

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: **“Evaluación integral de una pasta tipo spaghetti elaborada a partir de harina de *Lupinus mutabilis* y harina de *Amaranthus spp*”**

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

AUTORA: Durazno Yandún Génessis Yessenia

TUTOR: MSc. Burbano Pulles Marco Rubén. PhD.

Tulcán, 2026.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que la estudiante Durazno Yandún Génessis Yessenia con el número de cédula 1727168823 respectivamente ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación integral de una pasta tipo spaghetti elaborada a partir de harina de *Lupinus mutabilis* y harina de *Amaranthus spp*"

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.

MSc. Burbano Pulles Marco Rubén. PhD.

TUTOR

Tulcán, septiembre 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, Durazno Yandún Génessis Yessenia con cédula de identidad número 1727168823 respectivamente declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



Durazno Yandún Génessis Yessenia

AUTORA

Tulcán, septiembre de 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Durazno Yandún Génessis Yessenia declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación integral de una pasta tipo spaghetti elaborada a partir de harina de *Lupinus mutabilis* y harina de *Amaranthus spp*" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Durazno Yandún Génessis Yessenia

AUTORA

Tulcán, septiembre de 2026

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, institución que me abrió sus puertas y me permitió adquirir los conocimientos, competencias y valores necesarios para mi formación profesional. Gracias por brindarme los espacios, recursos y oportunidades que hicieron posible el desarrollo de esta investigación

Expreso mi sincero agradecimiento a mi tutor, MSc. Marco Rubén Burbano Pulles PhD, por su valiosa orientación, dedicación y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo. Sus conocimientos, observaciones y recomendaciones fueron fundamentales para fortalecer esta investigación y culminarla satisfactoriamente.

A los docentes de la carrera de Alimentos, quienes contribuyeron significativamente a mi formación académica y profesional. Gracias por transmitir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas, que hoy constituyen una base sólida para enfrentar los desafíos del ejercicio profesional.

A mis padres y familiares, por ser mi principal fuente de inspiración y motivación. Gracias por su amor incondicional, por cada palabra de aliento, por comprender las largas jornadas de estudio y por ayudarme a cada decisión tomada a lo largo de mi formación universitaria. Su confianza y respaldo fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por permitirme llegar hasta este momento y poder culminar esta etapa de mi vida.

En memoria de mis abuelitos Enrique Yandún y Amelia España, quienes hoy no están físicamente conmigo, pero sí presentes en mi corazón. Gracias por haberme recibido siempre con amor y cariño y por haber sido parte importante de mi camino. Aunque no puedan estar aquí para compartir este logro, sé que desde el cielo me acompañan y se sienten orgullosos de mí. Su amor y sus recuerdos vivirán siempre en mi corazón.

A mis padres, Holger Durazno y Rocío Yandún, por ser parte fundamental de este logro. A mi padre, por estar siempre pendiente de mí, preocupado por mi bienestar y acompañándome a pesar de la distancia y de las dificultades que hemos atravesado. A mi madre, por permanecer a mi lado en cada uno de los altos y bajos de esta carrera, por cuidarme, apoyarme y demostrarme, incluso en los momentos más difíciles, que siempre podía con ella. Este logro también es de ustedes.

A mi hermano Vladimir Durazno, por sentirse orgulloso de cada uno de mis logros, grandes o pequeños, por estar pendiente de mí y brindarme su apoyo a lo largo de este camino. A mi cuñada Steffany Villareal, por estar presente en las buenas y en las malas, por acompañar a nuestra familia en los momentos difíciles y por ser un pilar importante para mi hermano. Gracias a ambos por su cariño, apoyo y por formar parte de este logro tan importante de mi vida.

A mis tías Victoria Yandún y Olga Yandún, por estar siempre pendientes de mí, por su cariño y por acompañarme durante este proceso. De igual manera, a mis primos Mishel Castro, Cristian Castro y Alejandra Villareal, por su cariño, apoyo y por formar parte de mi vida y de este camino. Gracias por estar presentes de una u otra manera durante esta etapa y por compartir conmigo la alegría de alcanzar este logro.

