impacto de la sustitución parcial de la harina de trigo por el almidón de papa y el efecto de la enzima para cuidar la calidad. De esta manera, se busca generar conocimiento científico que aporte en la industria alimentaria y en el desarrollo de productos funcionales.

3.2. HIPÓTESIS

Hipótesis nula: El efecto de la enzima alfa-amilasa no influye en las características reológicas, fisicoquímicas, texturales, microbiológicas y sensoriales del pan de masa madre con harina de trigo y almidón de papa.

Hipótesis alternativa: El efecto de la enzima alfa-amilasa si influye en las características reológicas, fisicoquímicas, texturales, microbiológicas y sensoriales del pan de masa madre con harina de trigo y almidón de papa.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variable Independiente

- Cantidad de la enzima alfa-amilasa (75 y 150 ppm)
- Porcentaje de almidón de papa (10, 20 y 30 %)

Variable Dependiente

- Análisis reológico
- Parámetros fisicoquímicos.
- Análisis texturales
- Parámetros microbiológicos
- Análisis sensorial

Tabla 8. Operacionalización de las variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento
V. Independiente				
Adición de la enzima alfa-amilasa.	Cantidad	75 ppm 150 ppm	Gravimetría	Gunko, et al, (2025)
Porcentaje de sustitución de harina de trigo por almidón de papa.	Porcentaje	10 % 20 % 30 %	Gravimetría	Pulloquina, M. (2011),
V. Dependiente				
Calidad de la mezcla Harina de trigo, almidón de papa y enzima alfa amilasa	Análisis Reológico	Par C1_Consistencia Inicial Par C2_Debilitamiento proteico Par C3_Gelatinización del almidón Par C4_Estabilidad Par C5_Retrogradación del almidón	Mixolab	Mixolab_Applications _Handbook
	Análisis Físicoquímico	Humedad Acidez Proteína Grasa Fibra Gluten Cenizas	Gravimetría Acidez titulable Método Kjeldahl Extracción Soxhlet Gravimetría Método de ELISA Gravimetría	AOAC 925.10 AOAC 942.15 AOAC 960.52 AOAC 920.39 AOAC 962. 09 AOAC 2012.01. AOAC 923.03
Calidad del pan de masa madre con harina de trigo y almidón de papa aplicando la enzima alfa-amilasa	Análisis de textura	Dureza Masticabilidad Fracturabilidad	Texturómetro de Brookfield	CT3 TEXTURE ANALYZER Operating Instructions Manual No. M08-372- F1116
	Análisis microbiológico	Mohos y levaduras Aerobios mesófilos Coliformes y E. coli	Placas Petrifilm Placas Petrifilm Placas Petrifilm	AOAC 997.02 AOAC 990.12 AOAC 997.02
	Análisis Sensorial	Color Olor Sabor Textura Aceptabilidad	Prueba hedónica con 7 puntos	UNE-ISO 4121:2006

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Métodos

3.4.1.1. Lugar de investigación

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la UPEC, empleando los laboratorios que cuentan con el equipamiento necesario para efectuar los análisis reológicos, fisicoquímicos, texturales, microbiológicos y sensoriales. El uso de este equipamiento técnico garantiza la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. Por otro lado, la fase de producción del pan de masa madre se realizó en la planta de procesamiento de cereales en la UPEC, donde se mantuvo condiciones rigurosas de temperatura y humedad estandarizadas el proceso de panificación.

3.4.1.2. Formulación del pan de masa madre

Para la formulación de pan de masa madre con sustitución parcial de harina de trigo por almidón de papa y la aplicación de la enzima alfa amilasa, se tomó como base de estudio desarrollado por Gunko et al. (2025), se presenta en la Tabla 9 con la formulación en gramos y en porcentaje, teniendo en cuenta los métodos usados y la cantidad de muestra necesaria para realizar las diferentes pruebas.

Tabla 9. Formulación en gramos para la elaboración de pan de masa madre								
Gramos (g)				Porcentaje (%)				
Almidón de papa	40	80	120	Almidón de papa	5.08	10.13	15.23	
Enzima Alfa amilasa 75 ppm	0.03 g	0.03 g	0.03 g	Enzima Alfa amilasa 75 ppm	0.0038	0.0038	0.0038	
Enzima Alfa amilasa 150 ppm	0.06 g	0.06 g	0.06 g	Enzima Alfa amilasa 150 ppm	0.0076 g	0.0076 g	0.0076 g	
Harina de trigo	360	320	280	Harina de trigo	45.69	40.51	35.53	
Agua	260	265	270	Agua	32.99	33.54	34.26	
Masa madre	120	120	120	Masa madre	15.23	15.23	15.23	
Sal	8	8	8	Sal	1.02	1.02	1.02	
	788.09	788.09	788.09		100	100	100	

3.4.1.3. Proceso de elaboración de la masa madre

La elaboración de la masa madre requiere un periodo de 6 a 7 días para su fermentación. En la Figura 7, se ilustra las fases del proceso obtención de la masa madre, mediante un diagrama que representa las entradas y salidas, asegurando el cumplimiento del objetivo planteado.

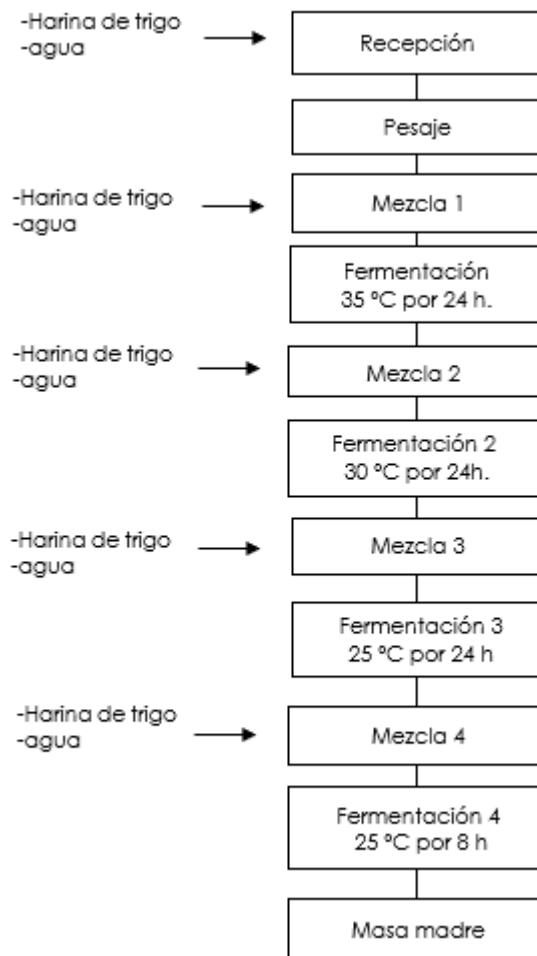


Figura 7. Diagrama de flujo de Proceso de elaboración de la masa madre

3.4.1.4. Descripción del proceso de elaboración de la masa madre.

La masa madre representa un fermento natural de gran relevancia en la elaboración de pan, está compuesta por la interacción de levaduras y bacterias lácticas que aparecen de manera espontánea en la harina y el entorno. Según lo expuesto por Genovés y Quezada (2013), este proceso se desarrolla a través de distintas etapas que se describen a continuación:

1. Recepción de materia prima: Se verifica la calidad de la harina de trigo integral y agua que se va a utilizar.
2. Mezcla 1: En un recipiente se mezcla 150 g de harina de trigo con un 75 ml de agua.
3. Fermentación: Se deja reposar a 35 °C durante 24 horas, está en la primera madre y se observará que la masa se eleva 2 cm.
4. Mezcla 2: Se añade a la primera madre con 200 g de harina de trigo y 150 mL de agua.

5. Fermentación 2: Se deja reposar la mezcla por 24 horas a 30 °C, esta masa crecerá 2 cm más.
6. Mezcla 3: Se refresca la segunda madre con 250 g de harina de trigo y 156 mL de agua.
7. Fermentación 3: Se deja reposar la masa a 25 °C durante 24 horas y se observará que la masa crecerá 3 cm más.
8. Mezcla 4: Se hará una última mezcla donde se agrega 350 gr de harina de trigo y 200mL de agua.
9. Fermentación 4: Se deja reposar por 8 horas a 25 °C, para que sea utilizada previamente.

3.4.1.5. Proceso de la elaboración del pan de masa madre.

En la Figura 8 se presenta un diagrama de flujo del proceso secuencial de la elaboración del pan de masa madre, donde muestra claramente las entradas y salidas de cada etapa, facilitando entender la importancia de la tecnología del producto final.

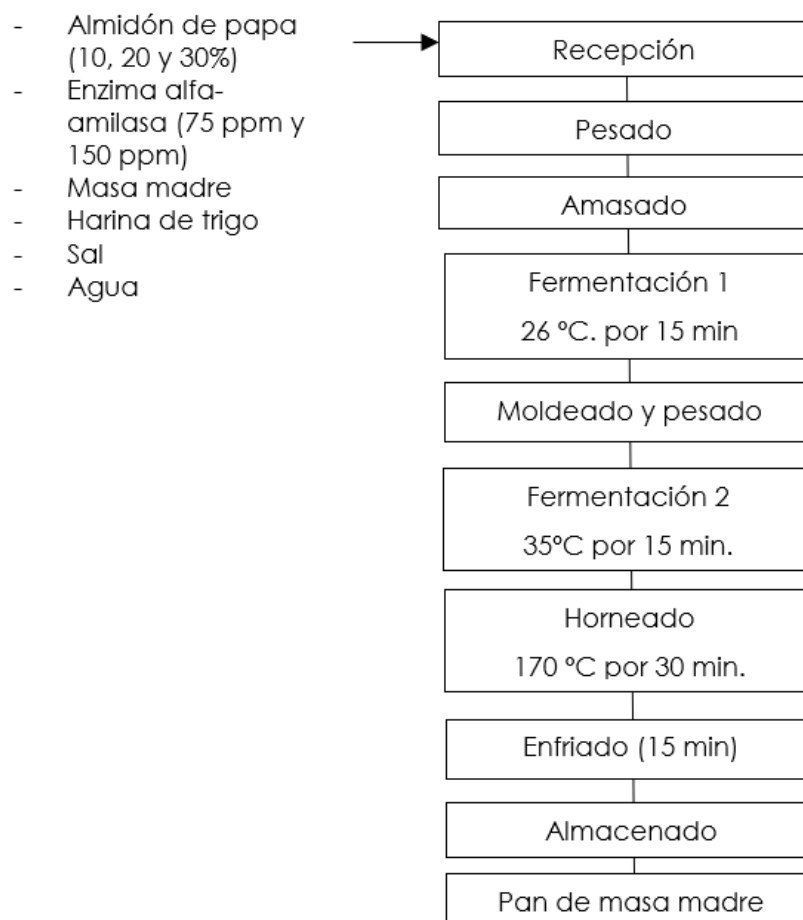


Figura 8. Diagrama de flujo de Proceso de elaboración de pan de masa madre.

3.4.1.6. Descripción del proceso de elaboración del pan de masa madre.

El proceso de elaboración de pan de masa madre a base de almidón de papa y harina de trigo con aplicación de la enzima alfa-amilasa, se describe de la siguiente manera (Montoya & Román, 2010).

- Recepción de la materia prima: Se debe verificar la calidad de todos los ingredientes que se va a utilizar.
- Pesado: Se debe calcular en la balanza analítica los pesajes establecidos en la formulación.
- Mezclado: En un recipiente de acero inoxidable se procede a colocar la masa madre con agua y sal, de acuerdo con los porcentajes establecidos.
- Amasado: Se utiliza el amasador, para obtener una masa homogénea y apta para manipular, ya que, en la absorción de agua por las proteínas del gluten, desarrollan elasticidad y extensibilidad. Este proceso dura 15 minutos.
- Fermentación inicial: Una vez pasado el tiempo, se colocó la masa en la mesa de acero inoxidable y se deja reposar para permitir la primera fermentación, además se debe controlar la temperatura entre 26°C.
- Moldeado y pesado: Se moldea la masa en porciones de 48g, manualmente.
- Fermentación final: Después del moldeado se coloca en coches y se traslada a la cámara de leudo, la cual debes estar a una temperatura de 35°C, permitiendo que la masa se ablande, durante 15 minutos.
- Horneado: Esta operación es muy importante, ya que es este punto se logra cambios de color, suavidad, apariencia y su composición química. Se lleva a cabo en el horno cuya temperatura debe ser a 170 °C por 30 minutos.
- Enfriado: Luego se saca el pan y deja al ambiente para que se enfríe por 15 minutos, el pan terminará con una textura crujiente y con sabores ligeramente ácidos característicos de este tipo de pan.
- Almacenado: Se lo lleva a almacenar en un lugar limpio a temperatura ambiente.

3.4.2. Técnicas

3.4.2.1. Análisis reológico

Las mezclas de harinas fueron sometidos a análisis reológicos, con el fin de evaluar sus propiedades viscoelásticas, para garantizar el cumplimiento de los requisitos dentro de los estándares nacionales INEN 2945:2016 del pan de masa madre. Por lo que se

analizó bajo el manual de Mixolab_Applications_Handbook el cual se establece el siguiente procedimiento:

1. Seleccionar el protocolo de ensayo más adecuado según el objetivo del análisis.
2. Definir la humedad de la muestra y establecer la hidratación aproximada (por defecto: 55% para harina blanca y 60% para harina integral).
3. Escoger la base de hidratación; se recomienda trabajar con una base del 14%.
4. Pesar la cantidad de muestra indicada por el software del equipo.
5. Colocar la amasadora en su posición y cerrar la tapa.
6. Iniciar la prueba desde el sistema.
7. Introducir la muestra en el dispositivo utilizando el embudo provisto.
8. Conectar la boquilla de inyección de agua.
9. Si la consistencia inicial (C1) se encuentra fuera de los rangos de tolerancia, detener el ensayo, limpiar la amasadora y recolocarla correctamente.
10. Emplear la herramienta de cálculo integrada para ajustar la hidratación real de la muestra, considerando los resultados obtenidos previamente.
11. Reiniciar el ensayo y dejarlo correr hasta su finalización.

3.4.2.2. Análisis fisicoquímicos

Se sometió los diferentes tratamientos a cada técnica analítica estandarizada siguiendo las normas AOAC e INEN, los cuales garantizan precisión y confiabilidad en los resultados. Cada técnica está diseñada para cuantificar un componente específico, por lo que se analizó humedad, acidez, proteína, fibra, grasa, gluten y cenizas para cumplir con los requisitos de inocuidad y seguridad alimentaria.

3.4.2.2.1. Determinación de humedad

La determinación del contenido de humedad en las muestras se realizó siguiendo el protocolo establecido por la Norma AOAC 925.10, el cual asegura precisión y confiabilidad en los resultados. Este método consiste en exponer la muestra a un proceso de secado controlado en cápsulas previamente acondicionadas, hasta alcanzar un peso constante, de esta manera, se garantiza que la pérdida de peso que corresponde al agua presente en la muestra, a continuación, se siguió los siguientes pasos:

1. Preparación de la muestra de manera uniforme
2. Limpiar las cápsulas

3. En la estufa poner las capsulas con su tapa durante 1 hora entre 100 a 150°C para secarlas.
4. Pesar en la cápsula con su tapa con un aproximado de 0,1g.
5. Pesar la muestra entre 3 a 5 g en la capsula y tapar.
6. Colocar en la estufa a 130°C durante 1 hora.
7. Retirar la cápsula y llevarla al desecador a temperatura ambiente y pesar.
8. Clocar nuevamente la cápsula en la estufa y repetir el proceso.
9. Se repite hasta que no haya diferencia de pesos o que no sea inferior de 0,5mg.
10. Realizar los cálculos para determinar la humedad de la muestra, por medio de la siguiente formula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{M_a - M_b}{M_a - M} \times 100$$

Donde:

M = masa en gramos de la cápsula con tapa

M_a = masa en gramos de la cápsula con tapa y la muestra

M_b = masa en gramos de la cápsula con tapa y la muestra seca

3.4.2.2.2. Determinación de acidez

Se determino la acidez del pan de masa madre siguiendo la norma AOAC 943.02 Y pH con la norma AOAC 942.15 ya que es un parámetro fundamental por su influencia en el sabor y la fermentación del producto final.

1. Se pesó 5g y se colocó en un vaso de precipitación, seguidamente se añade 50 cm^3 de alcohol al 90v% (V/V) neutralizado.
2. Se dejó homogenizar y reposar por 30 min para estabilizar.
3. Luego se determinó el pH inicial con el potenciómetro y se registra el valor.
4. Se tomó 10 cm^3 del líquido sobredonante, y se lleva al matraz Erlenmeyer de 50 cm^3 .
5. Seguidamente se agregó a la muestra 2 cm^3 de fenolftaleína y titular con la solución de hidróxido de sodio a 0.2 N.
6. Para realizar la titulación se añade NaOH 0.2 N gota a gota hasta que se obtenga un color rosado que persista hasta 30 segundos.
7. Una vez obtenida el volumen se realiza los cálculos.

$$A = \frac{490 \cdot N \cdot V}{m(100 - H)} \times \frac{V_1}{V_2}$$

Donde:

A: Contenido de acidez en porcentaje de masa de ácido sulfúrico.

N: Normalidad de NaOH

V: Volumen de NaOH en la titulación en cm.

V_1 : Volumen de alcohol empleado (cm^3).

V_2 : Volumen de la muestra tomada (cm^3).

m: Peso de la muestra (g)

H: Contenido de humedad (%)

3.4.2.2.3. Determinación de proteína

La determinación del contenido de proteína en las muestras se realizó siguiendo el protocolo establecido por la Norma AOAC 960.52, este método se fundamenta en la cuantificación del nitrógeno total mediante el procedimiento clásico de Kjeldahl, considerado un método de referencia en análisis de alimentos. A continuación, se siguieron los siguientes pasos:

1. Para realizar la digestión se pesa en un papel filtro la muestra entre 1 a 5 g y se lleva a el tubo Kjeldahl.
2. Se agrega 1 pastilla catalizadora a cada tubo Kjeldahl.
3. Adicionar 10 ml de ácido sulfúrico concentrado H_2SO_4 .
4. Permitir que la muestra continúe el proceso de digestión hasta que la temperatura alcance los 420 °C; una vez alcanzada, mantener el calentamiento durante una hora o más, según el tipo de muestra.
5. Apagar el equipo y dejar que el sistema se enfríe completamente en la campana de flujo laminar para que se absorba los gases tóxicos.
6. Posteriormente, realizar la destilación, añadiendo 50 ml de agua destilada y 10 ml de hidróxido de sodio.
7. Se libera amoníaco y junto con el vapor de agua es arrastrado y es recolectado él NH_3 en un matraz Erlenmeyer con solución de ácido bórico al 4 % p/v.

8. Finalmente, efectuar la titulación ácido-base utilizando ácido clorhídrico como titulante y una disolución alcohólica de rojo de metilo y azul de metileno como indicador.
9. Se realiza los cálculos de acuerdo con la siguiente formula:

$$\% \text{de proteína} = \frac{N \text{ Cl} * (V_m - V_b) * 14 * 5.7 * 100}{1000 * m}$$

Donde:

NHCl: Normalidad del HCl valorador

V_m: volumen de HCl valorado para la muestra

V_b: volumen de HCl valorado para el blanco

14: peso atómico del N

5.7: factor que se usa para convertir la cantidad de N en cantidad de proteína

m: masa de la muestra

3.4.2.2.4. Determinación de grasa

La determinación de grasa según la norma AOAC 920.39 se basa en el método de extracción Soxhlet, utilizado para cuantificar la grasa cruda o extracto etéreo en alimentos y productos de panificación.

1. Pesado de la muestra: Se pesa en una balanza analítica aproximadamente de 3 a 5 g de muestra seca en un papel filtro, luego llevar la muestra dentro de un dedal de extracción.
2. Preparación de los vasos de aluminio: Se procede a lavar, secar y pesar el cada vaso vacío, luego se registra el peso inicial.
3. Llevar los cartuchos de celulosa al extractor de grasa junto con el anillo metálico, luego poner los vasos en el extractor y cerrar el equipo.
4. Adicionar 50 ml hexano en cada una de la muestra.
5. Encendido del equipo: Se debe verificar que las muestras estén correctamente aseguradas y que el hexano no se riegue, y se procede a encender el equipo y el refrigerante.
6. El proceso de extracción dura 2 horas, donde el hexano se calienta a 80 °C y extrae la grasa.
7. Luego de haber pasado ese tiempo, la grasa extraída se queda aislada en el vaso de aluminio.

8. Se debe llevar los vasos a la estufa por 2 horas para eliminar algún residuo de hexano.
9. Seguidamente se lleva al desecador por 15 min y se procede a pesar los vasos de aluminio.
10. Para saber la cantidad de grasa extraída se debe aplicar una formula:

$$\text{Grasa (\%)} = \frac{P_1 - P_2}{P} \times 100$$

Donde:

P_1 : Peso del vaso de aluminio con el extracto de grasa de la muestra.

P_2 : Peso del vaso vacío

P : Peso del vaso con la muestra inicial.

3.4.2.2.5. Determinación de fibra

La determinación de fibra cruda se llevó a cabo empleando el equipo Fibertest, siguiendo un protocolo estandarizado por la Norma AOAC 962.09 que asegura la precisión y confiabilidad en los resultados. Este método se realiza porque un alimento está expuesto a digestiones sucesivas con ácido sulfúrico y con hidróxido alcalino, para eliminar los componentes solubles, luego se lleva a secar y la pérdida de peso obtenida corresponde al contenido de fibra, a continuación, se detalla los pasos:

1. Tarar los crisoles y pesar 1 g de cantidad exacta de muestra dentro del crisol y poner en la gradilla.
2. Trasladar la gradilla hasta la unidad Fibertest y encajar los crisoles.
3. Poner la tapa reflectora delante de los crisoles fijándola en los ganchos delanteros.
4. Poner las válvulas de 3 vías en la posición de cerrado.
5. Introducir por la parte superior el refrigerante 150 ml de ácido sulfúrico 0,128 M precalentado a 90 a 100 °C.
6. Se añade de 2 a 3 gotas de n-Octanol para prevenir la espuma durante el calentamiento y la ebullición.
7. Cuando empiece a hervir los crisoles, ajustar la temperatura para que se mantenga suave (punto 3 a 4) y dejar por 30 minutos.
8. Jirar las válvulas y filtrar.
9. Luego lavar con agua caliente por la parte superior y succionarla, y se repite por 3 veces más, es importante que en cada lavada se use 30 ml de agua.

10. Introducir por la parte superior 150 ml de la solución de hidróxido potásico previamente calentada a una temperatura de 90 a 100 °C.
11. Se añade nuevamente de 2 a 3 gotas de n-Octanol para prevenir la espuma durante el calentamiento y la ebullición.
12. Filtrar y lavar 3 veces con agua desionizada caliente.
13. Retirar los crisoles de la unidad, insertar las pinzas para manipular los crisoles y tirar de la palanca de cierre, para desbloquearla.
14. Depositar los crisoles en la gradilla
15. Llevar la gradilla con los crisoles a la estufa de secado y secar a 130°C durante 3 horas.
16. Luego depositar los crisoles en el desecador y pesar una vez que estén fríos.
17. Incinerar la muestra de los crisoles a 500°C durante 3 horas en la mufla y dejar enfriar los crisoles lentamente hasta los 100°C a temperatura ambiente y volver a pesar.
18. Calcular la fibra con la siguiente formula:

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{W1 - W2}{W0} \times 100$$

Donde:

W1: Peso del crisol con la muestra luego de haber pasado por el método de fibra.

W2: Peso del crisol con la ceniza (materia inorgánica) después de la incineración.

W0: Peso del crisol con la muestra inicial.

3.4.2.2.6. Determinación Gluten

La determinación de gluten se llevó a cabo por el método de ELISA tipo sándwich R5 se usan anticuerpos monoclonales específicos para detectar gliadina, que es una de las fracciones proteínas del gluten, esto se realizó siguiendo el protocolo estandarizado de la norma AOAC Official Method 2012.01. A continuación se detallan los pasos:

1. Preparar la muestra, esta debe estar sin humedad y tamizada a 200 µ.
2. Pesar la muestra aproximadamente 0.25 g y colocar en un tubo de ensayo limpio y adicionar 2.5 ml del Cocktall Solution y se homogeniza.
3. Se debe encubar 40 min a 50°C.

4. Luego se añadió 7.5 mL de etanol al 80% y agitar por una hora utilizando el agitador rotativo.
5. Llevar la muestra a la centrifugadora a 2500 rpm durante 10 min.
6. Tomar de la dilución de la muestra 100 μ L y diluir con 900 μ L de solución diluyente.
7. Preparación de la microplaca, donde se debe adicionar en cada pocillo 100 μ L de los estándares y 100 μ L de las muestras diluidas.
8. Luego llevar la placa a encubar por 30 minutos a temperatura ambiente, con el fin de que permita la unión del gluten con los anticuerpos adheridos a la placa.
9. Luego de haber pasado el tiempo se debe lavar la placa de los pocillos tres veces con 250 μ L de Wash Buffer, con el fin de eliminar completamente el líquido residual después de cada lavado.
10. Se agrega 100 μ L del conjugado enzimático en cada pocillo.
11. Luego se realiza la segunda incubación por 30 minutos a temperatura ambiente.
12. Seguidamente se realiza el segundo lavado donde 3 veces se debe lavar con 250 μ L de Wash Buffer.
13. Se añade el sustrato 100 μ L y encubar por 10 minutos en oscuridad, ya que se desarrolla una coloración azul.
14. Luego se agrega 100 μ L de Stop Solution para que la coloración cambie de azul a amarillo.
15. Luego se lleva a leer la absorbancia en el lector de ELISA a 450 nm donde la concentración de gluten se calcula mediante la curva de calibración obtenida con los estándares de gliadina.

3.4.2.2.7. Determinación Cenizas

Para la determinación de cenizas se lleva a cabo el método establecido en la Norma AOAC 923.03 la cual se describe a continuación:

1. Preparar las cápsulas: Lavar y secar las capsulas de porcelana y someter a calcinación a 550°C, luego dejar enfriar y pesar.
2. En la capsula se debe pesar la muestra entre 2 a 5 g.
3. Colocar la muestra en la mufla a 550 °C hasta que se carbonice.
4. La muestra debe hacerse cenizas blancas o de color gris claro.
5. Luego enfriar en el desecador y tomar el peso final en la balanza analítica.

6. Calcular el porcentaje de cenizas de acuerdo con la formula.

$$\% \text{ cenizas totales} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * 100$$

Donde:

m_2 : masa de la cápsula con las cenizas

m_1 : masa de la cápsula con la muestra

m_0 : masa de la cápsula vacía

3.4.2.3. Análisis de textura

El análisis de textura del pan de masa madre fue analizo bajo el método estándar desarrollado por la Asociación Estadounidense de Químicos de cereales (AACC), con el fin de simular la presión que ejerce un consumidor y verificar la calidad de frescura del pan, a continuación, se describe el procedimiento.

1. El equipo Texturómetro Brookfield debe estar calibrado y configurado bajo los estándares de perfil de textura del pan.
2. Se abre el software CTX Texture Analyzer y se configura la velocidad de prueba a 2 mm/s, la distancia 10 mm y la fuerza de activación 5 g.
3. Previamente se debe colocar la sonda cilíndrica de 38.1 mm (TA4/1000).
4. Se prepara las muestras de pan debe estar en rebanadas de 25 mm de grosor o dos rebanas de 12.5 mm cada una, esta no debe tener corteza.
5. Colocar las rebanadas de pan sobre la plataforma de prueba
6. Selecciona los parámetros a analizar
7. Se alinea la sonda con el centro del pan
8. Comienza a correr el software hasta que comprime el pan con una deformación del 40 % y se registra la carga de compresión cuando la deformación sea del 25 %.
9. Los datos se guardan automáticamente en Excel o pdf y se procede a analizar.

3.4.2.4. Análisis microbiológico

Las muestras de pan de masa madre fueron sometidas a análisis microbiológicos de Mohos y levaduras, Aerobios mesófilos, E. coli, Coliformes, Salmonella; bajo las normas AOAC e INEN para asegurar la confiabilidad e inocuidad del producto final.

3.4.2.4.1. Determinación de Mohos y levaduras

De acuerdo con el procedimiento establecido en la Norma AOAC 997.02 para el recuento de mohos y levaduras para alimentos como pan, se describe el siguiente método:

1. Preparar la muestra con 10 g del alimento y colocarlos en un recipiente o bolsa plástica previamente esterilizada e incorporar 90 ml de agua peptona para realizar una dilución de 1:10.
2. Preparar las diluciones decimales por triplicado 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} .
3. Poner 1 ml de cada dilución en placas de Petri
4. Incubar a 25°C durante 3 a 5 días.
5. Realizar el conteo donde los mohos son colonias algodonosas y pigmentadas y las levaduras son colonias lisas y brillantes.
6. Realizar el cálculo con el factor de dilución.

3.4.2.4.2. Método para el recuento de Aerobios mesófilos

De acuerdo con el procedimiento establecido en la norma AOAC 990.12 para el recuento de bacterias aerobias mediante el método de placa Petrifilm, se aplica los siguientes pasos:

1. Elaborar la dilución inicial de la muestra.
2. Tomar entre 10 g del alimento y colocarlos en un recipiente o bolsa plástica previamente esterilizada.
3. Incorporar 90 ml del diluyente correspondiente.
4. Mezclar adecuadamente hasta obtener una suspensión homogénea.
5. Dejar reposar la mezcla para favorecer la sedimentación de las partículas de mayor tamaño.
6. Preparar las diluciones.
7. Trasvasar 1 ml de la dilución a recipientes que contengan nueve veces su volumen de diluyente.
8. Agitar cada frasco de diluyente siguiendo el mismo procedimiento de homogenización.
9. Proceder a la siembra de las muestras.
10. Colocar y diluir la muestra del alimento en cajas de Petri.
11. Añadir entre 12 y 15 mL del medio de cultivo previamente preparado y mezclar realizando seis movimientos de un lado a otro.

12. Dejar solidificar la muestra.
13. Llevar a incubar las cajas en posición invertida durante 48h a 35°C.
14. Realizar el recuento.

3.4.2.4.3. Determinación de Coliformes y *Escherichia coli*

De acuerdo con el procedimiento establecido en la Norma AOAC 998.08 para el recuento de coliformes y *E. coli* en alimentos, se describe el siguiente método:

1. Ubicar la placa Petrifilm para el análisis de coliformes y *E. coli* sobre una superficie nivelada.
2. Levantar cuidadosamente la lámina superior de la placa y depositar 1mL de la muestra previamente diluida.
3. Cerrar nuevamente la placa, procurando evitar la formación de burbujas de aire.
4. Colocar el aplicador sobre la muestra contenida en la placa Petrifilm.
5. Ejercer una presión suave con el aplicador para lograr una distribución homogénea de la muestra.
6. Permitir que la placa repose hasta que el gel se solidifique por completo.
7. Incubar las placas en posición horizontal, sin apilar más de 20 unidades.
8. Mantener la incubación a 35 °C durante un periodo de 48 horas.
9. Para el conteo de *E. coli*, considerar las colonias de tonalidad azul o rojo-azulada asociadas a la presencia de gas, independientemente de su tamaño o intensidad de color.
10. En el caso de coliformes, contabilizar las colonias que presenten color rojo.
11. El recuento se considera válido únicamente en aquellas placas que presenten más de 150 colonias.

3.4.2.4.4. Determinación de Enterobacteriaceae

Con base en el procedimiento establecido por la Norma AOAC 2003.01 para la detección de Enterobacteriaceae en alimentos procesados, el método se desarrolla de la siguiente manera:

1. Se tomó la muestra 10 g en una funda ziploc con 100 ml de agua peptona para realizar las diluciones.
2. Se homogenizó 1 minuto utilizando el stomacher.
3. Se realizó las diluciones decimales por triplicado.
4. Se llevó 1 ml de la primera dilución a la placa Petrifilm cuidadosamente.

5. Se procedió a expandir el inóculo y se le deja reposar 1 minuto para solidificar el gel.
6. Se llevó a incubar a $35 \pm 1^\circ \text{C}$. durante 24 horas para favorecer el desarrollo selectivo del microorganismo.
7. Se realiza el recuento de acuerdo con las colonias rojas sin gas.
8. Fórmula

$$\text{UFC} = \frac{\text{Número de colonias} \times \text{factor de dilución}}{\text{cantidad inoculada}}$$

Donde:

N: Número de colonias contadas.

FD: factor de dilución.

V: volumen inoculado.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.5.1. Diseño Experimental

Se establece un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 7 tratamientos: Un testigo (harina de trigo) y seis mezclas de harina de trigo con almidón de papa y la enzima alfa amilasa (T1, T2, T3, T4, T5, T6). Este diseño permitió evaluar las pruebas propuestas por triplicado dando un total de 21 unidades experimentales. A continuación, en la Tabla 10. se detalla lo mencionado.

Tabla 10. Tratamientos y número de repeticiones.

Tratamientos	Descripción	Repeticion
T0	100 % harina de trigo	3
T1	10 % almidón de papa y 75 ppm de enzima α -amilasa	3
T2	20 % almidón de papa y 75 ppm de enzima α -amilasa	3
T3	30 % almidón de papa y 75 ppm de enzima α -amilasa	3
T4	10 % almidón de papa y 150 ppm de enzima α -amilasa	3
T5	20 % almidón de papa y 150 ppm de enzima α -amilasa	3
T6	30 % almidón de papa y 150 ppm de enzima α -amilasa	3

Fase experimental:

- Número de tratamientos: 7
- Número de repeticiones: 3
- Número de unidades experimentales: 21

Para el análisis estadístico se utilizó la herramienta de software RStudio, donde se evaluó los supuestos de normalidad, independencia y homocedasticidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Levene para detectar si los datos cumplen

la normalidad o no. Seguidamente se aplicó para los datos paramétricos, ANOVA que ayuda a determinar si existen diferencias significativas entre las medias cuando los datos siguen una distribución normal y una varianza homogénea. Y para datos no paramétricos, se aplica la prueba de Kruskal Wallis donde compara las medianas cuando no se cumplen los supuestos. Luego se aplicó Tukey HSD después de usar ANOVA, ya que indica las diferencias entre los tratamientos y detecta cual es el mejor, y Dunn se usa después de Kruskal Wallis que compara rangos entre los tratamientos. En general se aplica estas pruebas con el fin de determinar las diferencias específicas entre cada tratamiento que fue sometido a cada análisis fisicoquímico, nutricional, reológico, microbiológico y sensorial con un nivel de confianza del 95 %.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Análisis reológico

En el análisis de varianza (ANOVA) aplicado a los resultados reológicos se presenta en la Tabla 11, donde el Par C3, Par C4, Par C5 muestran un p-valor es menor a 0,05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a). Esto indica que existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos por la influencia de la formulación del pan de masa madre. Mientras que Par C1 y Par C2 muestran un p-valor mayor a 0,05, por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0), indicando que no existe diferencias significativas y que todos los tratamientos son estadísticamente iguales.

Tabla 11. Análisis de varianza ANOVA para los resultados reológicos

	Par C1 (Consistencia Inicial)	Par C2 (Debilitamiento proteico)	Par C3 (Gelatinización del almidón)	Par C4 (Estabilidad)	Par C5 (Retrogradación del almidón)
F-valor	0.326	2.611	18.163	16.878	17.86
p-valor	0.9123	0.0652	0.0058**	1.12x10 ⁻⁰⁵ **	0.0006**

Los resultados de los supuestos aplicado para los resultados reológicos, se presenta en la Tabla 12, donde se muestra que cumplen con la normalidad y homogeneidad de varianzas ($p > 0,05$) las etapas de Par C1, Par C2 y Par C4. Indicando que estos hallazgos evidencian que los datos de las etapas son paramétricos y se procede aplicar una prueba Post hoc-Tukey.

Por otro lado, los etapas de Par C3, Par C5 se reporta que no cumple con la normalidad, ya que su p-valor < 0.05 , sin embargo en la prueba de Levene cumple con la homogeneidad de las varianzas entre los tratamientos, pero por falta del incumplimiento de normalidad, los datos no son paramétricos y se procede aplicar la prueba de Kruskal-Wallis donde el p-valor < 0.05 indicando que hay diferencias significativas entre los tratamientos, seguidamente se aplica una prueba Post hoc-Dun para las etapas Par C3 y Par C5 resultando diferencias significativas entre los tratamientos T0, T3 y T6.

Tabla 12. Verificación de supuestos para los análisis reológicos

Variable	Normalidad (Shapiro-Wilk)		Homogeneidad (Levene)		Post-hoc	No Paramétrico	
	Sí	No	Sí	No		Kruskal Wallis	Post-hoc Dun
Par C1	p = 0.7225		p = 0.6947		Tukey		
Par C2	p = 0.5906		p = 0.9429		Tukey		
Par C3		p = 0.0045	p = 0.4125			p = 0.0058	T0-T3=0.0080 T0-T6=0.0794
Par C4	p = 0.9400		p = 0.9368		Tukey		
Par C5		p = 0.0169	p = 0.5863			p = 0.0006	T0-T3=0.0166 T0-T6=0.0518

Se aplicó la prueba Post hoc – Tukey para los resultados reológicos, se presenta en la Tabla 13. En las etapas Par C1 (Consistencia inicial) y Par C2 (Debilitamiento proteico) se puede identificar que no hay diferencias significativas, por tanto, forman un solo grupo estadísticamente diferenciado (A) en todos los tratamientos. En el Par C4 (Estabilidad del almidón gelatinizado) se puede identificar la formación de seis grupos estadísticamente diferenciados. El grupo (A) está conformado por el tratamiento T3 que presenta mayor estabilidad del almidón gelatinizado, seguido por el grupo (AB y ABC) indicando similitud estadística con el grupo (A), (B) y (C) conformado de los tratamientos T6 y T5 que tienen mayor estabilidad del almidón gelatinizado. El grupo (D) está el tratamiento T0, el cual presenta menor estabilidad del almidón.

Tabla 13. Prueba de Post hoc-Tukey para los parámetros reológicos

Variable	Tratamientos						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Par C1	1,10 ^A	1,11 ^A	1,12 ^A	1,08 ^A	1,12 ^A	1,11 ^A	1,10 ^A
Par C2	0.480 ^A	0.447 ^A	0.455 ^A	0.478 ^A	0.464 ^A	0.471 ^A	0.442 ^A
Par C4	1.43 ^D	1.53 ^{CD}	1.58 ^{BC}	1.70 ^A	1.57 ^{BC}	1.64 ^{ABC}	1.67 ^{AB}

En la Figura 9 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Tukey de la etapa Par C1, donde los valores promedio de los tratamientos T0 al T6 se mantienen relativamente constantes entre los tratamientos, con medias cercanas a 1.0 Nm lo que indica que no existe diferencias significativas.

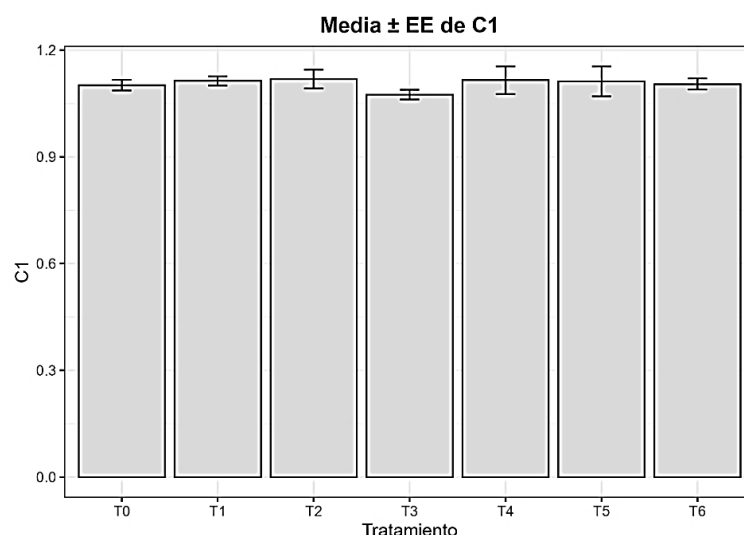


Figura 9. Diagrama de barras de la etapa Par C1 en la prueba de Tukey.

En la Figura 10 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Tukey de la etapa Par C2, donde los valores promedio de los tratamientos T0 al T6 se mantienen relativamente constantes entre los tratamientos, con medias cercanas a 0.5 Nm lo que indica que no existe diferencias significativas en la etapa del debilitamiento de las proteínas en función al trabajo mecánico y a la temperatura.

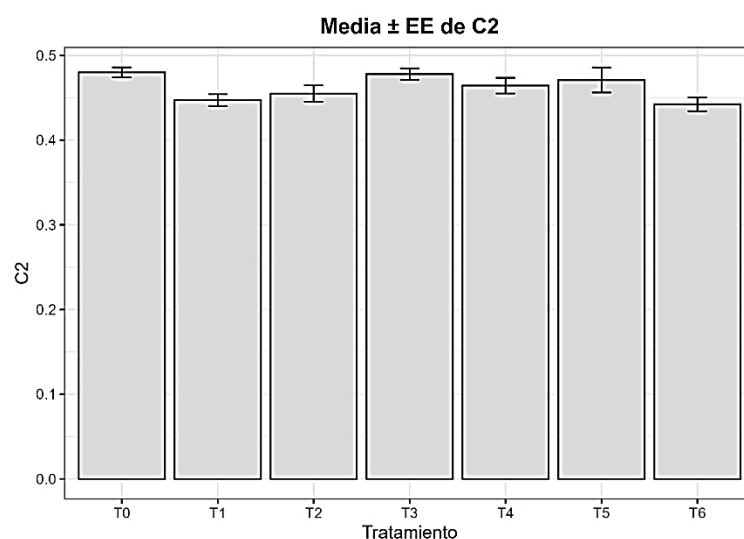


Figura 10. Diagrama de barras de la etapa Par C2 en la prueba de Tukey.

En la Figura 11 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Dun de la etapa Par C3, donde se evidencia una tendencia ascendente desde T0 hasta T3, alcanzando el promedio más alto (1.9 Nm). Posteriormente, los tratamientos T4, T5 Y T6 mostraron una ligera disminución respecto al T3, aunque se mantuvo por encima del T0. El promedio general de todos los tratamientos fue aproximadamente 1,37 Nm,

lo que refleja que, en conjunto los valores tienden a incrementarse respecto al inicial en la etapa de la gelatinización del almidón.

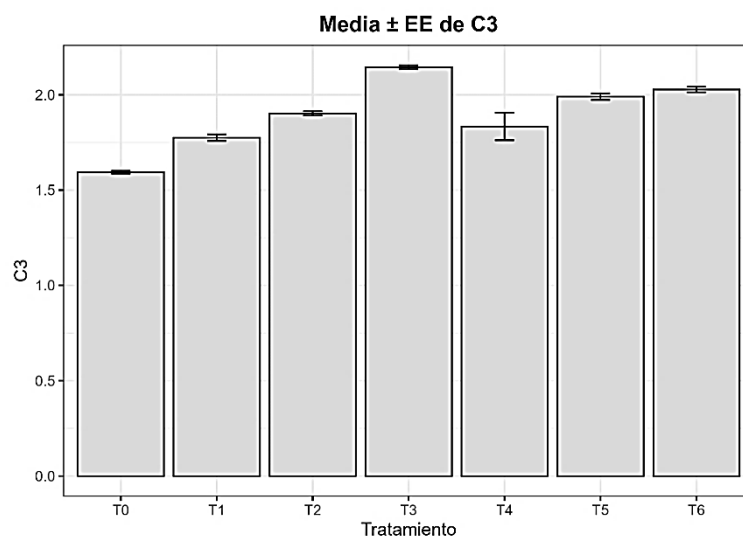


Figura 11. Diagrama de barras de la etapa Par C3 en la prueba de Dun.