Finalmente, a mis amigos Michael Portilla, Alejandra Cusangua y Jhonatan Chamorro, quienes han sido una parte importante de esta etapa universitaria. Gracias por compartir conmigo tantos momentos, por estar presentes en los días buenos y no tan buenos, y por brindarme su amistad, apoyo y compañía a lo largo de esta carrera. Y, de manera muy especial, a mi compañero de tantas amanecidas, Thor, mi perrito, por acompañarme en esas largas noches de estudio y hacer más llevaderos los momentos de cansancio y estrés.

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	21
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.2. MARCO TEÓRICO	24
2.2.1. <i>Lupinus Mutabilis</i>	24
2.2.2. <i>Amaranthus spp</i>	28
2.2.3. Harinas compuestas	30
2.2.4. Pasta: Origen, historia y composición	32
2.2.5. Proceso de obtención de harinas	34
2.2.6. Harinas y su importancia tecnológica	36
2.2.7. Pastas y su importancia tecnológica	38
III. METODOLOGÍA	41
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	41
3.1.1. Enfoque	41
3.1.2. Tipo de Investigación	42
3.2. HIPÓTESIS	42

3.2.1. Hipótesis nula:.....	42
3.2.2. Hipótesis alternativa:	42
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	42
3.3.1. Definición de las variables.....	42
3.3.2. Operacionalización de las variables	43
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	44
3.4.1. Humedad.....	48
3.4.2. Proteína	48
3.4.3. Ceniza.....	49
3.4.4. Grasa	49
3.4.5. Fibra	50
3.4.6. Gluten	51
3.4.7. Mixolab	54
3.4.8. Análisis reológico de las harinas	57
3.4.10. Texturometría de la pasta obtenida a partir de los diferentes tratamientos	60
3.4.11. Método para análisis microbiológico	62
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	64
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1. RESULTADOS	66
4.1.1. Caracterización fisicoquímica de la pasta tipo spaghetti.....	66
4.1.2. Resultados microbiológicos.....	72
4.1.3. Propiedades reológicas.....	73
4.1.4. Análisis mixolab de la harina de pasta tipo spaghetti	80
4.1.5. Propiedades texturales de la pasta tipo spaghetti	87
4.1.6. Evaluación sensorial	96
4.2. DISCUSIÓN	100
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114

5.1. CONCLUSIONES	114
5.2. RECOMENDACIONES.....	116
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
VII. ANEXOS.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del <i>Lupinus mutabilis</i> .	25
Tabla 2. Composición nutricional del grano de chocho en base seca.	26
Tabla 3. Clasificación taxonómica del amaranto	28
Tabla 4. Contenido nutricional del grano de amaranto en base seca	29
Tabla 5. Técnicas de procesamiento y su efecto en el amaranto.	30
Tabla 6. Aportaciones de nutrientes de diversos tipos de harinas.	32
Tabla 7. Principales ingredientes en la elaboración de pastas y su aporte	33
Tabla 8. Composición nutritiva por 100 g de porción comestible en crudo.	34
Tabla 9. Operacionalización de variables para sustitución de harina de trigo por harina de chocho y amaranto.	43
Tabla 10. Formulación de la pasta tipo spaghetti	44
Tabla 11. Tratamientos con diferentes porcentajes.	64
Tabla 12. Caracterización fisicoquímica	66
Tabla 13. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia en el parámetro de humedad.	66
Tabla 14. Análisis de varianza del aspecto humedad	67
Tabla 15. Prueba de Tukey del aspecto de humedad	67
Tabla 16. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia.	67
Tabla 17. Análisis de varianza de ceniza	67
Tabla 18. Prueba de Tukey de ceniza.	68
Tabla 19. Normalidad, homocedasticidad e independencia de grasa.	68
Tabla 20. Análisis de varianza de grasa	68
Tabla 21. Prueba de Tukey de grasa.	69
Tabla 22. Normalidad, homocedasticidad e independencia de proteína.	69
Tabla 23. Análisis de varianza de proteína.	69
Tabla 24. Prueba Tukey de proteína.	69
Tabla 25. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia de fibra.	70
Tabla 26. Análisis de varianza de fibra	70
Tabla 27. Prueba Tukey de fibra	71
Tabla 28. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia de gluten.	71
Tabla 29. Análisis de varianza de gluten	71
Tabla 30. Prueba Tukey de gluten	72
Tabla 31. Análisis Aerobios mesófilos de la pasta tipo spaghetti	73
Tabla 32. Análisis Coliformes Totales de la pasta tipo spaghetti.	73
Tabla 33. Análisis de Mohos y levaduras de la pasta tipo spaghetti.	73
Tabla 34. Perfil RVA	73
Tabla 35. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia.	73
Tabla 36. Análisis de varianza.	74
Tabla 37. Prueba Tukey	74
Tabla 38. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia	75
Tabla 39. Análisis de varianza.	75
Tabla 40. Prueba Tukey	75
Tabla 41. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia	76
Tabla 42. Análisis de varianza.	76
Tabla 43. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.	76
Tabla 44. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia	77
Tabla 45. Análisis de varianza.	77

Tabla 46. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.	77
Tabla 47. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia	78
Tabla 48. Análisis de varianza.....	78
Tabla 49. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.	79
Tabla 50. Resultado de mixolab.....	81
Tabla 51. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia	81
Tabla 52. Prueba de Kruskal Wallis.....	81
Tabla 53. Prueba de Dunn	81
Tabla 54. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia	82
Tabla 55. Análisis de varianza.....	82
Tabla 56. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.	82
Tabla 57. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia	82
Tabla 58. Prueba de Kruskal Wallis.....	83
Tabla 59. Prueba de Dunn	83
Tabla 60. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia	83
Tabla 61. Prueba de Kruskal Wallis.....	83
Tabla 62. Prueba de Dunn	84
Tabla 63. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia	84
Tabla 64. Análisis de varianza.....	84
Tabla 65. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.	84
Tabla 66. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia	85
Tabla 67. Análisis de varianza.....	85
Tabla 68. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.	85
Tabla 69. Propiedades texturales.....	87
Tabla 70. Pruebas de supuestos.....	87
Tabla 71. Prueba de Kruskal Wallis.....	88
Tabla 72. Prueba de Dunn	88
Tabla 73. Prueba de supuestos.	88
Tabla 74. Análisis de varianza.....	89
Tabla 75. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.	89
Tabla 76. Prueba de supuestos.	89
Tabla 77. Análisis de varianza.....	89
Tabla 78. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas	90
Tabla 79. Prueba de supuestos	90
Tabla 80. Prueba de Kruskal Wallis.....	90
Tabla 81. Prueba de Dunn	90
Tabla 82. Prueba de supuestos.	91
Tabla 83. Prueba de Kruskal Wallis.....	91
Tabla 84. Prueba de Dunn	91
Tabla 85. Prueba de supuestos.	92
Tabla 86. Análisis de varianza.....	92
Tabla 87. Prueba Tukey de los tratamientos y diferencias estadísticamente significativas.....	93
Tabla 88. Prueba de supuestos.	93

Tabla 89. Prueba de Kruskal Wallis.....	93
Tabla 90. Prueba de Dunn	93
Tabla 91. Prueba de supuestos	94
Tabla 92. Prueba de Kruskal Wallis.....	94
Tabla 93. Prueba de Dunn	94
Tabla 94. Prueba de Friedman.....	96
Tabla 95. Tabla sensorial	97
Tabla 96. Mejor tratamiento	99
Tabla 97. Ranking global.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo para la elaboración de una pasta tipo spaghetti de harina de trigo, harina de chocho y harina de amaranto.....	45
Figura 2. Curva de calibración para la cuantificación de gliadina mediante ELISA..	53
Figura 3. Diagrama de caja y bigote para proteína.....	70
Figura 4. Diagrama de caja y bigote para fibra.....	71
Figura 5. Diagrama de caja y bigote para gluten.....	72
Figura 6. Diagrama de caja y bigote peak viscosity.....	74
Figura 7. Diagrama de caja y bigote pasting temperature.....	75
Figura 8. Diagrama de caja y bigote breakdown.....	77
Figura 9. Diagrama de caja y bigote final viscosity.....	78
Figura 10. Diagrama de caja y bigote setback from trough.....	79
Figura 11. Diagrama de caja y bigote trabajo de corte.....	88
Figura 12. Diagrama de caja y bigote dureza.....	91
Figura 13. Diagrama de caja y bigote pegajosidad.....	92
Figura 14. Gráfico de telaraña sensorial de la pasta tipo spaghetti.....	98
Figura 15. Ranking global de los tratamientos.....	99
Figura 16. Secado de la pasta.....	125
Figura 17. Pasta almacenada.....	125
Figura 18. Determinación de proteína de la pasta.....	125
Figura 19. Determinación de gluten de la pasta.....	125
Figura 20. Análisis sensorial de la pasta.....	125
Figura 21. Grasa de la pasta.....	125
Figura 22. Ceniza de la pasta.....	126
Figura 23. Humedad de la pasta.....	126