En la Figura 12. se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Tukey de la etapa Par C4, donde existe variaciones leves entre los tratamientos. El tratamiento T0 presentó el nivel más bajo, mientras que T3 alcanzó el valor más alto. En general, se observa una tendencia ascendente moderada con un promedio general de todos los tratamientos de 1.0 Nm, lo que refleja que los valores incrementan respecto a la estabilidad del almidón durante el calentamiento.

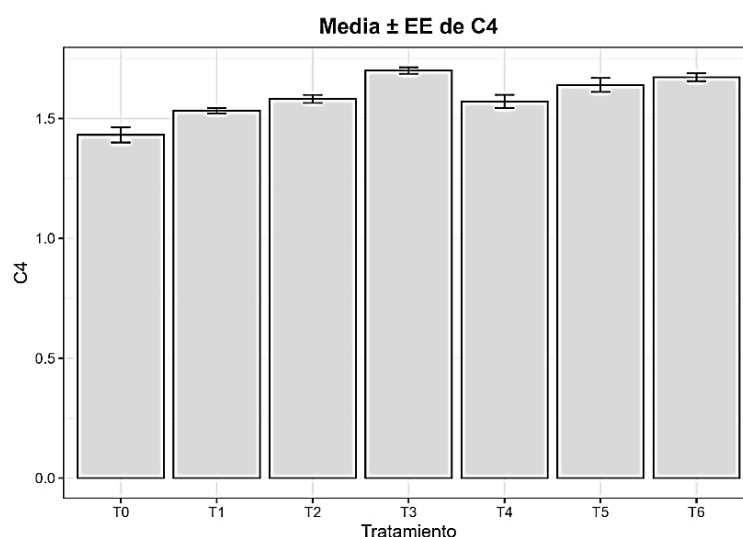


Figura 12. Diagrama de barras de la etapa Par C4 en la prueba de Tukey.

En la Figura 13 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Dun de la etapa Par C5, se muestra variaciones entre los tratamientos, con el tratamiento T0 que registra el valor más bajo y el T3 alcanzando el valor más alto. Se observa una

tendencia ascendente desde T0 hasta el T3, seguida de una ligera disminución en los tratamientos posteriores (T4, T5 y T6), aunque se mantiene por encima del valor inicial evidenciando que hay un incremento de la retrogradación del almidón durante el enfriamiento.

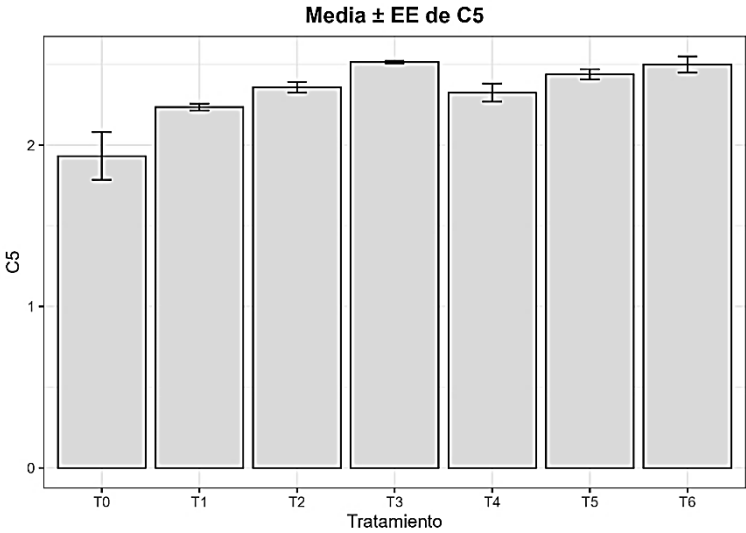


Figura 13. Diagrama de barras de la etapa Par C5 en la prueba de Dun.

4.1.2. Resultados fisicoquímicos

En el análisis de varianza (ANOVA) aplicado a los resultados fisicoquímicos se presenta en la Tabla 14. Indica en las pruebas de humedad y acidez muestran un p-valor es menor a 0.05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a). Esto indica que existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que presenta que la formulación del pan de masa madre influyó de manera directa en estos parámetros.

Tabla 14. Análisis de varianza ANOVA para los resultados fisicoquímicos.		
	Humedad	Acidez
F-valor	17.589	145.78
p-valor	$8.77 \times 10^{-06}***$	$8.43 \times 10^{-12}***$

En el análisis de los supuestos aplicado para los resultados fisicoquímicos, se presenta en la Tabla 15, donde se muestra que cumplen con la normalidad y homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$). Estos hallazgos confirman que los datos para humedad y acidez son paramétricos.

Tabla 15. Verificación de supuestos para los fisicoquímicos.					
Variable	Normalidad (Shapiro-Wilk)		Homogeneidad (Levene)		Paramétrica Post-hoc
	Sí	No	Sí	No	
Humedad	p = 0.7771		p = 0.4650		Tukey
Acidez	p = 0.1214		p = 0.9838		Tukey

Se aplicó la prueba Post hoc – Tukey para los parámetros fisicoquímicos, se presenta en la Tabla 16. Para los resultados de la humedad se puede identificar que todos son altamente significativos formando seis grupos. El tratamiento T0, mostró mayor humedad (34.30 %) y se establece en el grupo A, mientras que el tratamiento T6 presentó menor humedad (28.733 %) y está en el grupo D; los demás tratamientos tienden a tener una disminución progresiva, mostrando que la enzima alfa amilasa y el nivel de sustitución de almidón de papa disminuye directamente en la humedad.

En el análisis de acidez por la prueba de Tukey (Tabla 15), muestra que el tratamiento T0 presenta una mayor acidez (0.68 %), posicionándolo en el grupo A, mientras que el tratamiento T6, mostró una menor acidez (0.393 %) y se establece en el grupo F. Los tratamientos se observan que llevan una disminución progresiva, respecto al aumento de la enzima alfa amilasa y el porcentaje de sustitución de almidón de papa.

Tabla 16. Prueba de Post hoc-Tukey para los fisicoquímicos

Variable	Tratamientos						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Humedad	34.30 ^A	32.667 ^{AB}	32.067 ^B	29.667 ^{CD}	32.933 ^{AB}	31.533 ^{BC}	28.733 ^D
Acidez	0.687 ^A	0.637 ^B	0.58 ^C	0.523 ^D	0.48 ^E	0.453 ^E	0.393 ^F

En la Figura 14 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Tukey del parámetro de la humedad, donde se observa una tendencia decreciente moderada desde T0 hasta T3, seguida de una ligera disminución en los tratamientos posteriores (T4, T5 y T6), aunque manteniéndose por encima del valor inicial.

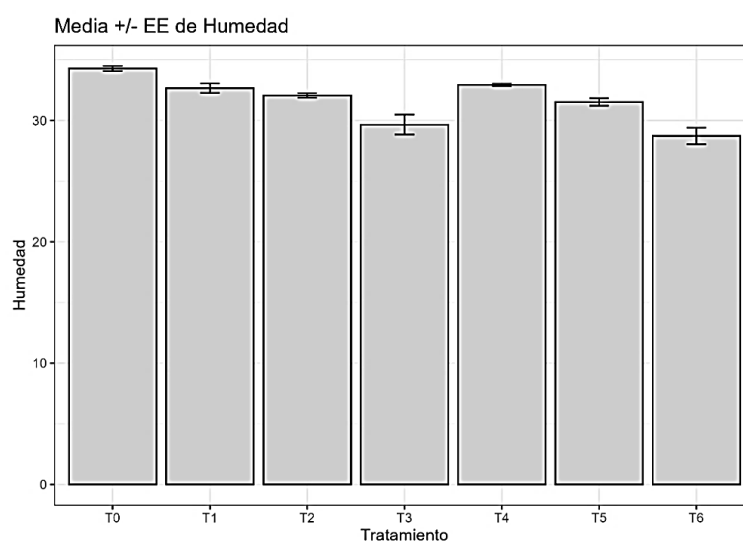


Figura 14. Diagrama de barras de la humedad en la prueba de Tukey.

En la Figura 15 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Tukey del parámetro de la acidez, donde se observa que tiene una tendencia descendente a lo largo de los tratamientos. El tratamiento T0 presento el nivel más alto (0.68), mientras que el T6 registro el valor más bajo (0.39), evidenciando que existe diferencia significativa.

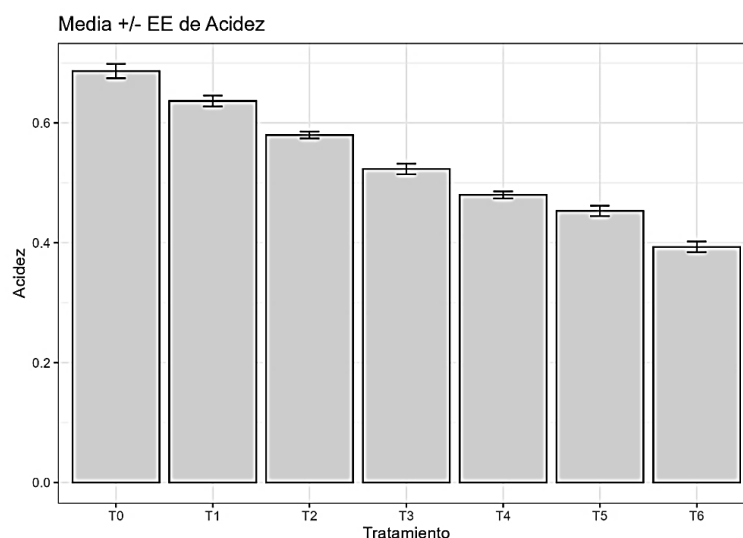


Figura 15. Diagrama de barras de la Acidez en la prueba de Tukey.

El análisis de varianza (ANOVA) para los resultados fisicoquímicos, se presenta en la Tabla 17; se identifica que en los parámetros de proteína, fibra, grasa, gluten y cenizas existen diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a). Dando a conocer que la sustitución de almidón de papa y la aplicación de la enzima α -amilasa influyen directamente en estos parámetros nutricionales.

Tabla 17. Análisis de varianza para los resultados fisicoquímicos.

	Proteína	Fibra	Grasa	Gluten	Cenizas
F-valor	187.8	11.82	17.27	29.02	48.47
p-valor	$1.48 \times 10^{-12} ***$	$8.72 \times 10^{-5} ***$	$9.98 \times 10^{-6} ***$	$3.98 \times 10^{-7} ***$	$1.43 \times 10^{-8} ***$

En la Tabla 18 se puede observar que, en los parámetros de proteína, fibra, gluten y cenizas tienen un p-valor > 0.05 , lo que indica que los datos siguen una distribución normal y se consideran paramétricos. Asimismo, en la prueba de Levene los parámetros nutriciones tienen un p-valor > 0.05 , lo cual se reporta homogeneidad de varianzas entre los tratamientos, por tanto, se procede a aplicar el Post hoc-Tukey.

Por otro lado, el parámetro de grasa se reporta que no cumple con la normalidad ya que su p-valor < 0.05 , por tanto los datos son no paramétricos, y en la prueba de

Levene cumple con la homogeneidad de las varianzas entre los tratamientos, pero por falta del incumplimiento de normalidad, se procede aplicar Kruskal-Wallis donde el p-valor < 0.05 indicando que hay diferencias significativas entre los tratamientos, seguidamente se aplica una prueba Post hoc-Dun indicando que existe diferencias significativas entre los tratamientos T0, T3 y T6.

Tabla 18. Verificación de supuestos para parámetros fisicoquímicos

Variable	Normalidad (Shapiro-Wilk)		Homogeneidad (Levene)		Post-hoc	No Paramétrico	
	Sí	No	Sí	No		Kruskal Wallis	Post-hoc Dun
Proteína	p = 0.7195		p = 0.8699		Tukey		
Fibra	p = 0.1506		p = 0.9667		Tukey		
Grasa		p = 0.005241	p = 0.2776			0.0050	T0-T3: 0.021* T0-T6: 0.026*
Gluten	p = 0.8706		p = 0.9488		Tukey		
Cenizas	p = 0.5389		p = 0.8601		Tukey		

En la Tabla 19 se presenta la prueba Post hoc - Tukey aplicada a los parámetros fisicoquímicos. Para los resultados de la proteína se puede identificar cuatro grupos diferentes estadísticamente. El tratamiento T0, presenta mayor proteína (14.2266 %) y está en el grupo A, mientras que el tratamiento T6, mostró menor proteína (12.4300 %) y es parte del grupo D. Esto se debe a que mientras aumenta la sustitución de la harina de trigo por almidón de papa y la enzima α -amilasa va disminuyendo la proteína.

En fibra, resultó la formación de tres grupos diferentes estadísticamente y se evidencia que el tratamiento T4 y T0 (grupo A) tienen el valor más alto de fibra, ya que contiene menor sustitución de almidón de papa, mientras que los tratamientos T3 y T6 (grupo B) tienen los valores menores de contenido de fibra.

En el gluten, se formó cuatro grupos diferentes estadísticamente, donde el tratamiento T0 tuvo mayor contenido de gluten con 8.600 mg/kg, mientras que el tratamiento T6, mostró menor contenido de gluten con 3.7666 mg/kg (grupo D), dando a conocer que mientras más aumento de sustitución de harina de trigo por almidón de papa, el gluten disminuye. En cuanto a las cenizas, se observaron variaciones entre los tratamientos, con valores entre 2.6933 % (T6) y 2.2566 % (T1), sin una tendencia definida.

Tabla 19. Prueba de Post hoc-Tukey de análisis fisicoquímicos.

Variable	Tratamientos						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Proteína (%)	14.2266 ^A	14.0100 ^{AB}	12.8033 ^C	12.4300 ^D	13.9266 ^B	12.5833 ^{CD}	12.4300 ^D
Fibra (%)	2.6400 ^A	2.4133 ^B	2.4100 ^B	2.3033 ^B	2.6833 ^A	2.5000 ^{AB}	2.3600 ^B

Gluten (mg/kg)	8.6000 ^A	6.4866 ^B	6.3033 ^B	6.0400 ^B	5.2766 ^{BC}	4.3333 ^{CD}	3.7666 ^D
Cenizas (%)	2.3066 ^{CD}	2.2566 ^D	2.4133 ^C	2.5533 ^B	2.3600 ^{CD}	2.6633 ^{AB}	2.6933 ^A

En la Figura 16 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Tukey del parámetro de la proteína, se observó que tiene una tendencia descendente desde T0 hasta T3, seguida de un ligero aumento en el tratamiento T4, pero continúa teniendo el mismo sentido descendente en los tratamientos posteriores (T5 y T6).

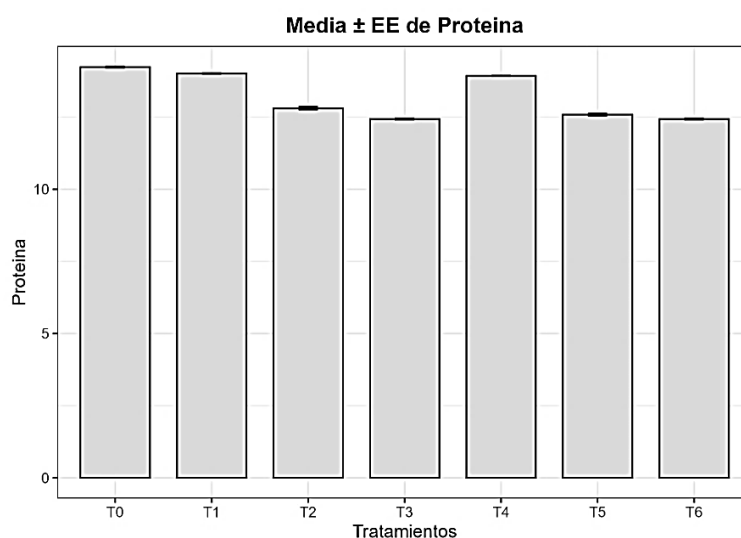


Figura 16. Diagrama de barras de la Proteína en la prueba de Tukey.

En la Figura 17 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Tukey del parámetro de la fibra, se observó que los valores altos registran en el tratamiento T0 y T4, mientras que los valores mínimos se observan en T3 y T6. Se puede interpretar que tiene una tendencia ligeramente descendente desde T0 hasta T3, seguida de un ligero aumento en el tratamiento T4, pero continúa teniendo el mismo sentido descendente en los tratamientos posteriores (T5 y T6).

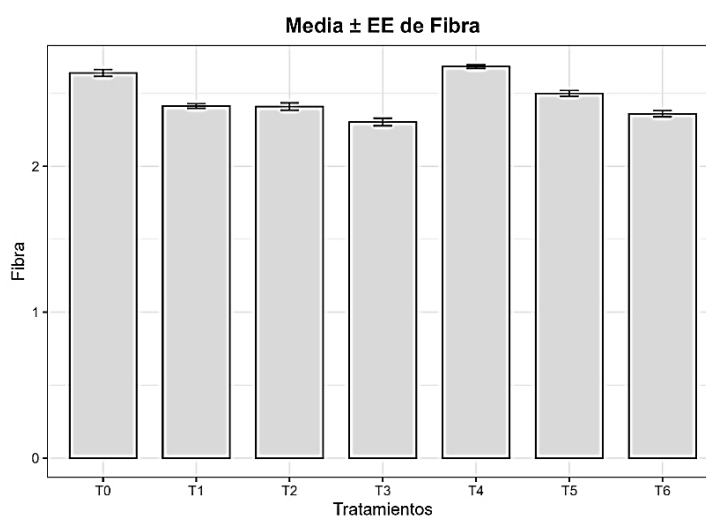


Figura 17. Diagrama de barras de la Fibra en la prueba de Tukey.

En la Figura 18 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Dun del parámetro de fibra, se observa que tiene una tendencia descendente, donde el tratamiento T0 alcanza el valor más alto, cercano a 1.0 %, mientras que el tratamiento T3 presenta el valor más bajo, con un valor alrededor de 0.3. Los demás tratamientos (T1, T2, T4, T5 y T6) se ubican en valores intermedios.

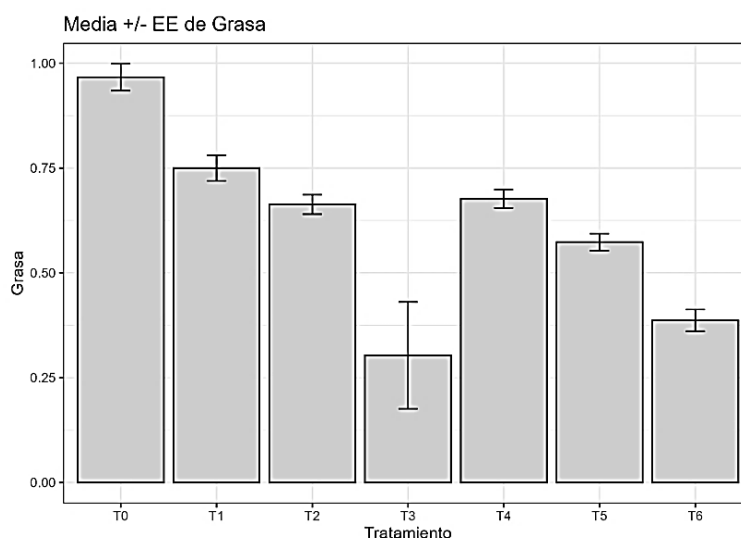


Figura 18. Diagrama de barras de la Grasa en la prueba de Dun.

En la Figura 19 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Tukey del parámetro de Gluten, se observa una tendencia decreciente, donde el valor más alto corresponde al tratamiento T0 (8.600 mg/kg), mientras que el valor más bajo le corresponde al tratamiento T6 (3.76 mg/kg). Los demás tratamientos disminuyen progresivamente a medida que se realiza la sustitución por almidón de papa y la enzima alfa-amilasa.

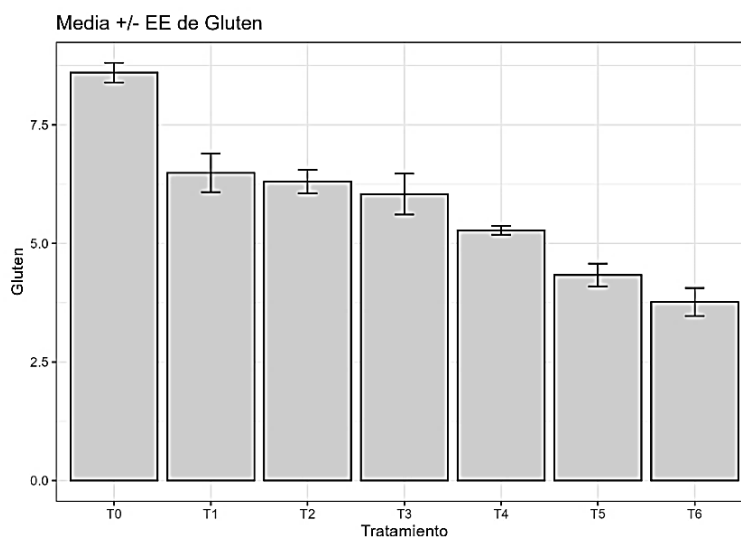


Figura 19. Diagrama de barras de la Gluten en la prueba de Tukey.

En la Figura 20 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Tukey del parámetro de Cenizas, se observa que hay una tendencia relativamente ascendente entre los tratamientos, con variaciones pequeñas. Donde el tratamiento T2 tiene el valor más alto, mientras que el T6 tiene el valor más bajo, y los demás tratamientos se ubican en un rango intermedio con diferencias mínimas.