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado Abstract	123
Anexo 2. Memoria.....	125
Anexo 3. Ficha sensorial	127

RESUMEN

La incorporación de materias primas andinas en alimentos de consumo habitual constituye una alternativa para mejorar su calidad nutricional y diversificar el aprovechamiento de cultivos locales. El objetivo de esta investigación fue evaluar integralmente el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por una mezcla 50:50 de harina de chocho (*Lupinus mutabilis*) y amaranto (*Amaranthus spp.*) sobre las características nutricionales, tecnológicas y sensoriales de una pasta tipo spaghetti. Se aplicó un diseño experimental cuantitativo con cinco tratamientos y tres repeticiones: T0 (100 % trigo) y T1, T2, T3 y T4, con 10, 20, 30 y 40 % de sustitución, respectivamente. Las formulaciones se evaluaron mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos, propiedades de empastamiento, comportamiento de la masa mediante Mixolab, propiedades texturales y aceptación sensorial. Los datos se analizaron mediante pruebas paramétricas o no paramétricas según el cumplimiento de los supuestos estadísticos y se aplicó un análisis multicriterio para establecer el desempeño integral. T4 presentó el perfil nutricional más favorable, con 26,12 % de proteína, 10,23 % de grasa, 2,71 % de fibra y 1,61 % de cenizas. También registró la menor concentración de gluten (27,02 mg/kg); sin embargo, superó el límite de 20 mg/kg para alimentos exentos de gluten, por lo que no puede considerarse libre de gluten. El incremento de la sustitución redujo la viscosidad máxima, la viscosidad final y el setback, además de disminuir la estabilidad de la masa. Sensorialmente, T4 mostró un comportamiento favorable. El análisis multicriterio ubicó a T0 en primer lugar global y a T4 en segundo lugar, destacándose T4 entre las formulaciones enriquecidas por su aporte nutricional y aceptación sensorial.

Palabras Claves: *Lupinus mutabilis*, *Amaranthus spp.*, pasta tipo spaghetti, harinas compuestas, calidad nutricional.

ABSTRACT

The incorporation of Andean raw materials into commonly consumed foods represents an alternative for improving nutritional quality and diversifying the agro-industrial use of local crops. This study aimed to comprehensively evaluate the effect of partially replacing wheat flour (*Triticum aestivum*) with a 50:50 blend of Andean lupin (*Lupinus mutabilis*) and amaranth (*Amaranthus spp.*) flours on the nutritional, technological, and sensory characteristics of spaghetti-type pasta. A quantitative experimental design was applied using five treatments and three replicates: T0 (100% wheat flour) and T1, T2, T3, and T4, corresponding to substitution levels of 10, 20, 30, and 40%, respectively. The formulations were evaluated through physicochemical and microbiological analyses, pasting properties, dough behavior using Mixolab, textural properties, and sensory acceptance. Data were analyzed using parametric or non-parametric tests according to the corresponding statistical assumptions, and multicriteria analysis was applied to determine overall performance. T4 showed the most favorable nutritional profile, with 26.12% protein, 10.23% fat, 2.71% fiber, and 1.61% ash. It also had the lowest gluten concentration (27.02 mg/kg); however, this exceeded the 20 mg/kg threshold for gluten-free foods, so the product cannot be considered gluten-free. Increasing substitution reduced peak viscosity, final viscosity, and setback, and also decreased dough stability. Sensory evaluation showed favorable performance for T4. Multicriteria analysis ranked T0 first overall and T4 second, with T4 standing out among the enriched formulations for its nutritional contribution and sensory acceptance.

Keywords: *Lupinus mutabilis*, *Amaranthus spp.*, spaghetti-type pasta, composite flours, nutritional quality.