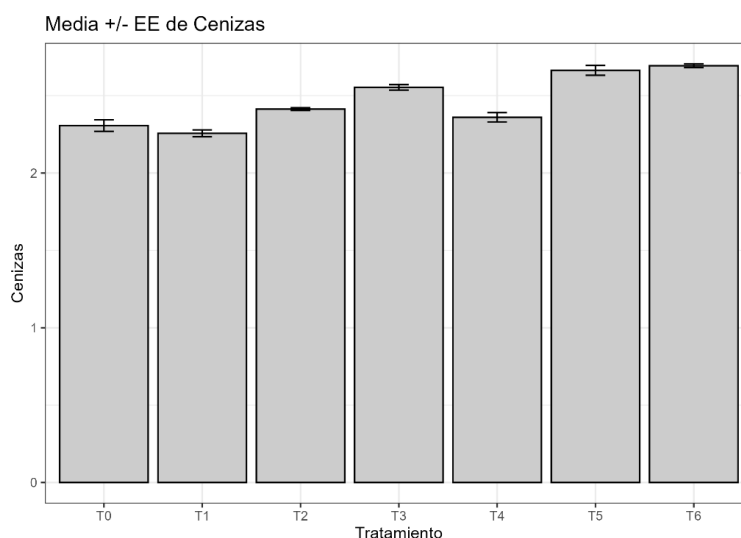


Figura 20. Diagrama de barras de la Cenizas en la prueba de Tukey.

4.1.3. Análisis de textura

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para los resultados de textura que se presenta en la Tabla 20; Donde todos los p-valor tanto de dureza, masticabilidad y fracturabilidad son menores a 0.05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a). Esto evidencia que existen diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual sugiere que el almidón de papa y la enzima α -amilasa influyen directamente en estas propiedades del pan de masa madre.

Tabla 20. Análisis de varianza para los resultados texturales.

	Dureza	Masticabilidad	Fracturabilidad
F-valor	108.7	14.68	91.51
p-valor	$6.28 \times 10^{-11}***$	$2.54 \times 10^{-5*}$	$2.02 \times 10^{-10*}$

La comprobación de los supuestos se muestra en la Tabla 21. La prueba de Shapiro-Wilk mostró que los parámetros de dureza, masticabilidad y fracturabilidad tienen un p-valor inferior a 0.05, indicando que los datos no siguen una distribución normal. Mientras que, en la prueba de Levene se reportó para todos los parámetros nutricionales un p-valor mayor a 0.05 por lo que existe homogeneidad en las varianzas entre los tratamientos. Por tanto, se procede a aplicar Kruskal-Wallis por la falta de

normalidad; En esta prueba el p-valor <0.05 indicando que hay diferencias significativas entre los tratamientos, seguidamente se aplica una prueba Post hoc-Dun.

En la prueba de Post hoc-Dun y se puede evidenciar que en la dureza hay diferencias significativas en los tratamientos T0, T5 y T6. En la Masticabilidad de igual manera hay diferencias significativas en los tratamientos T0, T2 y T6. Finalmente, en la fracturabilidad hay diferencias significativas entre el tratamiento T0 y T1. Por tanto, mientras más se agrega almidón de papa y la enzima alfa amilasa, se comprende que influye directamente en estas propiedades.

Tabla 21. Verificación de supuestos para los texturales

Variable	Normalidad (Shapiro-Wilk)		Homogeneidad (Levene)		Post - hoc	No Paramétrico	
	Sí	No	Sí	No		Kruskal Wallis	Post-hoc Dun
Dureza		p = 0.00124		p = 0.3752		0.004509	T0-T5: 0.0230* T0-T6: 0.0230*
Masticabilidad		p = 7.413 x 10 ⁻⁶		p = 0.1305		0.003747	T0-T6: 0.0137* T0-T5: 0.0198*
Fracturabilidad		p = 0.0001226		p = 0.2335		0.005213	T0-T1: 0.00834**

En la Figura 21 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Dun del parámetro de Dureza, donde el valor más alto corresponde a T5 y T6, mientras que el T0 y T1 presentaron menor valor. Esto indica que la formulación con mayor sustitución altero las condiciones de dureza en el pan de masa madre.

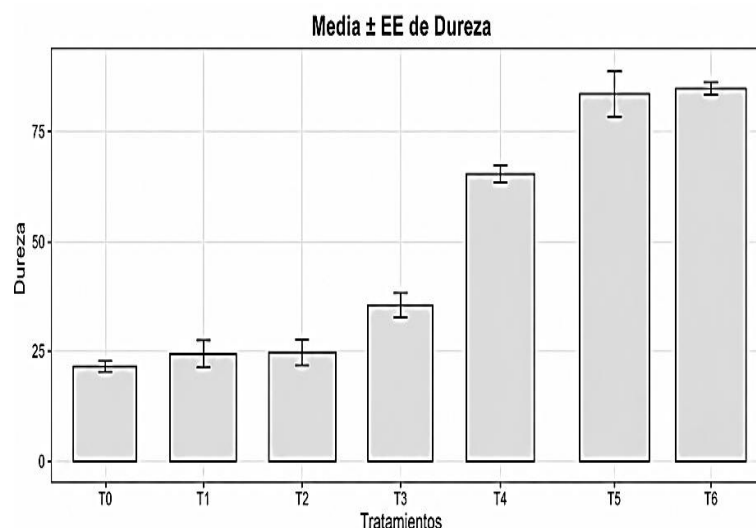


Figura 21. Diagrama de barras de la Dureza en la prueba de Dun

En la Figura 22 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Dun del parámetro de Masticabilidad, donde se observa que el tratamiento T0 tiene el valor

más bajo, cercano a 0.10 mJ. Mientras que el tratamiento T6 tiene el valor más alto, cercano a 0.56 mJ. Indicando una tendencia ascendente por el aumento de la sustitución de almidón de papa y la enzima alfa amilasa con una consistencia más dura por tanto mayor incremento en la masticabilidad.

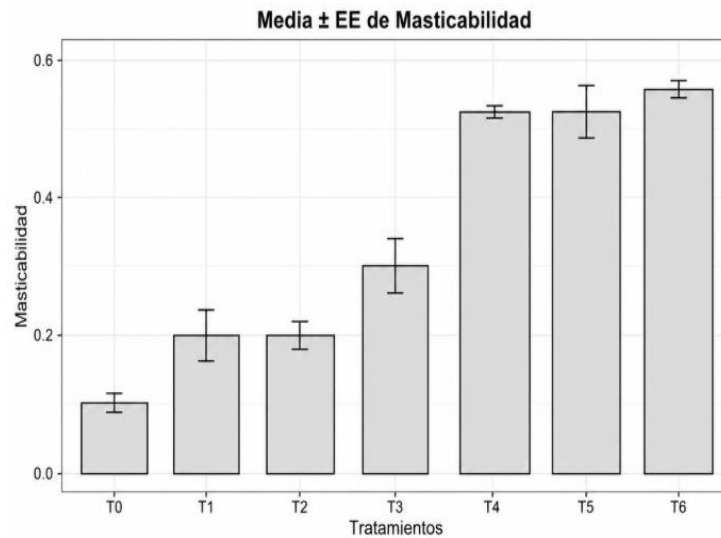


Figura 22. Diagrama de barras de la Masticabilidad en la prueba de Dun

En la Figura 23 se muestra el diagrama de barras de acuerdo con la prueba Dun del parámetro de Fracturabilidad, evidencia que el tratamiento T0 presenta el valor más alto, alrededor de 78 g, seguido por T2 (68 g), lo que indica que en estas formulaciones el pan posee una estructura más rígida y resistente a la ruptura. En contraste, los tratamientos restantes (T1, T3, T4, T5 y T6) muestran valores considerablemente menores (20 y 35 g), reflejando una textura más fácil de fracturar, lo que sugiere que las modificaciones aplicadas reducen progresivamente la resistencia mecánica del pan de masa madre.

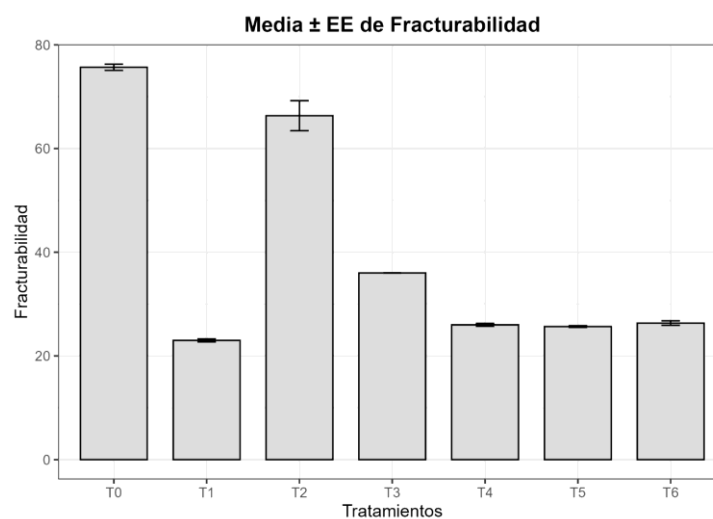


Figura 23. Diagrama de barras de la Dureza en la prueba de Dun

4.1.4. Resultados microbiológicos

En la Tabla 22 se muestran los resultados microbiológicos obtenidos de cada muestra de pan de masa madre. Todos los tratamientos, cumplen con los estándares de la norma NTC 1363 y NTE INEN 616:2015, mostrando así la inocuidad del producto final.

Tabla 22. Resultados microbiológicos

Requisitos	Resultado							Recuento		Norma
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Unidad	Máximo	
Aerobios mesófilos	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	UFC/g	Ausencia	NTC 1363 y
Mohos y levaduras	1x10 ¹	1x10 ¹	<10	<10	1x10 ¹	<10	<10	UFC/g	10 ³	NTE INEN
Escherichia coli	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	UFC/g	Ausencia	616:2015

4.1.5. Resultados de la evaluación sensorial

Se realizó un análisis descriptivo de la evaluación sensorial, se examinaron atributos clave como color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general. Este estudio permitió determinar las variaciones en la percepción de los panelistas frente a los distintos tratamientos, facilitando la identificación de las muestras con mayor grado de aceptación.

- Color

En Tabla 23, muestra la distribución porcentual del atributo del color. Los resultados indican que el tratamiento T6 destacó con la mayor proporción de respuestas en las categorías de aceptación más altas, con un 38.3 % en la categoría 5 y 28.3 % en la categoría 6, seguido de T0, T4 y T5. Mientras que, los tratamientos T1, T2 y T3 tienen porcentajes altos en las categorías intermedias, lo que evidencia una percepción visual menos favorable.

Tabla 23. Distribución porcentual del atributo del color

Puntaje	T0 (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)	T5 (%)	T6 (%)
1	0.0	3.3	5.0	3.3	1.7	3.3	0.0
2	0.0	3.3	8.3	8.3	6.7	10.0	6.7
3	0.0	15.0	15.0	15.0	13.3	10.0	3.3
4	26.7	26.7	23.3	23.3	25.0	25.0	18.3
5	36.7	33.3	33.3	31.7	23.3	31.7	38.3
6	25.0	16.7	15.0	16.7	20.0	13.3	28.3
7	11.7	1.7	0.0	1.7	10.0	6.7	5.0
Total	73.4	51.7	48.3	50.1	53.3	51.7	71.6

- Olor

En la Tabla 24, el atributo del olor muestra que, el tratamiento T0 registró los porcentajes más elevados en las categorías 5 y 6, Seguidamente están los tratamientos T6 y T4 alcanzando niveles similares en la preferencia en este aspecto. Mientras que el T1, presenta niveles altos en las categorías bajas e intermedias lo que refleja una valoración menos favorable.

Tabla 24. Distribución porcentual del atributo del olor

Puntaje	T0 (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)	T5 (%)	T6 (%)
1	0.0	1.7	0.0	0.0	1.7	1.7	1.7
2	1.7	5.0	5.0	6.7	8.3	5.0	5.0
3	1.7	18.3	13.3	21.7	5.0	11.7	8.3
4	23.3	28.3	31.7	25.0	20.0	28.3	23.3
5	35.0	36.7	26.7	25.0	33.3	26.7	28.3
6	33.3	8.3	21.7	18.3	25.0	21.7	30.0
7	5.0	1.7	1.7	3.3	6.7	5.0	3.3
Total	73.3	46.7	50.1	46.6	65	53.6	61.6

- Sabor

En la Tabla 25, se muestra la distribución porcentual del atributo del sabor, mostró que existe diferencia entre los tratamientos, por lo que el tratamiento T4 y T6 evidenciaron una clara superioridad sensorial, en la categoría 5 y 6. Por el contrario, el tratamiento T1 mostro una menor concentración en las categorías 1 y 3, dando a conocer una menor aceptación del sabor.

Tabla 25. Distribución porcentual del atributo del sabor

Puntaje	T0 (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)	T5 (%)	T6 (%)
1	0.0	6.7	6.7	3.3	3.3	1.7	3.3
2	6.7	16.7	8.3	6.7	6.7	11.7	8.3
3	11.7	25.0	21.7	25.0	13.3	21.7	8.3
4	21.7	25.0	21.7	28.3	23.3	13.3	21.7
5	28.3	21.7	25.0	23.3	30.0	28.3	33.3
6	25.0	5.0	15.0	11.7	16.7	18.3	21.7
7	6.7	0.0	1.7	1.7	6.7	5.0	3.3
Total	60	26.7	41.7	36.7	53.4	51.4	58.3

- Textura

En la Tabla 26, se muestra la distribución porcentual del atributo de textura, donde indica que, el tratamiento T6 sobresalió con el mayor porcentaje de aceptación, concentrado el 43.3 % de sus menciones en la categoría superior 5, seguido de los tratamientos T4 y T5. Por el contrario, los que tuvieron una menor aceptación fueron los tratamientos T1 y T2.

Tabla 26. Distribución porcentual del atributo de textura

Puntaje	T0 (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)	T5 (%)	T6 (%)
1	1.7	8.3	8.3	5.0	1.7	1.7	0.0
2	11.7	16.7	13.3	15.0	11.7	10.0	8.3
3	16.7	28.3	20.0	15.0	11.7	13.3	11.7
4	23.3	23.3	30.0	31.7	25.0	25.0	20.0
5	28.3	23.3	16.7	21.7	25.0	26.7	43.3
6	16.7	0.0	10.0	8.3	16.7	18.3	16.7
7	1.7	0.0	1.7	3.3	8.3	5.0	0.0
Total	46.7	23.3	28.4	33.3	50	50	60

- Aceptabilidad

En el análisis de aceptabilidad (Tabla 27), se evidencia que el tratamiento T6 obtuvo mayor valoración de 36.7 % en la categoría 5 reflejando una preferencia destaca por parte de los evaluadores. De manera similar, los tratamientos T4 y T0 alcanzaron niveles de aceptación favorables. Por el contrario, el tratamiento T1 concentró respuestas inferiores, lo que pone en último lugar la aceptación global frente al resto de las formulaciones.

Tabla 27. Distribución porcentual de aceptabilidad

Puntaje	T0 (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T4 (%)	T5 (%)	T6 (%)
1	0.0	3.3	1.7	3.3	1.7	1.7	1.7
2	5.0	8.3	8.3	10.0	5.0	1.7	1.7
3	10.0	26.7	23.3	13.3	10.0	18.3	10.0
4	31.7	36.7	33.3	31.7	23.3	26.7	25.0
5	18.3	20.0	20.0	28.3	33.3	25.0	36.7
6	30.0	5.0	13.3	13.3	20.0	21.7	25.0
7	5.0	0.0	0.0	0.0	6.7	5.0	0.0
Total	53.3	25	33.3	41.6	60	51.7	61.7

- Análisis Inferencial

A través de la prueba de Friedman (Tabla 28), se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en los atributos de color ($p=0.0306$), olor ($p=0.0010$), sabor ($p < 0.001$), textura ($p=0.068$) y aceptación ($p<0.001$). En contraste, el parámetro de aceptación global no mostró variaciones significativas ($p = 0.2302$), lo que indica que, pese a las diferencias sensoriales específicas, la percepción general del producto se mantuvo estable entre los tratamientos.

Tabla 28. Prueba de Friedman para los atributos

Atributo	X ²	gl	p-valor	Kendall's W	Magnitud
Color	8.90	3	0.030	0.049	Pequeño
Olor	16.25	3	0.001	0.090	Pequeño
Sabor	54.35	3	<0.001	0.302	Moderado
Textura	12.16	3	0.006	0.067	Pequeño
Aceptación	41.19	3	<0.001	0.229	Pequeño

- Comparaciones múltiples

En la tabla 29, se muestra las comparaciones post hoc mediante la prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras pareadas, con ajuste de Holm, evidenciaron diferencias significativas, principalmente asociadas al tratamiento T1. En el atributo color, el tratamiento T0 difirió significativamente de T1 ($p=0.015$), T2 ($p<0.001$), T3 ($p=0.001$) y T5 ($p=0.010$), mientras que no se observan diferencias frente a T4 y T6. Para el olor, se identificaron diferencias significativas entre T0 y T1 ($p=0.005$), así como entre T0 y T3 ($p=0.046$). En cuanto al sabor, el tratamiento T1 presentó diferencias significativas respecto a T0 ($p<0.001$), T4 ($p<0.001$) y T5 ($p=0.031$), lo que evidencia una menor aceptación relativa en este atributo. De manera similar, en la textura se observaron diferencias entre T0 y T1 ($p=0.023$), entre T1 y T4 ($p=0.003$) y entre T1 y T5 ($p=0.002$). Finalmente, en aceptabilidad general se detectaron diferencias significativas entre T0 y T1 ($p=0.005$), así como entre T1 y T4 ($p<0.001$) y entre T1 y T5 ($p=0.002$).

Tabla 29. Prueba de rangos

Atributo	Comparación	P ajustado	Significancia
Color	T0 vs T1	0.015	*
Color	T0 vs T2	<0.001	***
Color	T0 vs T3	0.001	**
Color	T0 vs T5	0.010	**
Olor	T0 vs T1	0.005	**
Olor	T0 vs T3	0.046	*
Sabor	T0 vs T1	<0.001	***
Sabor	T1 vs T4	<0.001	***
Sabor	T1 vs T5	0.031	*
Textura	T0 vs T1	0.023	*
Textura	T1 vs T4	0.003	**
Textura	T1 vs T5	0.002	**
Aceptabilidad	T0 vs T1	0.005	**
Aceptabilidad	T1 vs T4	<0.001	***
Aceptabilidad	T1 vs T5	0.002	*

Los resultados evidencian que los tratamientos T4, T5, y T6 obtuvieron una valoración sensorial más positiva, destacando en atributos como sabor, textura y aceptación general. En contraste, el tratamiento T1 registro de manera consistente puntuaciones más bajas y diferencias estadísticamente significativas frente a varios de los demás tratamientos.

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Análisis reológico

- Par C1

En el Par C1, el cual es la relación de la consistencia inicial y la fuerza de la masa a una temperatura controlada (30° C), se evaluó los resultados obtenidos mediante la prueba de Análisis de Varianza ANOVA ($F=0.326$; $p=0.912$), donde indicó que no existe diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Seguidamente, se aplica la prueba Post hoc-Tukey, mostrando una tendencia estable con respecto al aumento de la sustitución, donde los valores obtenidos fueron: $T_0=1.10$ Nm, $T_1=1.11$ Nm; $T_2=1.12$ Nm; $T_3=1.08$ Nm; $T_4=1.12$ Nm; $T_5=1.11$ Nm; $T_6=1.10$ Nm mostrando una similitud entre los tratamientos estadísticamente. Por lo que, la influencia del almidón de papa (10, 20 y 30 %) y la enzima alfa amilasa (75 y 150 ppm), no afectan de manera relevante en consistencia inicial y la fuerza de la masa.

De acuerdo con lo reportado por (Bojnanska, Musilova, & Vollmannova, 2021), señaló que las masas con harinas de leguminosas (garbanzo, haba, lenteja roja y judía común) no altero significativamente la consistencia inicial (Par C1), ya que todos los tratamientos se mantienen con un valor de 1.10 Nm por el dominó del gluten, ya que la sustitución (5, 10, 15 %) no fue mayor al componente mayoritario que es la harina de trigo. Se considera que el gluten es el responsable de la red viscoelástica inicial por tanto esta etapa no se ve afectada significativamente.

El estudio del pan de vapor con sustitución parcial de harina de trigo por harina de papa, por (Liu, Tai-hua, & Hong-nan, 2016) reporta que el Par C1 (consistencia inicial) no se vio comprometida porque contiene mayor contenido de harina de trigo, la cual tiene capacidad de formar gluten, permitiendo una hidratación ordenada y un tiempo de amasado optimo (2.87 ± 0.02 min) por lo que, al incorporar la harina de papa rica en almidón y fibra, no afecta significativamente en esta etapa.

Pulloquina (2011), estudió la sustitucion paricial de la harina de papa con la adición de la enzima α -amilasa en el pan, donde reportó que el desarrollo de la masa (Par C1) se mantuvo estable en todos sus tratamientos, ya que las masas tienen una mayor harina de trigo y por tanto poseen la capacidad de absorcion de agua durante el amasado. Mientras que la harina de papa compite por el agua disponible, lo que puede modificar ligeramente la absorción de agua de la mezcla. Sin embargo,

debido a que el equipo ajusta la cantidad de agua para alcanzar una consistencia estándar de aproximadamente 1.1 Nm, las diferencias en C1 suelen ser pequeñas.

- Par C2

En el Par C2, representa el debilitamiento proteico de la masa bajo condiciones de amasado y aumento de temperatura (50° C). Se comprende que si se presentan valores más altos indican mayor estabilidad térmica de las proteínas del gluten, por tanto, los valores obtenidos son: T0=0.480 Nm; T1=0.447 Nm; T2=0.455 Nm; T3=0.478 Nm; T4=0.464 Nm; T5=0.471 Nm; T6=0.442 Nm, mostrando que no existe diferencia significativa entre tratamientos. Por lo que, la sustitución parcial con almidón de papa y la acción de la enzima alfa-amilasa no ejercieron un efecto significativo sobre el debilitamiento proteico. Se debe a que el almidón de papa está constituido por amilosa y amilopectina y carece de proteínas formadoras de gluten, por lo que su participación en esta etapa C2, es indirecta. Además, los granulos del almidón de papa permanecen relativamente intactos a temperaturas a 50 °C, ya que su gelatinización ocurre a temperaturas más elevadas. Por otro lado, la enzima α -amilasa actúa sobre los enlaces $\alpha(1-4)$ del almidón, generando dextrinas y azúcares de menor peso molecular. Debido a que su sustrato es el almidón y no las proteínas de gluten, su efecto es limitado (Xu, Liu, Zhang, Hu, & Zhang, 2020). Además, Rosell et al. (2007) reportó que al evaluar harinas integrales con hidrocoloides, observó valores del C2 entre 0.440 y 0.470 Nm, sin diferencias significativas entre los tratamientos, concluyendo que la red proteica mantiene su resistencia frente al calor en condiciones controladas. En otro estudio (Liu, Tai-hua, & Hong-nan, 2016).reportó que al aumentar el contenido de harina de papa 10 al 35%, en la etapa del Par C2 se vio relativamente estable con valores 0.44 ± 0.01 a 0.42 ± 0.015 , sin diferencias significativas concluyendo que no afecta en el parámetro del debilitamiento proteico.

- Par C3

El Par C3, representa el grado de gelatinización del almidón y refleja la viscosidad máxima alcanzada durante el calentamiento de la masa. En esta etapa, presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos según la prueba Análisis de varianza-ANOVA ($F=18.163$; $p=0.0058^{**}$), indica que el almidón de papa y la enzima alfa amilasa modificaron la etapa del Par C3. Se aplicó la prueba Kruskal-Wallis ($p=0.0058$) para saber diferencias significativas en los datos No paramétricos. Seguidamente se aplicó la prueba Post-hoc Dun que resultó diferencias entre T0-

T3=0.0080 y T0-T6=0.0794, además los valores medios obtenidos fueron: T0=1.59 Nm; T1=1.78 Nm; T2=1.90 Nm; T3=2.14 Nm; T4=1.83 Nm; T5=1.99 Nm; T6=2.03 Nm mostraron una tendencia ascendente, indicando que la sustitución parcial con almidón de papa y la acción de la enzima alfa-amilasa influyeron de manera relevante la capacidad del almidón para absorber agua y formar geles bajo condiciones controladas.

De acuerdo con (Vazquez, y otros, 2017) menciona que el aumento leve de la viscosidad se debe al almidón de papa, el cual tiene la capacidad de absorber agua, hincharse y liberar moléculas de amilosa al medio, forma una estructura más viscosa a comparación con la harina de trigo. Además, la acción hidrolítica de la enzima α -amilasa sobre los gránulos del almidón, hidrolizó parcialmente las cadenas del almidón, limitando el aumento excesivo de la viscosidad de la masa.

De acuerdo con (Xu, Liu, Zhang, Hu, & Zhang, 2020) sobre sistemas de compuestos de almidón de papa y harina de trigo, los valores de Par C3 aumentaron progresivamente a medida que incremento la sustitución del almidón de papa (20 al 60 %), donde el tratamiento con 20 % de sustitución de almidón de papa tuvo un valor bajo de 1.14 Nm, mientras que el tratamiento con el 60 % de sustitución de almidón de papa tuvo un valor más alto de 2.57 Nm, lo que se debe que el almidón de papa desempeña un papel dominante en la viscosidad de la masa debido a su elevada capacidad de absorción de agua, hinchamiento y gelatinización durante el calentamiento.

- Par C4

El Par C4, refleja la estabilidad térmica del almidón y la resistencia frente a la acción enzimática (90 °C). En esta etapa, presentó diferencias significativas según la prueba Análisis de varianza-ANOVA ($F=16.878$; $p=1.12 \times 10^{-05**}$), indica que el almidón de papa y la enzima alfa amilasa influyeron en la etapa del Par C4. Se aplicó la prueba Post-hoc Tukey, mostrando una tendencia ascendente, donde el tratamiento T0 tiene el valor más bajo de 1.43 Nm, con incrementos progresivos a los tratamientos con valores más altos como el T3 y T6 (1.70 Nm; 1.67 Nm) los cuales presentaron mayor estabilidad del gel caliente.

Este comportamiento se debe a las propiedades funcionales del almidón de papa, cuyos gránulos presentan alta capacidad de hinchamiento, gelatinización y absorción de agua que favorecen a pastas más viscosas y estables frente al

calentamiento, aun en presencia de la actividad enzimática (alfa-amilasa) que favorece la degradación parcial del almidón gelatinizado (Codina, Dabija, & Oroian, 2019). Estos resultados sugieren que la sustitución aplicada en cada tratamiento favoreció un incremento progresivo para mantener la estabilidad térmica del almidón frente al calentamiento.

De acuerdo con Xing-li et al. (2019), menciona que la capacidad gelificante del trigo es más alta a la harina de papa, sin embargo, se mantuvo la estabilidad. En su estudio, realizaron una sustitución parcial de almidón de papa del 20 al 60 %, donde se mostraron diferencias significativas en la etapa del Par C4, teniendo un incremento progresivo desde 0.92 Nm a 1.78 Nm, indicando una mayor resistencia de la pasta frente a la ruptura térmica durante el calentamiento.

- Par C5

En el Par C5 representa la resistencia a la retrogradación del almidón durante el enfriamiento. En esta etapa, mediante la prueba de Análisis de varianza (ANOVA) resultó que existe diferencias significativas entre los tratamientos ($F=17.86$; $p=0.0006$) indicado que el almidón de papa y la enzima alfa amilasa influyeron en la etapa del Par C5. Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis ($p=0.0066$) para saber diferencias significativas en los datos No paramétricos. Seguidamente se aplicó la prueba Post hoc-Dun donde existe diferencias en el $T0-T3=0.0166$ y $T0-T6=0.0518$, además los valores medios obtenidos fueron: $T0=1.93\text{Nm}$; $T1=2.24\text{Nm}$; $T2=2.36\text{Nm}$; $T3=2.51\text{Nm}$; $T4=2.32\text{Nm}$; $T5=2.44\text{Nm}$; $T6=2.50\text{Nm}$ mostraron una baja variabilidad, pero con una tendencia ascendente.

Por otra parte, el aumento de la etapa del Par C5 en los tratamientos con mayor sustitución de almidón de papa, se debe a que el almidón de papa tiene capacidad de reorganizar molecularmente después de la gelatinización, favoreciendo el fenómeno de la retrogradación y endurecimiento de la miga durante el almacenamiento. Las cadenas lineales de amilosa tienden a reorganizarse y formar puentes de hidrogeno intermoleculares, generando una viscosidad final en la masa. Posteriormente, las cadenas ramificadas de amilopectina también se reasocian molecularmente, reforzando una estructura. Aunque, la α -amilasa hidroliza parcialmente las cadenas de almidón y puede disminuir la tendencia a la retrogradación, su efecto fue leve para contrarrestar la reorganización molecular promovida por el almidón de papa (Sandoval et al. 2012). Además, cuando el valor

del Par C5 indica un valor alto es porque ocurre una reorganización más lenta (T6), por lo que el pan mantiene una suavidad y frescura por más tiempo, mientras un C5 bajo refleja que el almidón retrograda rápidamente (T1), y el pan se endurece antes.

De acuerdo con (Bojňanska, Musilová, & Vollmannova, 2021) reportó que la en la composición de panes con sustitución de leguminosas tuvieron diferencias significativas donde el tratamiento con harina de trigo 50 %, harina de centeno 35 %, harina de frejol 15 % tuvo un torque 2.8-3.0 Nm, lo que significa una alta resistencia a la retrogradación del almidón, lo que traduce a una mayor estabilidad del pan frente al envejecimiento. Mientras que el tratamiento que tuvo una menor resistencia a la retrogradación fue con harina de trigo 50 %, harina de centeno 35 % y lenteja roja 15 % con valores de 1.5 Nm, lo que indica que el pan se endurece más rápido.

4.2.2. Análisis fisicoquímico del pan de masa madre

- Humedad

En la característica fisicoquímica de la humedad, los resultados obtenidos mediante la prueba de Análisis de Varianza ANOVA ($F=17.589$; $p=8.77 \times 10^{-06}$) indicó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Por tanto, se aplica la prueba Post hoc-Tukey, mostrando una tendencia decreciente donde el tratamiento T0 mostró un valor más alto (34.30 %) y el tratamiento T6 tiene el valor más bajo (28.733 %). Esto puede atribuirse que el T6 tiene la mayor sustitución de almidón de papa y la acción de la enzima α -amilasa que favorecen a la retención de agua, elevación de la absorción de agua y menor humedad durante el almacenamiento.

Este resultado concuerda con lo reportado por Yahia (2025), quien señala los panes de masa madre con sustitución del 30 % de harina de cebada integral retuvo menor humedad 31.15 %, mientras que el pan de control presentó un nivel mayor de humedad 38.83 %. Por tanto, la incorporación de harinas y almidones de papa incrementa la capacidad de retención de agua, producto de ello, las bacterias ácido-lácticas mediante la fermentación retrasan el endurecimiento y prolonga la vida útil del pan.

De acuerdo con (Whitney & Simsek, 2020) en su estudio de harina de patata como ingrediente funcional en el pan, con una sustitución progresiva del 5 al 15 %. Donde el contenido de humedad de las mezclas de la harina varió de 8.9 % a 12.9 % significativamente. El tratamiento de harina de patata al 100 % tuvo el menor

contenido de humedad, mientras que la mezcla de harina de patata y trigo al 5 % tuvo mayor contenido de humedad.

Esto se debe a que los panes de masa madre con harina de trigo tienen presencia de las proteínas formadoras del gluten (gliadinas y gluteninas), las cuales funcionan como una red tridimensional capaz de atrapar agua y mantener estable en la masa durante la gelatinización y horneado. Por lo contrario, el almidón de papa al carecer de estas proteínas no logra retener agua con la misma eficacia, aunque las cadenas de amilosa y amilopectina absorban agua inicialmente, la liberan durante el horneado del pan.

- Acidez

En cuanto la acidez, los resultados obtenidos mediante la prueba de Análisis de Varianza ANOVA ($F=145.78$; $p=8.43 \times 10^{-12}$) indicó diferencias significativas entre los tratamientos, por tanto, en la prueba Post hoc-Tukey, mostró una tendencia decreciente, donde el tratamiento T0 presento mayor acidez (0.687 %), mientras que el tratamiento T6 registro el valor más bajo (0.393 %).

Este comportamiento deduce que la sustitución parcial con almidón de papa y la adición de la enzima α -amilasa no favorecieron a la actividad fermentativa con la producción de ácidos orgánicos de la masa madre. Es decir, que el T0 con harina de trigo aporta proteínas y azúcares fermentables que favorecen a la actividad de las bacterias lácticas y levaduras, incrementando la producción de ácidos orgánicos. En contraste, el tratamiento con mayor sustitución de almidón de papa y α -amilasa mostro una menor acidez porque estos carecen de nutrientes esenciales para la fermentación. Además, la enzima α -amilasa hidroliza parcialmente el almidón provocando la liberación de azúcares fermentables, que son indispensables para las bacterias ácido-lácticas y levaduras, resultando un leve incremento en la acidez (Newberry, 2018).

De acuerdo con Gunko (2025) quien reportó, que los panes de masa madre de harina de con harina de trigo tuvieron mayor acidez (4.8 ± 0.2), a comparacion de panes elaborados con harina de cáñamo al 10 % y harina de trigo 90 % donde presentaron un valor menor (3.0 ± 0.2). Esta diferencia se debe a que la harina de trigo contiene más azúcares fermentables y proteínas que sirven como sustrato para la producción de ácidos orgánicos. Mientras que la harina de cáñamo posee menor disponibilidad

de carbohidratos simples y compuestos nitrogenados, lo que limita la acumulación de acidez.

- Proteína

En la característica fisicoquímica de la proteína, los resultados obtenidos mediante la prueba de Análisis de Varianza ANOVA ($F=187.8$; $p=1.48 \times 10^{-12}$) indicó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Por tanto, se aplica la prueba Post hoc-Tukey, mostrando una tendencia decreciente, donde el tratamiento T0 tiene mayor proteína (14.2266 %) y el tratamiento T6 mostró menor proteína (12.4300 %), mientras que los demás tratamientos tienen valores intermedios que disminuyen progresivamente, gracias al contenido de sustitución de las materias primas.

En cuanto a los requisitos mínimos de contenido de proteína frente a la Norma NTC 1363, se confirma que todos los tratamientos cumplen con el mínimo porcentaje de proteína para panes de corteza es de 9%.

Los datos coinciden con Olojede et al. (2021), donde reportó que el decrecimiento lineal de proteína aumenta por la sustitución de almidón papa, ya que este es un ingrediente refinado compuesto en su totalidad de amilosa y amilopectina, por lo que carece de proteína característica del endospermo del trigo. En su investigación, el tratamiento de control presentó el valor más alto con 7 % de proteína, mientras que el tratamiento con 20 % de sustitución de almidón de papa, por tanto, resultó con un valor mínimo de 5.40 % de proteína con la aplicación de *Pediococcus pentosaceus*.

Gunko (2025) quien reportó, que los panes de masa madre de control tuvieron una proteína elevada (22.3 ± 0.1), mientras que el pan de harina de cañamo integral menor cantidad (11.43 ± 0.1). Se analiza, que estos panes de masa madre a comparación de los panes convencionales, la proteína es mayor, y se atribuye a los panes elaborados con masa fermentada, debido a la acción de las bacterias ácido-lácticas, levaduras y la enzima α -amilasa que modifican la matriz proteica, causando una liberación de péptidos y la disponibilidad de aminoácidos. Los alimentos funcionales se caracterizan por factores como el enriquecimiento de proteínas y fibra dietética, por tanto, los panes de masa madre pueden clasificarse como alimentos funcionales.

- Fibra

Respecto a los resultados de fibra, los resultados obtenidos mediante la prueba de Análisis de Varianza ANOVA ($F=11.82$; $p=8.72 \times 10^{-5}$) indicó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Por tanto, se aplicó Tukey, mostró que los tratamientos T4 y T0 tienen valores mayores en el contenido de fibra (2.68 %; 2.64 %), mientras que los tratamientos T3 y T6 tienen los menores valores de contenido de fibra (2.30 %; 2.36). Sin embargo, a comparación de la norma NTC 1363 sus requisitos mínimos son nulos, por ello, se considera que el pan de masa madre es rico en fibra.

De acuerdo con Olojede et al. (2021), el aumento de fibra a comparación de los panes convencionales es por el uso de la masa madre, en su estudio todos sus tratamientos tienen niveles altos en fibra a comparación con el control. Ya que activa procesos bioquímicos y microbiológicos durante la elaboración del pan. Se debe a que el almidón resiste formando y acumulando fibra insoluble, a medida que la masa fermenta ciertas actividades enzimáticas se activan, lo que indica la solubilización de arabinoxilanos, por ello este alimento es beneficioso para la salud ya que reduce trastornos gastrointestinales.

- Grasa

Los resultados de la grasa en la prueba de Análisis de varianza-ANOVA resultaron que existe diferencia significativa entre los tratamientos ($F=17.27$; $p=9.98 \times 10^{-6}$) se aplicó la verificación de los supuestos y no cumplió la normalidad, por ende, se aplicó la prueba Kruskal-Wallis ($P=0.005$) para saber diferencias significativas en los datos No paramétricos. Seguidamente se aplicó la prueba Post-hoc de Dun, mostrando que existe diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos T0-T3 ($p=0.021^*$) y T0-T6 ($p=0.026^*$). Mientras que los demás tratamientos tuvieron datos intermedios y mostraron una tendencia decreciente en la grasa en los tratamientos con mayor sustitución de almidón de papa y la presencia de la enzima α -amilasa. Además, los valores medios de los tratamientos obtenidos fueron: T0= 0.967 %; T1=0.75 %; T2=0.663 %; T3=0.303 %; T4=0.677 %; T5=0.573 %; T6=0.387 %.

Este comportamiento se debe al almidón de papa es un carbohidrato puro, con un contenido de proteínas y lípidos nulos (<0.1 %), lo cual es coherente con la reducción del aporte lipídico de acuerdo con la sustitución en la formulación. Sus gránulos principalmente están formados por amilosa y amilopectina que esenciales para la gelatinización y absorción de agua, por lo que el almidón de papa no puede formar

complejos de amilosa-lipídica de manera significativa. Mientras que alimentos formados con harina de trigo total, contienen complejos lipídicos asociados a las proteínas, que incluyen fosfolípidos y glicolípidos. A nivel molecular, los lípidos interactúan con las proteínas y estabilizan una red proteica, resultando un aporte en la textura, retención de gas en la masa y en las características sensoriales (Sabando, 2019).

De acuerdo con Sánchez (2023) reportó, que las sustituciones con otras harinas con un perfil lipídico bajo comprometen a las características sensoriales y a la textura del pan. En su estudio menciona que las harinas de chocho tienen un perfil lipídico de 7 ácidos grasos; ácido palmítico (10.38 %), ácido oleico (51.92 %), ácido linoleico (40.43 %), ácido araquídico (0.73 %) y melloco 4 ácidos grasos; ácido palmítico (15.43), ácido oleico (5.92 %), ácido linolénico (6.71) mostraron perfiles lipídicos bajos. pero se encontraron con grasa insaturadas, lo que demuestra que la composición de la materia prima influye directamente en la calidad de la grasa, por lo que refuerza la deficiencia entre los tratamientos con almidón de papa frente a otras harinas alternativas.

- Gluten

En los resultados de gluten en la prueba de Análisis de varianza-ANOVA resultaron que existe diferencia significativa entre los tratamientos ($F=29.02$; $p=3.98 \times 10^{-7}$), por tanto, se aplicó la prueba Post Hoc- Tukey, donde indica que el tratamiento T0 tienen mayor contenido de gluten (8.600 mg/kg), y el tratamiento T6, mostró menor contenido de gluten (3.766 mg/kg), mientras que los demás tratamientos, mostraron una tendencia decreciente, gracias al contenido de sustitución del almidón de papa y la aplicación de la enzima α -amilasa, ya que tienen influencia en este parámetro.

Este comportamiento se debe a que el almidón de papa no contiene proteínas formadoras de gluten, por lo que al sustituir parcialmente la harina de trigo se reduce la cantidad de gluteninas y gliadinas disponibles para formar la red viscoelástica, además la enzima alfa amilasa modifica la estructura del almidón causando el rompimiento de las uniones glucosídicas transformándolas en azúcares simples y en dextrinas que ayudan a generar un efecto de dilución y debilitamiento indirecto de la red de gluten (Luque, Paredes , Quille, & Choque, 2024).

Estos resultados coinciden con lo reportado por Gunko, et al (2025), quien sustituyo del 5 al 30 % de harina de trigo por harina de cáñamo en la elaboración de pan.

Resultando una tendencia decreciente en la cantidad de gluten, donde el tratamiento de con mayor sustitución de harina de cáñamo tuvo 2.8 mg/kg, generando deficiencias en las propiedades reológicas y estructurales de la masa debido a la reducción de las proteínas del gluten (gliadina y glutenina), por las proteínas de cáñamo que son edestina y albúmina. Aunque estas tienen alta digestibilidad, no participan en la formación de gluten.

En estudios recientes respecto a la ingesta del gluten para las personas con enfermedad celiaca en su dieta es estrictamente nula, ya que provoca daño intestinal. Pero para personas intolerantes al gluten no celíacos la ingesta de gluten es máximo 10 mg/día para no alterar las vellosidades intestinales, daño en la mucosa y una mala absorción de nutrientes (Sharma & Bhatia, 2020). En este contexto, el tratamiento T6 (30 % almidón de papa y enzima alfa amilasa) es una opción para prevenir enfermedades como la celiaca e intolerancia al gluten.

- Cenizas

Los resultados de cenizas mediante prueba de Análisis de varianza-ANOVA resultaron que existe diferencia significativa entre los tratamientos ($F=48.47$; $p=1.43 \times 10^{-8}$), por tanto, se aplicó la prueba Post Hoc- Tukey, mostrando una tendencia relativamente ascendente, resultando que el tratamiento T1 tiene menor contenido de cenizas (2.25 %), mientras que el tratamiento T6 tienen mayor cantidad de cenizas (2.69 %), lo que indica que la sustitución parcial de harina de trigo por almidón de papa y la aplicación de la α -amilasa aumentaron el contenido de cenizas.

Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por (Whitney & Simsek, 2020) donde señala en su investigación del pan realizado con harina de papa y trigo 15% tuvo un contenido elevado de 2.85 % de cenizas, mientras que los panes con la harina de trigo tuvieron un contenido un poco más bajo 2.58 %. Menciona que (Serna, 2020) aunque el almidón de papa es un ingrediente altamente refinado, mantiene pequeñas cantidades de minerales procedentes del tubérculo original como potasio y fósforo. Particularmente, el fósforo se encuentra asociado a grupos unidos a la estructura de amilopectina, que es una de las moléculas formadoras del almidón de papa. Además, la harina de trigo tiene completo sus minerales que son fósforo, magnesio, calcio, hierro y zinc. Por ello, las diferencias en la composición de ambos ingredientes influyen directamente en los valores de las cenizas en las formulaciones.

En el estudio de Bastak (s.f.) reportó, que la incorporación de harinas y almidones no convencionales modifica la composición fisicoquímica y mineral de productos de panificación, demostrando el bajo contenido de cenizas refleja a la pureza y predominio del endospermo, mientras que los valores elevados evidencian la riqueza en minerales, por el salvado y germen, además este parámetro puede afectar el volumen y la esponjosidad del producto por ello debe estar controlado para garantizar el rendimiento del producto final.