INTRODUCCIÓN

Una nutrición equilibrada es fundamental para preservar el bienestar de la población, impulsando la preferencia por alimentos que no solo cubran el requerimiento calórico diario. En este escenario, el sector agroalimentario enfrenta el desafío de formular productos alimenticios capaces de equilibrar un perfil nutricional optimizado, un requerimiento tecnológico adecuado y una aceptabilidad por parte del consumidor. La pasta, al ser un alimento de consumo habitual elaborado tradicionalmente con trigo, presenta oportunidades de mejora mediante la incorporación de materias primas con mayor aporte proteico, de fibra y de otros nutrientes. Aunque la reducción parcial de harina de trigo puede disminuir el contenido de gluten, esta modificación no convierte automáticamente al producto en libre de gluten ni lo hace apto para personas con enfermedad celíaca (Baraniak & Kania-Dobrowolska, 2022).

Ante esta problemática, la revalorización de cultivos ancestrales andinos surge como estrategia eficaz para fortalecer la seguridad alimentaria y diversificar la dieta. Especies como el chocho (*Lupinus mutabilis*) y el amaranto (*Amaranthus spp*) destacan por su excepcional densidad nutricional y su capacidad de adaptación agronómica. El chocho aporta un notable contenido de proteínas (41 – 53 % en base seca, en estado desamargado) y lípidos ricos en ácidos grasos esenciales; por su parte, el amaranto complementa esta matriz al ser una fuente importante de fibra, minerales y aminoácidos limitantes en cereales, particularmente lisina y metionina (Nandan et al., 2024).

La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar integralmente el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de chocho y amaranto en la formulación de una pasta tipo spaghetti, analizando el impacto fisicoquímico, reológico y sensorial de las diferentes formulaciones. Al buscar el desarrollo de una alternativa alimentaria más nutritiva, el estudio busca también impulsar la agroindustria local aprovechando los recursos autóctonos de la región andina ecuatoriana, alineándose con los objetivos de soberanía alimentaria y valorización de la biodiversidad.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La alimentación equilibrada desempeña un papel fundamental en el desarrollo y mantenimiento de la salud, lo que ha incrementado el interés por alimentos que, además de satisfacer las necesidades energéticas, aporten una composición nutricional favorable y presenten características sensoriales aceptables. En este contexto, la pasta de trigo constituye una matriz de consumo habitual cuya composición puede ser mejorada mediante la incorporación de materias primas de mayor densidad nutricional (Taype, 2015).

La pasta convencional se formula principalmente con harina de trigo, cuya fracción proteica forma una red de gluten que contribuye a la cohesión, elasticidad y resistencia del producto. Sin embargo, desde el punto de vista nutricional, la sustitución parcial de trigo por ingredientes de origen andino como el chocho (*Lupinus mutabilis*) y el amaranto (*Amaranthus spp.*) representa una alternativa para incrementar el contenido de proteína, fibra y minerales, aunque puede generar modificaciones en la hidratación, gelatinización del almidón, estabilidad de la masa y textura final (Olivares, 2015).

El control riguroso del contenido proteico reactivo resulta imprescindible en alimentos orientados a personas con trastornos asociados al gluten, como la condición celiaca (Muñis Morales, 2021). Según la norma CXS 118-1979 del Codex Alimentarius, se fija un umbral máximo de 20 mg/kg para otorgar la condición de "libre de gluten". En esta investigación, aunque la formulación T4 evidenció un descenso representativo frente al tratamiento testigo (T0), registrando $27,02 \pm 0,869$ mg/kg, sobrepasa el límite normativo estipulado. Por lo tanto, dicha formulación debe catalogarse como una pasta alimenticia de contenido reducido en gluten o parcialmente reducida, mas no como un producto apto para dietas celiacas (Zumba, 2022).

La enfermedad celíaca es un trastorno autoinmune crónico desencadenado por la ingestión de gluten en personas susceptibles. Debido a que el tratamiento de esta condición requiere una dieta estrictamente libre de gluten, cualquier formulación

que contenga harina de trigo y supere el límite normativo correspondiente debe diferenciarse claramente de un alimento destinado a dicha población. Esta consideración es fundamental para evitar interpretaciones incorrectas de los resultados de reducción de gluten obtenidos en la presente investigación (Rubio-Tapia et al., 2023).

El Codex Alimentarius, mediante CXS 118-1979, establece el criterio de 20 mg/kg (20 ppm) como límite para los alimentos que se declaran exentos de gluten. En este estudio, T4 alcanzó $27,02 \pm 0,869$ mg/kg, por lo que, aunque presentó una reducción de 12,75 % respecto de T0, no cumple el límite para una declaración de alimento libre de gluten. Por tanto, la formulación debe describirse como una pasta con contenido reducido de gluten o pasta enriquecida de baja concentración de gluten, sin atribuirle aptitud para personas con enfermedad celíaca (Catassi et al., 2007).