4.2.3. Análisis de textura

- Dureza

Con respecto al parámetro de dureza expresada en Newton (N) los resultados obtenidos mediante la prueba de Análisis de varianza-ANOVA mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($F=108.7$; $p=6.28 \times 10^{-11}$), seguidamente se aplicó la verificación de los supuestos y no cumplió la normalidad, por ende, se aplicó la prueba Kruskal-Wallis ($p=0.004$) y posteriormente la prueba Post hoc-Dun, los cuales evidenciaron diferencias significativas en los tratamientos $T0-T5=0.0230$; $T0-T6=0.023$. Además, se presenta los datos medios de los tratamientos: $T0=21.8$ N; $T1=24.9$ N; $T2=25.2$ N; $T3=34.0$ N; $T4=62.8$ N; $T5=85.0$ N y $T6= 86.0$ N. El tratamiento $T0$, presentó menor dureza, mientras que el tratamiento $T6$ registró mayor dureza, que corresponde a la formulación del 30 % de almidón de papa y 150 ppm de la enzima alfa amilasa, por lo que se comprende que al aumentar la sustitución la red de gluten se debilita y resulta una miga más dura y compacta.

De acuerdo con (Yahia, 2025) reportó, que los datos del pan de masa madre realizado con harina de trigo tuvo un valor bajo respeto a la dureza con 3.52 ± 0.26 N, mientras que en el pan de masa madre con sustitución de harina de cebada 40 % aumento la dureza de la miga con 6.99 ± 0.22 N, en la mayoría de los casos esto se debe al tipo y comportamiento de las harinas durante la fermentación y cocción.

Las harinas integrales con salvado y germen interfieren al desarrollo de gluten, adsorben mucha agua y hacen que la masa sea menos elástica y la miga más dura-densa. Al reducir las proteínas formadoras de gluten, la estructura de pan pierde elasticidad y capacidad de retener gases, originando una miga más compacta y firme. Asimismo, aunque la enzima α -amilasa favorece la hidrólisis parcial del almidón y puede incrementar la retención de humedad y con ello alterar la estructura interna de la miga (Sandoval, Lascano, & Sandoval , 2012).

- Masticabilidad

Con respecto al parámetro de masticabilidad, los resultados obtenidos mediante la prueba de Análisis de varianza-ANOVA mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($F=14.68$; $p=2.54 \times 10^{-5}$). Sin embargo, no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, por lo que se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis ($p=0.003$) mostrando diferencias significativas en los datos no paramétricos. Seguidamente se aplica la prueba Post hoc-Dun, mostró que hay diferencias en los tratamientos $T0-T6=0.0137$; $T0-T5=0.0198$. Además, los datos medios de los tratamientos fueron: $T0=0.10$ mJ; $T1=0.20$ mJ; $T2=0.23$ mJ; $T3=0.30$ mJ; $T4=0.52$ mJ; $T5=0.53$ mJ; $T6=0.56$ mJ mostrando una tendencia ascendente por el aumento de la sustitución del almidón de papa y la enzima alfa amilasa, creando más trabajo para la deformación de la miga.

Los resultados mostraron concordancia con Yahia, (2025) quién reportó, la masticabilidad es uno de los principales elementos de la textura del pan y en su estudio el pan control presento un valor de masticabilidad más baja 3.40 mJ y mientras en los otros panes con sustitución la masticabilidad aumento 20.11 mJ, esto se debe a que tiene la fermentación prolongada y causa reacciones bioactivas se genera una miga más firme, húmeda y cohesiva, lo que exige un mayor esfuerzo a masticar a comparación con un pan elaborado con levadura comercial, también el contenido de fibra solubles (β -glucanos) podrían modificar la porosidad de la miga.

- Fracturabilidad

Con respecto al parámetro de fracturabilidad, los resultados obtenidos mediante la prueba de Análisis de varianza-ANOVA mostraron diferencias significativas entre los tratamientos ($F=91.51$; $p=2.02 \times 10^{-10}$). Sin embargo, no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se aplicó Kruskal-Wallis ($p=0.005213$) y posteriormente la prueba Post-hoc-Dun. Los resultados evidenciaron diferencias entre los tratamientos $T0-T1$ ($p=0.00834$), mientras que los demás tratamientos siguieron una tendencia decreciente. Las medias de los datos de cada tratamiento fueron: $T0=75.7$ N; $T1=23.0$ N; $T2=66.3$ N; $T3=36.0$ N; $T4=26.0$ N; $T5=25$ N; $T6=26.3$ N.

La fracturabilidad representa a la fuerza necesaria para que se fracture el pan durante la compresión, lo cual el comportamiento observado entre los tratamientos puede atribuirse a la sustitución parcial de harina de trigo por almidón de papa con

la adición de la enzima α -amilasa sobre la estructura interna, reduciendo la elasticidad y desfavoreciendo una estructura más frágil y susceptible a fracturarse.

De acuerdo con (Hussain, 2021) evaluó la incorporación de salvado de maíz en diferentes niveles dentro de la formulación del pan y observaron que la fracturabilidad tuvo una tendencia decreciente, donde el pan control (WF) tuvo un valor de 1.02 ± 0.03 N, seguidamente del pan con salvado de maíz 5 % (MB5) con 0.96 ± 0.01 N, luego del pan con salvado de maíz al 10 % con 0.95 ± 0.02 N, finalmente con el pan con salvado a 15 % con 0.93 ± 0.01 N, este comportamiento se atribuye a las modificaciones estructurales generadas por la incorporación de componentes no panificables, los cuales alteran la matriz del pan y disminuye su capacidad de fracturar ante la aplicación de una fuerza mecánica.

Adicional (Cauvain, 1998) menciona que, las propiedades texturales del pan dependen principalmente de la calidad del gluten, la retención de gases y la interacción entre el almidón y agua, por ende, cuando se realiza sustituciones de materia prima, la miga puede verse afectada con menor fragilidad y resistencia mecánica.

4.2.4. Análisis microbiológico

El análisis microbiológico evidenció que todos los tratamientos cumplen con los requisitos de la norma ISO 7218:2024, mostrando ausencia de *E. coli* <10 y en aerobios mesófilos <10 . Mientras que en mohos y levaduras tubo 1×10^1 UFC/g, valores inferiores al máximo permitido 2×10^2 establecido por la normativa, todos los resultados microbiológicos son muy inferiores al límite establecido, por lo que, se considera un producto elaborado con Buenas Prácticas de Mano factura (BPM).

En concordancia con Solarte et al (2019) reportaron que los recuentos de aerobios mesófilos y levaduras en panes de masa madre se mantuvo por debajo de 1.0×10^3 UFC/g, cumpliendo con los límites establecidos por la normativa ISO 7218:2024 de esta manera se analiza que la fermentación natural contribuye a controlar la carga microbiota, mientras que *E.coli* se mostró ausencia total. Las BPM son un pilar fundamental para garantizar la inocuidad y calidad del producto; ya que si hubiera deficiencias en higiene y control sanitario se produciría la proliferación de microorganismo patógenos y alteradores, por ende, se estableció condiciones higiénicas en cada etapa del proceso, desde la recepción de materias primas hasta el almacenamiento. Estas prácticas permiten minimizar el riesgo de contaminación

física, química y microbiológica, asegurando la protección del consumidor y el cumplimiento de la normativa vigente. Según Gadizza et al. (2019) las panificadoras que cuentan con BPM fortalecen la competencia, mejoran la uniformidad, la vida útil y la aceptación sensorial del pan. En este sentido las BPM son una estrategia clave para la sostenibilidad y diferenciadora de la industria panadera.

4.2.5. Análisis sensorial.

La evaluación sensorial, aplicada mediante una escala hedónica de siete puntos, concluyó que el tratamiento T4, T5 y T6 mostraron un nivel superior que los demás tratamientos, lo que refleja una preferencia sensorial más marcada por parte de los panelistas. Por el contrario, el tratamiento T1 presentó considerablemente valoraciones más bajas, con diferencias significativas frente a las formulaciones. El análisis estadístico mediante la prueba de Friedman mostró que el T4 (10 % de almidón de papa y 150 ppm) se diferenció significativamente del T1, T2 y T3 en olor, sabor y textura, consolidándose como la mejor formulación sensorial.

Respecto al atributo del color los tratamientos T6 y T4 obtuvieron valoraciones superiores en la escala hedónica, lo que concuerda con Obregón et al (2013) donde menciona que el color de la corteza y de la miga son clave en la primera impresión del consumidor, por ende, en su análisis demostró que puede predecir que los panes con tonos de corteza dorada y homogénea tienden a ser más aceptados, ya que proyectan frescura y calidad, mientras que las tonalidades pálidas e irregulares reducen la preferencia.

Respecto al olor es fuertemente influenciado por las reacciones de Maillard y la fermentación láctica y alcohólica, generando notas tostadas y caramelizadas, lo cual incrementan la aceptación sensorial. Los mejores tratamientos en este atributo fueron T0 y T4, ya que generan aromas más intensos y agradables. De acuerdo con Obregón (2013), menciona que la sustitución parcial puede mejorar el perfil aromático cuando se utilizan porcentajes moderados, sin embargo, cuando estos niveles se elevan provocan aromas más intensos, disminuyendo la aceptación del producto.

El sabor es el atributo más determinante en la aceptación global, por tanto, el tratamiento T4 fue significativamente superior a comparación de los demás tratamientos, esto se debe a que la fermentación y las reacciones de Maillard generan perfiles más complejos, con notas ácidas y a nueces. De acuerdo Ceron, et

al. (2011) destaca que la incorporación de la enzima alfa amilasa puede incrementar la disponibilidad de azúcares fermentables, lo que favorece a la actividad de las levaduras y bacterias ácido-lácticas que son responsables de desarrollar compuestos volátiles, creando una mejor aceptación del pan de masa madre.

Finalmente, la textura del pan es un factor importante, ya que se ve relacionada con la suavidad y facilidad de masticación. En este estudio el mejor tratamiento fue el T4, ya que tiene una miga más suave y uniforme que incrementa la aceptación sensorial. Investigaciones sobre panes con harinas alternativas como el haba muestran que la textura es uno de los parámetros más afectados por la sustitución parcial, ya que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución disminuye la formación de gluten y la miga se vuelve más compacta, no obstante, si se sustituye moderadamente no compromete la sensoriales (Chulde, 2022).

Finalmente, la elaboración de pan de masa madre con bajo índice glucémico se relaciona con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, al 3 Salud y bienestar, debido a que representa una alternativa alimentaria que favorece a la salud del consumidor. Debido a que se presentó un producto con alto valor de proteína 12.433 % y fibra 2.360 % que son niveles superiores a alimentos de panificación convencionales, además tiene un nivel muy bajo de gluten 3.766 % catalogándolo apto para prevenir enfermedades celiacas. También, se alinea al ODS 9. Industria, innovación e infraestructura, por el uso de materias primas alternativas como es el almidón de papa y la enzima alfa amilasa produciendo características nutricionales, tecnológicas y funcionales mejoras en respuesta a la tendencia de los alimentos más saludables.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La sustitución parcial de harina de trigo por almidón de papa (10, 20 y 30 %) y la adición de la enzima alfa amilasa (75 y 150 ppm) no afectaron de manera relevante en la consistencia inicial (Par C1) y en el debilitamiento proteico (Par C2), confirmando que estas materias primas son aptas para el proceso de panificación, ya que no compromete en la viscosidad inicial y en la formación de la red proteica, por efecto de que el almidón de papa relativamente se mantiene intacto a temperaturas 50 °C y la enzima actúa limitadamente sobre los enlaces $\alpha(1-4)$ del almidón, generando azúcares de menor peso molecular. En cuanto a la gelatinización del almidón durante el calentamiento (Par C3) y la estabilidad térmica del almidón (Par C4) se observó un aumento progresivo, esto se debe a la capacidad de absorber agua, hincharse y gelatinizarse del almidón de papa, aunque la enzima alfa-amilasa actuó hidrolizando parcialmente este comportamiento domina el almidón de papa, creando así masas más viscosas y estables frente al calentamiento. Además, en la resistencia a la retrogradación del almidón durante el enfriamiento (Par C5) también se observó una tendencia ascendente, lo que significa que el T6 tiene una alta resistencia a la retrogradación del almidón, a comparación del T1, es decir que tiene estabilidad frente al envejecimiento del pan.
- En los parámetros fisicoquímicos, se concluye que el uso de almidón de papa y la enzima alfa-amilasa en el parámetro de la humedad tuvo una tendencia decreciente, por el efecto de que las proteínas formadoras de gluten (gliadina y gluteninas) se ven disminuidas de acuerdo con el aumento de la sustitución y aunque las moléculas del almidón de papa (amilosa y amilopectina) tienen capacidad de absorber agua inicialmente, durante el horneado del pan disminuyen. En cuanto a la acidez, el tratamiento T0 presentó mayor acidez por el aporte de la harina de trigo en la actividad fermentativa, mientras que el T6 al presentar mayor almidón de papa y enzima alfa amilasa, carece de nutrientes esenciales para la fermentación. Por otro lado, la proteína y fibra

han sido relevantes, ya que a comparación de otros panes convencionales el pan de masa madre tiene los valores elevados en cuanto a la

- normativa NTC 1363, por ello se considera un alimento funcional. En la grasa se pudo evidenciar que tuvo una tendencia decreciente, esto se debe al incremento de la sustitución, por lo que la harina de trigo tiene complejos lipídicos y el almidón de papa y la enzima alfa-amilasa no poseen lípidos. En las cenizas tubo aumento leve, porque el almidón de papa a pesar de ser un ingrediente refinado contiene pequeñas cantidades de potasio y fosforo. En el gluten, existió una tendencia decreciente conforme aumenta la sustitución, donde el T6 tiene un valor de 3.766 mg/kg que es un nivel apto para personas con intolerantes al gluten no celiacas, ya que pueden ingerir una cantidad máxima de 10 mg/día, por tanto, es una alternativa y un alimento funcional.
- En cuanto a los análisis de textura, en la dureza y la masticabilidad se observó una tendencia ascendente, por el efecto de la disminución de las proteínas formadoras de gluten, por lo que la masa es menos elástica y la miga más dura, además, exige un mayor esfuerzo al masticar a comparación de panes con harina de trigo. En cuanto a la fracturabilidad tiene una tendencia decreciente, ya que al reducir la elasticidad disminuye la capacidad de fracturarse mecánicamente.
- Los resultados microbiológicos evidenciaron que todos los tratamientos cumplieron con la normativa, ya que se presentó ausencia y niveles aceptables en los indicadores microbiológicos: *Aerobios mesófilos*, *Mohos* y *levaduras*, *Escherichia coli*. demostrando el proceso de elaboración, fermentación y horneado fue llevado en un ambiente inocuo.
- En el análisis sensorial se mostró diferencias relevantes entre los tratamientos en los atributos de color, olor sabor y textura y aceptabilidad general. El mejor tratamiento fue el T6 alcanzando los niveles más altos en la preferencia, sabor y textura, concluyendo que tuvieron una mejor percepción global por parte de los panelistas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda profundizar en el análisis de los parámetros obtenidos con el Mixolab (C1–C5), ya que estos permiten correlacionar la actividad enzimática con la estabilidad de la masa y la gelatinización del almidón. En futuras investigaciones, sería conveniente aplicar modelos matemáticos de

predicción reológica que relacionen la concentración de alfa-amilasa con la extensibilidad y elasticidad de la masa, lo cual facilitaría establecer rangos óptimos de dosificación para diferentes formulaciones.

- Se recomienda incorporar procesos para validar la viabilidad tecnológica del tratamiento T6, se recomienda realizar pruebas piloto en panaderías industriales, incorporando sistemas de control de humedad y temperatura durante la fermentación y horneado. El uso de sensores en línea para monitorear la viscosidad y la actividad enzimática permitiría garantizar la reproducibilidad del producto y reducir variaciones en la textura y volumen del pan.
- Se sugiere complementar los estudios reológicos con técnicas de caracterización estructural como microscopía electrónica de barrido (SEM) para observar la red proteica y la distribución del almidón en la miga, así como análisis de difracción de rayos X (XRD) para evaluar la cristalización y retrogradación del almidón. Estos métodos aportarían información más precisa sobre cómo la alfa-amilasa modifica la matriz panaria y permitirían diseñar formulaciones con mayor estabilidad y vida útil.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achmadi, E. R. (31 de marzo de 2022). *Innovation snack crackers sorghum, challenge and characterization*. Obtenido de <https://journal.univetbantara.ac.id/index.php/jfap/article/view/2148>
- Alhazmi, L., & ALSHEHR, W. (25 de marzo de 2025). *Purification and Biochemical Characterization of α -Amylase from Newly Isolated Bacillus Cereus Strain and its Application as an Additive in Breadmaking*. Obtenido de <https://reference-global.com/download/article/10.33073/pjm-2025-004.pdf>
- Alimentos, L. (23 de febrero de 2025). *Pan de centeno propiedades nutricionales*. Obtenido de <https://www.losalimentos.com/pan-de-centeno>
- Alkay, Z., Fereshteh, F., Hasan, C., & Dertil, E. (31 de mayo de 2024). *Explorando el impacto nutricional de la fermentación de la masa madre: sus mecanismos y potencial funcional*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/11/1732>
- Ameur, H., Kashika, A., Polo, A., & Gobbetti, M. (14 de septiembre de 2022). *La microbiota de la masa madre y sus características sensoriales y nutricionales*. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119762621.ch14>
- Arai, C. (25 de junio de 2018). *Effect of adding acid-soluble wheat protein to dough on the quality stabilization of wheat flour and rice flour blend bread*. Obtenido de <https://www.mendeley.com/search/?page=2&query=extensibility%20of%20the%20mass%20the%20bread&sortBy=relevance>
- Astiz, V., Salinas, M., & Puppo, C. (28 de Julio de 2022). *Propiedades fisicoquímicas de harinas de trigo y avena de alta calidad panadera*. Obtenido de <https://revistas.unlp.edu.ar/revagro/article/view/13791/13955>
- Bartkiene, E., Özogul, F., & Rocha, J. (7 de Enero de 2022). *Bread Sourdough Lactic Acid Bacteria—Technological, Antimicrobial, Toxin-Degrading, Immune System-, and Faecal Microbiota-Modelling Biological Agents for the Preparation of Food, Nutraceuticals and Feed*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/3/452>
- Basantes, T., Aragón, J., Albuja, L., & Vásquez, L. (28 de noviembre de 2020). *Diagnóstico de la situación actual de la producción y comercialización de la papa (Solanum tuberosum L.) en la Zona 1 del Ecuador*. Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/18068>
- Bastak. (s.f.). *Determinación de cenizas en harina y su importancia*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0584854716301719>

- Biesiekierski, J. (28 de febrero de 2017). *What is gluten?* Obtenido de Revista de Gastroenterología y Hepatología: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jgh.13703>
- Bojnanska, T., Musilova, J., & Vollmannova, A. (22 de marzo de 2021). *Efectos de la adición de harinas de legumbres sobre las propiedades reológicas y panaderas de la masa*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/5/1087>
- Bressiani, J. (31 de agosto de 2019). *Influence of milling whole wheat grains and particle size on thermo-mechanical properties of flour using Mixolab*. Obtenido de <https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/cjf/2019/04/09.pdf>
- Cauvain, S. (1998). *Technology of breadmaking*. Blackie Academic & Professional.
- Cava, J. (28 de Agosto de 2020). *Tripes y usos del trigo en agroindustria*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/473914458/trabajo-1-1>
- Cediel, N. R. (2025). *Comparación de las características fisicoquímicas, sensoriales y perfil de textura entre pan elaborado con masa madre y con levadura comercial*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/76006/nrrodriguezce.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ceroli, P. (2022). *Aplicación de tecnologías de obstáculos para mejorar la calidad y aumentar la vida útil de cubos de papa*. Obtenido de https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/136639/Documento_completo.%2019%20Mayo%202022.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chafuelan, C. (16 de Marzo de 2022). *CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA, FUNCIONAL Y NUTRICIONAL DEL ALMIDÓN DE DOS VARIEDADES DE PAPA NATIVA (Solanum phureja) CULTIVADAS EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO*. Obtenido de <https://sired.udenar.edu.co/16932/>
- Codina, G., Dabija, A., & Oroian, M. (1 de octubre de 2019). *Predicción de las propiedades de gelatinización de la masa a partir de mediciones realizadas con Mixolab mediante redes neuronales artificiales*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2304-8158/8/10/447>
- Córdova, V. (14 de Diciembre de 2014). *Estudio de los aportes funcionales de la papa (Solanum tuberosum) y desarrollo de dos productos alimenticios*. Obtenido de [file:///C:/Users/ACER%20GATEWEY/Downloads/UDLA-EC-TIAG-2014-09%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ACER%20GATEWEY/Downloads/UDLA-EC-TIAG-2014-09%20(1).pdf)
- D'Amico, V., Ganzle, M., Call, L., & Brouns, F. (20 de Julio de 2023). *¿El pan de masa madre proporciona beneficios para la salud clínicamente relevantes?* Obtenido de <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2023.1230043/full>

- Dabash, V., & Buresova, I. (09 de marzo de 2022). *Impact of alpha-amylase enzyme on the Rheological and Microstructural properties of the different types of rice flour doughs and bread*. Obtenido de <https://ejfa.me/index.php/journal/article/view/2822/1567>
- Emkani, M., Oliete, B., & Saurel, R. (24 de mayo de 2022). *Effect of Lactic Acid Fermentation on Legume Protein Properties, a Review*. Obtenido de <https://www.mendeley.com/catalogue/d77ceb51-d73f-33a7-b2b1-3098a2325d17>
- Escudero, E. (20 de julio de 2020). *Enzimas en la panificación. ¿Qué hacen?* *The Food Tech*. Obtenido de <https://thefoodtech.com/soluciones-y-tecnologia-alimentaria/enzimas-en-la-panificacion-que-hacen/>
- FAO. (11 de Marzo de 2024). *Papas: tan familiares y tanto por descubrir sobre ellas*. Obtenido de <https://www.fao.org/publications/news-archive/detail/potatoes-so-familiar-so-much-more-to-learn/es>
- FAO. (2025). *Cereal-based foods and nutrition: Global perspectives*. . Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations.: <https://www.fao.org/home/en/>
- Feliznando, C., Cabrera, F., Figueroa, O., & Ontiveros, N. (24 de mayo de 2021). *Sensibilidad al gluten no celíaca*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/1648-9144/57/6/526>
- FEN. Fundación Española de la Nutrición . (25 de noviembre de 2025). *Whole meal bread* . Obtenido de https://www.fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/panintegral.pdf?utm_source=copilot.com
- Fernández, C. (s.f.). *Historia del pan*. Obtenido de <https://www.ceoppan.es/historia.html>
- Gatti, S., Tapia, A., Makharia, G., & Catassi, C. (1 de junio de 2024). *Patient and Community Health Global Burden in a World With More Celiac Disease*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016508524001215?getft_integrator=mendeley&pes=vor&utm_source=mendeley
- Genovés, J., & Quezada, J. (15 de julio de 2013). *ELABORACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SEIS MASAS MADRES Y SU APLICACIÓN EN EL PAN BAGUETTE, CAMPESINO, Y SU APLICACIÓN EN EL PAN BAGUETTE, CAMPESINO*. . Obtenido de <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/5ec29188-9735-41a5-a938-87fb16214cfd/content>
- Giola, L., Ganancio, J., & Steel, C. (2017). *Food Additives and Processing Aids used in Breadmaking*. Obtenido de INTECH: <https://www.intechopen.com/chapters/56317>

- Global Growth Insights. (30 de marzo de 2026). *Tamaño del mercado de panadería*. Obtenido de <https://www.globalgrowthinsights.com/es/market-reports/bakery-market-103254>
- GM, V., Pathiam, S., Kumar, D., & Prakasha, R. (02 de Enero de 2025). *Food Additives and Processing Aids Used in Bread-making: An Overview*. Obtenido de <https://journaljsrr.com/index.php/JSRR/article/view/2742>
- Goel, S., Singh, M., Grewal, S., Razzaq, A., & Hussain Wani, S. (16 de Noviembre de 2021). *Wheat Proteins: A Valuable Resources to Improve Nutritional Value of Bread*. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2021.769681/full>
- Guañuna, G. (10 de julio de 2014). *Estudio de Variabilidad Fenotípica de accesiones de trigo y cebada de la colección del INIAP*. . Obtenido de <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/fd8950ac-a155-4d6e-a122-45bb8f35ad23/content>
- Guerrero. (2018). *Elaboración de harina de papa*. Obtenido de [file:///C:/Users/ACER%20GATEWEY/Downloads/egarballoalvarado,+6%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ACER%20GATEWEY/Downloads/egarballoalvarado,+6%20(1).pdf)
- Gunko, S. (22 de Octubre de 2025). *DETERMINING THE INFLUENCE OF ENZYMES AND SOURDOUGH OF LACTIC ACID BACTERIA ON THE QUALITY OF WHEAT-HEMP BREAD*. Obtenido de <https://www.mendeley.com/search/?page=1&query=INFLUENCE%20OF%20ENZYMES%20AND%20DETERMINING%20THE%20LACTIC%20ACID%20SOURDOUGH%20WHEAT%20AND%20HEMP%20BREAD%20BACTERIA%20ON%20THE%20QUALITY%20OF&sortBy=relevance>
- Hadnađev, T. D., Torbica, A., & Hadnađev, M. (2011). *Rheological properties of wheat flour substitutes/alternative crops assessed by Mixolab*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211601X11000526?getft_integrator=mendeley&pes=vor&utm_source=mendeley
- Hussain, M. (04 de mayo de 2021). *Perfil bioquímico y nutricional de la harina enriquecida con salvado de maíz en relación con su calidad de uso final*. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fsn3.2323>
- Hussein, A. (11 de Septiembre de 2023). *Production and Evaluation of Gluten-Free Pasta and Pan Bread from Spirulina Algae Powder and Quinoa Flour*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/10/2899>
- Jagadeesan, S., Govindaraju, I., & Mazumder, N. (25 de agosto de 2020). *An Insight into the Ultrastructural and Physiochemical Characterization of Potato Starch: a Review*. Obtenido de <https://www.mendeley.com/catalogue/d07897da-e691-3d8f-9fd2-8e95b0cae7f4>
- Jiang, H., Yang, S., Tian, H., & Sun, B. (16 de febrero de 2023). *Research progress in the use of liquid-liquid extraction for food flavour analysis*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224423000055?via%3Dihub>

- Kornbrust, B., Forman, F., & Matveeva, I. (2012). *Aplicaciones de las enzimas en la elaboración del pan*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978085709060750019X?via%3Dihub>
- L., G., Puppo, M., & Salinas, M. (2022). *Mejora nutricional de harinas de amaranto y quinoa: aplicaciones en panes saludables*. Obtenido de <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/140000>
- Lechón, B., & Freddy, P. (5 de enero de 2021). *“Aprovechamiento integral de la papa súper chola para la obtención de almidón, pulpa, fibra y su utilización en la elaboración de alimentos”*. Obtenido de <https://repositorio.upec.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0d5098d9-fc25-4745-ad86-bc687c0016e3/content>
- Lewko, P., Wójtowicz, A., & Gancarz, M. (24 de julio de 2024). *Application of Conventional and Hybrid Thermal-Enzymatic Modified Wheat Flours as Clean Label Bread Improvers*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/17/7659>
- Liu, X., Ji, Y., Wang, H., Zhang, Y., & Zhang, H. (31 de julio de 2023). *Effect of glycosylated potato protein on the characteristics of gluten-free dough and steamed bread*. Obtenido de https://watermark02.silverchair.com/ijfs16631.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAA1EwggNNBgkqhkiG9w0BBwagggM-MIIDOGIBADCCAzMGCSqGSIb3DQEHAQAEbglghkgBZQMEAS4wEQQMMfrtgkd8E9CpMAWJAgEQgIIBJb2yMXsXrSxx-y112VNHwDJxb_fxim_Ar39sn5Nrok
- Liu, X.-l., Tai-hua, M., & Hong-nan, S. (Noviembre de 2016). *Influence of potato flour on dough rheological properties and quality*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311916613886>
- Luque, O., Paredes, J., Quille, L., & Choque, T. (11 de mayo de 2024). *Utilization of Sustainable Ingredients (Cañihua Flour, Whey, and Potato Starch) in Gluten-Free Cookie Development: Analysis of Technological and Sensorial Attributes*. Obtenido de <https://www.mendeley.com/catalogue/0d1ef9b2-1e0c-3958-bb2f-f290338123b3/>
- Mendoza, E. (10 de Octubre de 2024). *Evaluación de propiedades fisicoquímicas, mecánicas y de digestibilidad de panes elaborados a partir de granos germinados de Triticum aestivum*. Obtenido de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/6110>
- Meneses, J. (enero de 2022). *Estudio para plastificación del almidón de papa: proceso, estructura y propiedades*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/e89de9c2-ddc3-4d3f-8ddf-f4f69db99d6d/content>
- Mir, L. R. (25 de noviembre de 2016). *Influencia de la Textura del grano de trigo sobre la calidad industrial de galletitas dulces y crackers*. Obtenido de

https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/5263/INTA_CRCordoba_EEAMarcosJuarez_Mir%20L_INFLUENCIA_DE_LA_TEXTURA_DEL_GRANO_DE_TRIGO_Triticum_aestivum.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Molina, D. F. (15 de junio de 2020). *Efectos del consumo de pan de masa madre en el perfil glucémico y la composición de la microbiota intestinal, de una población de pacientes con diabetes tipo 2*. Obtenido de https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/157327/tfm_2019-20_MNAH_dfm009_3151.pdf?sequence=1

Molina, S. (02 de agosto de 2022). *Determinación de las propiedades Fisicoquímicas y tasa de digestión in vitro del almidón crudo y gelatinización de ocho genotipos y tres variedades de papa de la estación experimental Santa Catalina del INIAP-Quito*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23078/1/TTQ838.pdf>

Montenegro, D. (22 de junio de 2023). *Aplicación de la masa madre en la panadería tradicional del cantón Ibarra*. Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14213>

Montoya, J., & Román, G. (2010). *Estudio de la incidencia de incorporación de masa de papa de variedad superchola (Solanum tuberosum), como sustituto parcial de harina de trigo (Triticum spp) en el proceso de elaboración de pan*. Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/647/1/03%20AGI%20258%20TESIS.pdf>

Moreira, Y. (07 de Febrero de 2022). *Efecto de la enzima alfa amilasa sobre las moléculas de almidón para el desarrollo de nuevos productos de panificación*. Obtenido de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/server/api/core/bitstreams/950a0e1f-cdfc-4d9f-b205-236593bcb54/content>

Natasha, S., Bhatia, S., Chunduri, V., Kaur, S., Sharma, S., Kapoor, P., . . . Garg, M. (7 de Febrero de 2020). *Pathogenesis of Celiac Disease and Other Gluten Related Disorders in Wheat and Strategies for Mitigating Them*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32118025/>

Newberry, M. (6 de Septiembre de 2018). *Influye la alfa-amilasa de maduración tardía en la calidad de la panificación del trigo*. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2018.01356/full>

Núñez, M. (21 de junio de 2024). *Comparación de propiedades tecnológica, nutricionales y sensoriales entre pan con y sin masa madre*. Obtenido de <https://oa.upm.es/83521/>

Ojobi, J., Huang, J., Uriho, A., Chen, C., Zhang, S., Liang, L., . . . Huang, W. (01 de diciembre de 2025). *Impact of combined single or mixed strain sourdough fermentation and enzyme treatment on the physicochemical, nutritional and baking performance of highland barley-wheat bran flour composite bread*. Obtenido de <https://pdf.sciencedirectassets.com/272383/1-s2.0->

S0023643825X00219/1-s2.0-S0023643825015361/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEEUaCXVzLWVhc3QtMSJIMEYCIQDT%2BxXE%2FxFHnj6HArVoZ%2FtjqN7wR9GF8qEnGMcFcSS29EglhALAOrVVje39Isj1PWamSK%2BffsDkdMPiX0%2F

- Olojede, A. O., Abiodun, S., Kolawole, B., & Towobola, M. (14 de Febrero de 2022). *Improvement of Texture, Nutritional Qualities, and Consumers' Perceptions of Sorghum-Based Sourdough Bread Made with *Pediococcus pentosaceus* and *Weissella confusa* Strains*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2311-5637/8/1/32>
- Pérez, O. (8 de Septiembre de 2022). *Role of lactic acid bacteria and yeasts in sourdough fermentation during breadmaking: Evaluation of postbiotic-like components and health benefits*. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2022.969460/full>
- Pulloquina, M. (2011). *Estudio del efecto de Glucoxidasas y Alfa-Amilasas en la elaboración de Pan con sustitución parcial de Harina de Papa (*Solanum Tuberosum*)*. Nacional. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/items/dafa0b07-8354-4458-a27d-550208dccc2>
- Quezada, L., Contreras, O., Martínez, E., Mero, F., & González, H. (9 de septiembre de 2019). *Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de papa china (*Colocasia esculenta*) sobre las propiedades reológicas de la masa y sensoriales de galletas dulces*. Obtenido de <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/issue/view/52>
- Rodriguez, N. (28 de octubre de 2025). *Comparación de las características fisicoquímicas, sensoriales y perfil de textura entre pan elaborado con masa madre y con levadura comercial*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/76006>
- Rosell, C., & Rojas, J. (2009). *Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality*. *Food Hydrocolloids*, 23(2), 592–599. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/223591840_Influence_of_hydrocolloids_on_dough_and_bread_quality
- Rosell, C., Collar, C., & Haros, C. (21 de mayo de 2007). *Evaluación de los efectos de los hidrocoloides en las propiedades termomecánicas del trigo utilizando el Mixolab*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/223777630_Assessment_of_hydrocolloid_effects_on_the_thermo-mechanical_properties_of_wheat_using_the_Mixolab
- S, D., & N, Z. (2014). *Why, when, and how did yeast evolve alcoholic fermentation?* Obtenido de <https://www.mendeley.com/catalogue/9ad4fd97-bb6a-357f-bafa-6bdfadd7601f>
- Sabando, A. (11 de Diciembre de 2019). *Efecto en la sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) con su similar de plátano (*Musa spp*) en las características físico-químico y sensorial del pan enrollado*. Obtenido de

<https://repositorio.uteq.edu.ec/items/b92b63e9-1ef8-456e-a915-cccdd0aa7d14>

- Salas. (11 de mayo de 2026). Obtenido de <https://www.businessresearchinsights.com/es/market-reports/bread-and-bakery-products-market-121718>
- Sánchez, D. (6 de marzo de 2023). *Determinación del perfil lipídico en harinas de chocho (*Lupinus mutabilis* sweet) y melloco blanco (*Ullucus tuberosus*) para establecer el contenido de ácidos grasos saturados e insaturados*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b17989a1-2c04-4516-bfd8-05270d69d4aa/content>
- Sandoval, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (Junio de 2012). *Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinua y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/304202660_Influencia_de_la_sustitucion_parcial_de_la_harina_de_trigo_por_harina_de_quinoa_y_papa_en_las_propiedades_termomecnicas_y_de_panificacion_de_masas
- Sciarini, L., Steffolani, M., & León, A. (18 de Noviembre de 2016). *El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan*. Obtenido de <https://www.scielo.org.ar/pdf/agrisc/v33n2/v33n2a01.pdf>
- Serna, S. (4 de octubre de 2020). *Cereal Grains*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/478678070/Cereal-Grains-Properties-Processing-and-Nutritional-Attributes-2010-pdf>
- Sharma, N., & Bhatia, S. (6 de febrero de 2020). *Patogenia de la enfermedad celíaca y otros trastornos relacionados con el gluten en el trigo y estrategias para mitigarlos*. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2020.00006/full>
- Shewry, P. (04 de julio de 2019). *Sección de Nutrición y Tecnología de la Ciencia de los Alimentos*. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2019.00101/full>
- Singh, R., & Singh, G. (4 de septiembre de 2017). *Agricultura tradicional: un enfoque climáticamente inteligente para la producción sostenible de alimentos*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s40974-017-0074-7>
- Smith, J. &. (2024). *Enzymatic innovations in sourdough and straight dough systems: A review of shelf-life extension*. Obtenido de Journal of Cereal Science.
- Solarte, J., Díaz, A., Osorio, O., & Mejía, D. (25 de Enero de 2019). *Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla*. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000600035&script=sci_arttext

- Sucipto, S., Sumbayak, P., & Gadizza Perdani1, C. (30 de Noviembre de 2019). *valuation of Good Manufacturing Practices (GMP) and Sanitation Standard Operating Procedure (SSOP) Implementation for Supporting Sustainable Production in Bakery SMEs*. Obtenido de https://www.myfoodresearch.com/uploads/8/4/8/5/84855864/_53__fr-2020-450_satter.pdf
- Terrazas, P., Palma , H., & Navarro, R. (2024). *The effects of fermentation time on sourdough bread: An analysis of texture profile, starch digestion rate, and protein hydrolysis rate*. Obtenido de <https://www.mendeley.com/catalogue/552d105b-e865-3b23-8cb4-c81f4dfb8197/>
- Totoy, M. (19 de julio de 2022). *Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de zanahoria blanca y la aplicación de pigmentos de ají en la elaboracion de pan tipo molde*. Obtenido de <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/TOTOY%20IZA%20MILTON%20ROLANDO.pdf>
- Vazquez, F., Verdú, S., Islas, A., Barat, J., Grau, R., & Castillas, R. (31 de Septiembre de 2017). *Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan*. Obtenido de <https://revistas.uaa.mx/investycien/article/view/593/571>
- Vera, A., & Chavarría, M. (20 de junio de 2020). *Extracción y caracterización del almidón de papa (Solanum tuberosum, variedad Leona Blanca)*. Obtenido de <https://portal.amelica.org/ameli/journal/230/2301906004/>
- Villanueva, R. (s.f.). *Enzimas de panificación* . Obtenido de https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/3054/2968https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/3054/2968
- Viteri, M., & Cordero, D. (22 de agosto de 2024). *El arte de la panificación* . Obtenido de <file:///C:/Users/ACER%20GATEWEY/Downloads/5-PANIFICACI%C3%93N%20pdf%20interiores%20y%20portada%202025.pdf>
- Whitney, K., & Simsek, S. (21 de Julio de 2020). *Harina de patata como ingrediente funcional en el pan: evaluación de la calidad del pan y las características del almidón*. Obtenido de <https://academic.oup.com/ijfst/article/55/12/3639/7805565>
- Wieser, H. (abril de 2007). *Chemistry of gluten proteins*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740002006001535?via%3Dihub>
- Xing-li, L. (2019). *Efecto de trigo harinasustitución conpapa pulpa sobre masareológica la calidad del pan al vapor y la digestibilidad in vitro del almidón*. Obtenido de <https://www.mendeley.com/catalogue/b24f6560-e359-38ad-9d75-4c5a1fdfe39c>

- Xu, F., Liu, Q., Zhang, C., Hu, H., & Zhang, H. (25 de marzo de 2020). *Propiedades de gelatinización, termomecánicas y termomecánicas Mixolab de sistemas compuestos de almidón de patata y gluten de trigo*. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fsn3.1506>
- Yahia, D. F. (25 de julio de 2025). *Impact of Sourdoughs, Enzymes, and Their Combinations on Gluten-Based Bread Quality*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2227-9717/13/9/2796>
- Zhang, Y., Wang, S., Bai, J., Zhang, J., Liu, X., & Zhang, H. (15 de julio de 2024). *Effect of resting time on water distribution and gluten formation of dough*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643824007047?getft_integrator=mendeley&pes=vor&utm_source=mendeley

VII. ANEXOS

Anexo 1. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI
FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: Jeniffer Anabel Santiana Caiza DATE: July 10 th 2026 Topic: "Evaluación del efecto de la enzima alfa-amilasa en la calidad de pan de masa madre con harina de trigo y almidón de papa"				
MARKS AWARDED		QUANTITATIVE AND QUALITATIVE		
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☒	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
De	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 ☐	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
TOTAL/AVERAGE 9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED TOTAL 9				



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico
o Investigación.**

Autor: Jeniffer Anabel Santiana Caiza

Fecha de entrega del informe: July 10th 2026

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MSc. Jairo Guevara
Director de Centro Académicos
y de Formación
Complementaria

Anexo 2. Evidencia



Figura 24. Peso de materia prima para el pan



Figura 25. Proceso de pan de masa madre



Figura 26. Pan de masa madre



Figura 27. Peso del crisol con la muestra.



Figura 28. Cisoles en la estufa a 130°C por 4 h.



Figura 29. Acidez titulable en las muestras de harina



Figura 30. Muestras de la acidez titulable



Figura 31. Cenizas

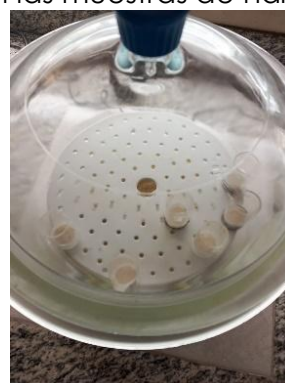


Figura 32. Muestras de en desecador



Figura 33. Grasa por el método de Soxhlet



Figura 34. Fibra en el equipo de Fibertest.



Figura 35. Crisoles de fibra



Figura 36. Crisoles de fibra en la estufa.



Figura 37. Crisoles de fibra en el desecador.



Figura 38. Muestras para la determinación de gluten.



Figura 39. Preparación de las diluciones de fibra.



Figura 40. Diluciones rotuladas



Figura 41. Determinación de parámetros de textura del pan de masa madre



Figura 42. Pesaje de reactivos.



Figura 43. Proceso para la realización de proteína.



Figura 44. Proteína



Figura 45. Diluciones para determinar MO no deseados.



Figura 46. Placas Petrifilm de Aerobios mesófil



Figura 47. Placas Petrifilm de Mohos y levaduras



Figura 48. Placas Petrifilm de E. coli.



Figura 49. Muestras para el análisis sensorial.



Figura 50. Instrucciones para la catación de pan de masa madre

Anexo 3. Ficha de evaluación sensorial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES CARRERA DE ALIMENTOS FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL		 POLITÉCNICA DEL CARCHI EDUCAMOS PARA TRANSFORMAR EL MUNDO																																																
Producto: Pan de masa madre elaborado con harina de trigo y almidón de papa (<i>Solanum tuberosum L.</i>) con la adición de la enzima alfa-amilasa.																																																		
Edad:	Sexo:	Fecha: 19/03/2026																																																
Objetivo: Determinar el grado de aceptación en los atributos, color, olor, sabor, textura y aceptación de 6 muestras de pan de masa madre con diferentes porcentajes de harina de trigo y almidón de papa con la adición de enzima alfa-amilasa.																																																		
Definición: ▪ Color: Evaluar la intensidad de color, brillo y uniformidad. ▪ Olor: Evaluar si el aroma es agradable, notas tostadas y ausencia de olores extraños. ▪ Sabor: Evaluar la dulzura, acidez percibida ligeramente con notas a nuez y persistencia. ▪ Textura: Evaluar la consistencia, sensación en boca y cohesión ▪ Aceptabilidad: Evaluar todos los aspectos de manera general.																																																		
Instrucciones: ▪ Frente a usted se presenta (6) seis muestras de pan de masa madre. Deguste cada una de ellas de izquierda a derecha e indique su nivel de agrado de acuerdo con el puntaje de la escala indicada abajo, en el código correspondiente a cada una de las muestras. ▪ Limpiar el paladar con un poco de agua después de cada muestra. ▪ El rango para calificar es:																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 50%;">Puntaje</th> <th style="width: 50%;">Categoría</th> </tr> <tr><td>1</td><td>Me disgusta extremadamente</td></tr> <tr><td>2</td><td>Me disgusta mucho</td></tr> <tr><td>3</td><td>Me disgusta ligeramente</td></tr> <tr><td>4</td><td>Ni me gusta ni me disgusta</td></tr> <tr><td>5</td><td>Me gusta un poco</td></tr> <tr><td>6</td><td>Me gusta mucho</td></tr> <tr><td>7</td><td>Me gusta extremadamente</td></tr> </table>			Puntaje	Categoría	1	Me disgusta extremadamente	2	Me disgusta mucho	3	Me disgusta ligeramente	4	Ni me gusta ni me disgusta	5	Me gusta un poco	6	Me gusta mucho	7	Me gusta extremadamente																																
Puntaje	Categoría																																																	
1	Me disgusta extremadamente																																																	
2	Me disgusta mucho																																																	
3	Me disgusta ligeramente																																																	
4	Ni me gusta ni me disgusta																																																	
5	Me gusta un poco																																																	
6	Me gusta mucho																																																	
7	Me gusta extremadamente																																																	
A continuación, se presenta la tabla de calificación para cada tratamiento:																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 12.5%;">Código</th> <th style="width: 12.5%;">Color</th> <th style="width: 12.5%;">Olor</th> <th style="width: 12.5%;">Sabor</th> <th style="width: 12.5%;">Textura</th> <th style="width: 12.5%;">Aceptabilidad</th> </tr> <tr><td>311</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>356</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>398</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>423</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>468</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>512</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>526</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>			Código	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad	311						356						398						423						468						512						526					
Código	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad																																													
311																																																		
356																																																		
398																																																		
423																																																		
468																																																		
512																																																		
526																																																		
Preferencia global ▪ Por favor, ordene las muestras según su preferencia desde la que más le gusto hasta que menos le gusto. Me gusta más Me gusta menos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; height: 20px;"> <tr> <td style="width: 16.6%;"></td> <td style="width: 16.6%;"></td> <td style="width: 16.6%;"></td> <td style="width: 16.6%;"></td> <td style="width: 16.6%;"></td> <td style="width: 16.6%;"></td> </tr> </table>																																																		
Observaciones:																																																		

Anexo 4. Norma Técnica Colombiana NTC 1363

**NORMA TÉCNICA
COLOMBIANA**

**NTC
1363**

2005-10-26

**PAN.
REQUISITOS GENERALES**



E: BREAD. GENERAL REQUIREMENTS

CORRESPONDENCIA:

DESCRIPTORES: productos de molinería - pan; pan
común – requisitos.

I.C.S.: 67.060.00

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)
Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. 6078888 - Fax 2221435

Prohibida su reproducción

Segunda actualización
Editada 2005-11-08

PRÓLOGO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

ICONTEC es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La NTC 1363 (Segunda actualización) fue ratificada por el Consejo Directivo del 2005-10-26.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

A continuación se relacionan las empresas que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en el Comité Técnico 50 Productos de Molinería.

BAALBEK
BIANÁLISIS LTDA.
BISCOCHERÍA Y PANADERÍA PANISAN
CAFAM
CARULLA VIVERO S.A.
CENALPAN LTDA.
COLDENZIMAS LTDA.
COMESTIBLES LA 80
CONALPAN LTDA.
DALBERT INTERNATIONAL DE
COLOMBIA S.A.
DELICOL S.A.
DIETESA S.A.
DISTRACEITES S.A.
ENZIPÁN DE COLOMBIA LTDA.
FEDERACIÓN NACIONAL DE
MOLINEROS DE TRIGO.
GENERAL MILLS DE COLOMBIA S.A.

HARINERA DEL VALLE S.A.
INDACOL / ANIPAN ASOCIACIÓN
INDUSTRIAL DE LA PANADERÍA Y
ALIMENTOS COMPLEMENTARIOS
INDUSTRIAS ALIMENTICIAS NOEL - S.A.
INDUSTRIA PANIFICADORA AMAPOLITA
INDUSTRIA PANIFICADORA NUESTRO
PAN
INDUSTRIA SANTA CLARA LTDA.
INDUSTRIAS ALIMENTICIAS KAREN
LTDA.
MOLINO EL LOBO LTDA.
PANADERÍA NUESTRO PAN
PANADERÍA NÉCTAR
PANIFICADORA GIRARDOT
PANIFICADORA PANISAN
PROCOHARINAS LTDA.
PRODUCTOS ALIMENTICIOS DORIA S.A.

Además de las anteriores, en Consulta Pública el Proyecto se puso a consideración de las siguientes empresas:

AREPA LISTA LTDA.
AREPAS DE LA FINCA
AREPAS EL ANTOJO
ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIALES
BAALBEK

CARREFOUR COLOMBIA SEDE
CENALPAN LTDA.
COLOMBINA S.A.
COMPAÑÍA INDUSTRIAL DE CEREALES S.A.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1363 (Segunda actualización)

NTC 4779, Microbiología de alimentos y alimentos para animales. Método horizontal para el recuento de estafilococos coagulasa positivo - *Staphylococcus aureus* y otras especies.

GTC 99: 2004, Guía para la selección de un plan, un esquema o un sistema de muestreo para aceptación en la inspección de ítemes individuales en lotes.

NTC-ISO 2859-1: 2002, Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 1: Planes de muestreo determinados por el Nivel Aceptable de Calidad (NAC) para inspección lote a lote.

NTC-ISO 2859-2: 1994, Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 2. Planes de muestreo determinados por la Calidad Límite (CL) para la inspección de un lote aislado

NTC-ISO 2859-3:1994, Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 3. Procedimientos de muestreo intermitentes.

NTC-ISO 3951:1995, Procedimientos de muestreo y gráficas de inspección por variables para porcentaje no conforme.

3. DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN

3.1 DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se establecen las siguientes:

3.1.1

pan

producto alimenticio resultante de la fermentación y horneado de una mezcla básica de harina de trigo, agua, sal y levadura, que puede contener otros ingredientes, y/o aditivos permitidos por la legislación vigente.

3.1.2

esponja

masa con previo reposo que interviene en el proceso de panificación cuya apariencia es similar a una esponja.

3.1.3

corteza

parte externa de un producto horneado con características de color, resistencia, grosor y consistencia propias del producto.

3.1.4

miga

parte interna de un producto horneado caracterizado por una estructura porosa.

3.1.5

fragilidad

atributo mecánico de textura relacionado con la cohesión, y con la fuerza necesaria para romper un producto en migajas o pedazos. Se evalúa aplicando una fuerza brusca a un producto colocado entre los dientes (incisivos) o los dedos.

Anuncio

X

3.1.6

desmonoradizo

"crumbly"

adjetivo correspondiente al nivel de fragilidad bajo. Por ejemplo: panes fabricados con polvo de horneado (pan coco).

3.1.7

crocante

"crunchy"

adjetivo correspondiente al nivel de fragilidad nivel moderado. Ejemplo: pan tostado.

3.1.8

crujiente

"crispy"

adjetivo correspondiente al nivel de fragilidad nivel alto. Ejemplo: corteza del pan francés

3.1.9

dureza

"hardness"

atributo mecánico de textura relacionado con la fuerza requerida para lograr una deformación o penetración dada en un producto. En la boca, se percibe al comprimir el producto entre los dientes (para productos sólidos) o entre la lengua y el paladar (para productos semisólidos).

3.1.10

blando

"soft"

adjetivo correspondiente a un nivel de dureza bajo en pan. Ejemplo: pan tajado o pan dulce.

3.1.11

duro

"hard"

adjetivos correspondiente a un nivel de dureza alto en pan. Ejemplo: panes de corteza.

3.2 CLASIFICACIÓN

3.2.1 Según su sabor, el pan se clasifica en:

3.2.1.1 Pan de sal: pan en el que tanto en su masa como en su relleno predomina el sabor de sal.

3.2.1.2 Pan de dulce: pan en el que tanto en su masa como en su relleno predomina el sabor dulce.

3.2.2 Por la textura, el pan se clasifica en:

3.2.2.1 Panes blandos

Panes que se caracterizan por su contenido alto de humedad y la suavidad en toda su estructura.

3.2.2.2 Panes de corteza crujiente

Panes de nivel de fragilidad alto, caracterizados por poseer cortezas delgadas, duras al tacto.

3.2.2.3 Panes tostados

Panes de nivel de fragilidad moderado, que se caracterizan por tener bajo contenido de humedad, con toda su estructura crocante.

3.2.2.4 Panes hojaldrados

Panes que presentan una estructura de capas finas, sobrepuestas, y cuyo contenido de grasa es alto.

3.2.2.5 Panes con fibra

Panes que contienen fibra proveniente de diferentes vegetales, por ejemplo: cereales como el trigo, leguminosas u oleaginosas.

3.2.3 Por proceso de mezcla, el pan se clasifica en:

(Véase el diagrama de proceso de panes en el Anexo A, informativo.)

3.2.3.1 Panes de proceso directo

Panes cuya mezcla y fermentación de ingredientes se realiza en una sola etapa.

3.2.3.2 Pan de proceso por esponja

Panes cuya mezcla de ingredientes se realiza en dos etapas con fermentaciones independientes.

3.2.4 Panes para regímenes especiales

Por panes para regímenes especiales se entienden los elaborados o preparados especialmente para satisfacer necesidades particulares de la alimentación humana. La composición de tales panes debe ser fundamentalmente diferente de la composición de los panes comunes de naturaleza análoga. Ejemplos de estos, son panes multicereales, sin levadura, sin azúcar, integrales, bajos en grasa, etc.

4. REQUISITOS GENERALES

4.1 En el pan la parte superior y las partes laterales de la corteza, no deben tener ampollas.

4.2 El color debe ser uniforme de dorado o ligeramente moreno. La corteza no debe estar quemada, ni tener hollín o materia extraña alguna.

4.3 La miga debe ser elástica porosa y uniforme, no debe ser pegajosa ni desmenuzable.

4.4 El olor y el sabor deben ser los característicos a su formulación y acordes con su clasificación.

4.5 El pan debe estar bien horneado y cocido, libre de olores y sabores desagradables.

4.6 Se permite la adición de harina de otros cereales, oleaginosas y tubérculos que hayan sido procesados de manera que sean aptos para alimentación humana.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1363 (Segunda actualización)

4.7 No se permite la adición de colorantes y otros aditivos diferentes a los aprobados por la legislación nacional vigente o el *Codex Alimentarius*, ni ningún otro componente que afecte la salud.

5. REQUISITOS ESPECÍFICOS

5.1 Los diferentes tipos de pan deben cumplir con los requisitos que aparecen en la Tabla 1.

NOTA Los requisitos indicados en la Tabla 1 tienen en cuenta que todos los ingredientes que constituyen las fórmulas, están calculados con base en 100 g de harina.

5.2 Por formulación, para su elaboración, los panes de sal deben tener como mínimo 1,5 g y máximo 2,5 g de sal en 100 g de harina.

5.3 Por formulación, para su elaboración, los panes dulces deben tener como mínimo 15 g y máximo 30 g de azúcar, melaza, panela u otro edulcorante en 100 g de harina.

5.4 El pH del pan lo define el proceso y su formulación, debe estar acorde con el tipo y la expectativa de su vida útil. Debe medirse inmediatamente después del horneado y, como valor mínimo, debe estar en 4,8 y como valor máximo en 6,0, excepto los panes para regímenes especiales o rellenos.

5.5 Para el pan de sal el valor mínimo es de 0 y máximo 14 % de azúcar contenido en g/100g de harina. Para el pan dulce el valor mínimo es de 15 y máximo 30 % de azúcar contenido en g/100g de harina.

Tabla 1. Requisitos del pan

Requisito	Pan blando		Pan de corteza		Pan tostados		Panes hojaldrados		Panes con fibra	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Grasa (g/100 g de harina)	6,0	18	-	4,0	-	12	20	40	-	-
Humedad, en % m/m	20	40	20	30	-	10	20	30	-	-
Fibra cruda, en %	-	-	-	-	-	-	-	-	15	30
Proteínas en %	9	-	9	-	9	-	9	-	9	-

5.6 REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS

5.6.1 Los requisitos para el pan sin relleno son los siguientes:

Requisitos microbiológicos en pan agentes microbianos	Límite por g			
	n	c	m	M
Mohos y Levaduras (UFC/g)	3	1	10 ²	10 ³

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1363 (Segunda actualización)

5.6.2 Los requisitos para pan con relleno, con coberturas o ambos, son:

Requisitos microbiológicos en pan Agentes microbianos	Límite por g			
	n	c	m	M
<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	3	2	0	0
<i>Staphylococcus aureus</i> coagulasa positivos (ufc/g)	3	2	0	0
<i>Salmonella</i> en 25g	3	0	0	---
Mohos y Levaduras UFC/g	3	2	10 ²	10 ³
<i>Bacillus cereus</i> UFC/g	3	1	10	10 ²

en donde

- n = tamaño de la muestra
- m = índice máximo permisible para identificar el nivel de buena calidad
- M = índice máximo permisible para identificar el nivel aceptable de calidad.
- c = número máximo de muestras permisibles con resultados entre m y M.

6 TOMA DE MUESTRAS Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO DEL PRODUCTO

6.1 TOMA DE MUESTRAS

La muestra de pan debe tomarse cuando su temperatura interna, sea igual a la temperatura ambiente.

Los planes de muestreo se podrán acordar entre las partes según lo establecido en la GTC 99, NTC-ISO 2859-1, NTC-ISO 2859-2, NTC-ISO 2859-3 y la NTC-ISO 3958.

6.2 ACEPTACIÓN O RECHAZO

Si la muestra ensayada no cumple con uno o más de los requisitos indicados en esta norma, de acuerdo con los criterios de aceptación o rechazo definidos por las partes en el plan de muestreo seleccionado (numeral 6.1), se rechazará el lote. En caso de discrepancia, se repetirán los ensayos sobre la muestra reservada para tales efectos.

Cualquier resultado no satisfactorio en este segundo caso será motivo para rechazar el lote.

7 MÉTODOS DE ENSAYO Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

7.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ANÁLISIS DEL PAN

Según el tipo de análisis, se deben tomar las muestras representativas. Para la toma de muestra del pan como producto terminado, se debe tener en cuenta lo indicado en la NTC 4491-1.

7.2 MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE *Escherichia coli*.

7.3 MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE *Staphylococcus aureus* coagulasa positivos

Se efectúa de acuerdo con lo indicado en la NTC 4779.

7.4 MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE *Salmonella* spp.

Se efectúa de acuerdo con lo indicado en la NTC 4574.

7.5 MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE MOHOS Y LEVADURAS

Se efectúa de acuerdo con lo indicado en la NTC 4132.

7.6 MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE *Bacillus cereus*

Se efectúa de acuerdo con lo indicado en la NTC 4679.

7.7 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

Se efectúa de acuerdo con lo indicado en la NTC 282.

7.8 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS

Se efectúa de acuerdo con lo indicado en la NTC 282.

7.9 DETERMINACIÓN DE LA GRASA

Se efectúa de acuerdo con lo indicado en la NTC 668.

7.10 DETERMINACIÓN DE AZÚCAR

Se efectúa de acuerdo con lo indicado en la NTC 440.

7.11 DETERMINACIÓN DEL pH DEL EXTRACTO ACUOSO

7.11.1 Reactivos

Agua destilada o desmineralizada de pH 6,2 a 7. Inmediatamente antes de usar el agua se hierve durante 10 min y luego se enfría a temperatura ambiente. Si el pH del agua no está dentro del intervalo requerido, se debe destilar en un equipo de vidrio.

7.11.2 Preparación del extracto acuoso del material

Se pesan 10 g de pan y se trituran en un mortero hasta obtener una pasta fina, se agregan 100 cm³ de agua y se mezcla cuidadosamente, se deja en reposo durante 15 min, se filtra la mezcla y se recoge el filtrado en un vaso de precipitados y se determina el pH en un potenciómetro con electrodo de vidrio.

7.12 DETERMINACIÓN DE LA FIBRA CRUDA

7.12.1 Reactivos

- a) Éter de petróleo.

Atención:

- c) Hidróxido de sodio 1,25 % exactamente preparado.
- d) Etanol de 95 % en volumen.

7.12.2 Procedimiento

7.12.2.1 Se pesan 2,5 g de muestra libre de humedad y se somete a extracción con éter de petróleo en un aparato Soxhlet, durante 1 h, luego se transfiere el material desengrasado a un matraz de 1 dm³, se calienta hasta ebullición en un vaso de precipitados 200 cm³ de ácido sulfúrico y después se transfiere el ácido en caliente al matraz y se calienta a reflujo durante 30 min, se debe revolver constantemente el contenido del matraz evitando que el pan se adhiera a las paredes y no esté en contacto con el ácido.

7.12.2.2 Se filtra el contenido del matraz a través de un lienzo fino. (18 hilos por cm) colocado en un embudo, se lava el residuo con agua caliente hasta que el agua del lavado sea neutra, lo cual se comprueba con papel tornasol.

7.12.2.3 En un vaso de precipitados se calientan hasta ebullición 200 cm³ de hidróxido de sodio, se transfiere el residuo que quedó en el lienzo al matraz y se adiciona el hidróxido de sodio hirviendo, se calienta a reflujo al matraz durante 30 min, se retira inmediatamente el matraz y se filtra a través de un lienzo (18 hilos x cm). Se lava cuidadosamente el residuo con agua hirviendo y se transfiere a un crisol Gooch, que ha sido preparado previamente con una copa de asbesto fina pero compacta.

7.12.2.4 Después se lava el residuo, primero con agua caliente y luego con 15 cm³ de alcohol etílico. Se seca el contenido de crisol a 105 °C ± 2 °C en una estufa hasta masa constante, se enfría y se pesa. Luego se calcina el contenido del crisol en una mufla a 600 °C ± 2 °C hasta que se halla eliminado todo el carbono, se enfría en un desecador y luego se pesa .

7.12.3 Cálculos

El contenido de fibra se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F = \frac{100 (m_1 - m_2)}{m}$$

en donde

- F = fibra cruda, en porcentaje en masa, en base seca.
- m_1 = masa del crisol Gooch y su contenido antes de calcinarlo, en gramos.
- m_2 = masa del crisol Gooch con asbestos y cenizas, en gramos.
- m = masa del pan libre de humedad empleado para análisis, en gramos.

7.13 DETERMINACIÓN DE COLORANTES

Se efectúa de acuerdo con el método de la Asociación of official analytical chemists. Washington 12 ed. Oficial method of analysis of the association of Official Analytical Chemists. Washington AOAC, 1975 P 631(AOAC synthetic organic color additives in foods).

Anexo 5. Análisis funcional de la harina de trigo, almidón de papa y la enzima alfa amilasa.

Mixolab

CHOPIN

Universidad Politécnica Estatal Carchi

Tulcan
Ecuador
92390 VILLENEUVE LA GARENNE
FRANCE

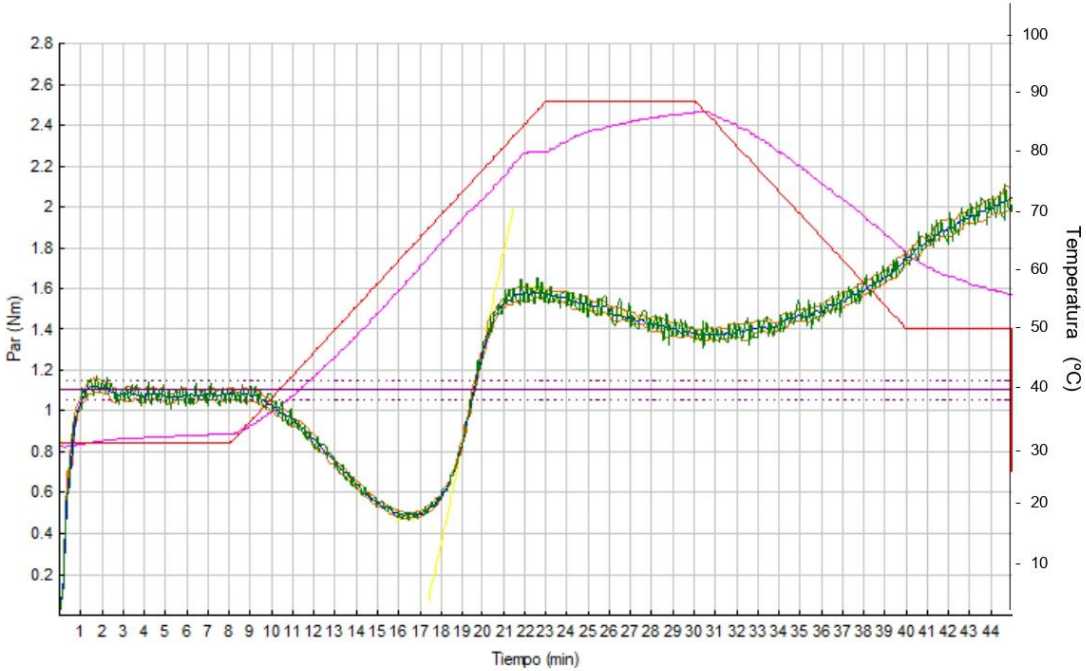
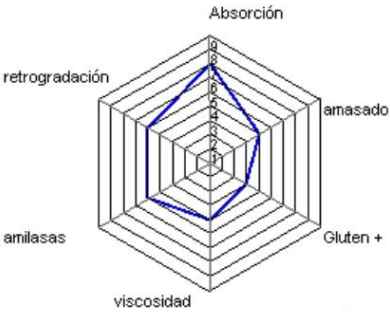
CHOPIN
TECHNOLOGIES
a KPM brand

UPEC - T0HT100%A3

Fecha : 12/11/2025 **Hora :** 17:24 **Protocolo :** Chopin+
Hydration : 61.1 % base 14% (b14) **Peso de la masa :** 75.0 g
Contenido de 13.0 % **Temperatura del depósito :** 30.0 °C
Indice: 7-43-455 **Velocidad de amasado :** 80 rpm

α :	-0.104	Nm/min
β :	0.482	Nm/min
γ :	-0.020	Nm/min

	Tiempo (min)	Par (Nm)	Temp. Masa (°C)	Amplitud (Nm)	Estabilidad (min)
C1	1.62	1.128	30.2	0.076	9.90
CS	8.00	1.079	31.6		7.2
C2	16.33	0.489	58.0		
C3	22.55	1.589	81.1		
C4	30.43	1.370	88.1		
C5	45.00	2.039	56.2		



UPEC

Amasado

1/1

Nº de aparato : 918

Versión4.1.3.16+4.1t