Paralelamente, la dependencia de la industria alimentaria ecuatoriana respecto del trigo importado representa una oportunidad para fortalecer la utilización de cultivos andinos. La incorporación de chocho y amaranto en una matriz de consumo habitual como la pasta permite diversificar la oferta, generar valor agregado a materias primas locales y estudiar alternativas con mayor densidad nutricional, manteniendo como desafío el equilibrio entre el enriquecimiento nutricional y el desempeño tecnológico.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es viable la obtención de una pasta tipo spaghetti elaborada a partir de harina de *Lupinus mutabilis* y *Amaranthus spp* con adecuados atributos de calidad?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Los cultivos andinos han constituido históricamente componentes importantes de la alimentación de las poblaciones de la región andina debido a su adaptación agroecológica y a su composición nutricional. El chocho (*Lupinus mutabilis*) y el amaranto (*Amaranthus spp.*) representan materias primas de interés para el desarrollo de alimentos con mayor aporte de proteína, fibra y minerales. La utilización de estas especies en productos de consumo habitual contribuye además a diversificar el aprovechamiento agroindustrial de recursos locales. (Pruna Tapia, 2020)

La incorporación de harina de chocho y amaranto en la formulación de pasta tipo spaghetti responde principalmente a un interés nutricional y tecnológico. En T4, la

sustitución del 40 % permitió alcanzar 26,12 % de proteína y 2,71 % de fibra, valores superiores a los observados en el tratamiento control. Este incremento demuestra el potencial de las harinas andinas para enriquecer nutricionalmente una matriz farinácea; sin embargo, también exige evaluar los cambios producidos en la estructura, la viscosidad, la estabilidad de la masa y la textura del producto (Grand View Research, 2024).

El amaranto es un pseudocereal de interés por su contenido de proteínas, fibra, minerales y aminoácidos esenciales, mientras que el chocho destaca por su elevada concentración proteica y su aporte de lípidos y fibra. La combinación de ambas materias primas permite complementar la composición de la harina de trigo y desarrollar una pasta diferenciada desde el punto de vista nutricional. En la presente investigación, estos beneficios deben interpretarse conjuntamente con las modificaciones tecnológicas producidas por la sustitución parcial del gluten (Vedia et al., 2016).

La harina de chocho constituye una materia prima prometedora para el enriquecimiento de productos alimenticios debido a su elevado contenido de proteínas y otros componentes nutricionales. Sin embargo, la presencia de alcaloides quinolizidínicos en el grano hace indispensable que la materia prima destinada al consumo haya sido previamente sometida a un proceso adecuado de desamargado. Asimismo, aunque el chocho y el amaranto pueden disminuir la proporción de trigo y, con ello, el contenido de gluten, la formulación T4 de esta investigación no cumple el límite de 20 mg/kg; por tanto, no debe presentarse como una alternativa libre de gluten para personas con enfermedad celíaca (Llerena, 2022).

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar integralmente el efecto de sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de chocho y amaranto en la elaboración de una pasta tipo spaghetti.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diferenciar el comportamiento reológico de las harinas formuladas.

- Analizar las propiedades fisicoquímicas, texturales y microbiológicas de las pastas elaboradas a partir de las diferentes formulaciones.
- Explicar la aceptación sensorial de las pastas formuladas.
- Concluir la formulación con mejor desempeño nutricional, tecnológico y sensorial.

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Existen diferencias en el comportamiento reológico entre las diferentes formulaciones de harinas utilizadas para la obtención de las pastas?
- ¿Cómo varían las propiedades fisicoquímicas, texturales y microbiológicas de las pastas elaboradas a partir de las diferentes formulaciones?
- ¿Cuál es el nivel de aceptación sensorial de las pastas elaboradas con las diferentes formulaciones y qué atributos presentan mayor influencia en su aceptación?
- ¿Cuál de las formulaciones presenta el mejor desempeño integral considerando sus características nutricionales, tecnológicas y sensoriales?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Ponce et al. (2018) estudiaron la "Sustitución parcial de harina de trigo por harina de lupino (*Lupinus mutabilis* Sweet) en la elaboración de pasta larga", empleando la metodología de superficie de respuesta. Para ello utilizaron un diseño factorial 2^2 con cuatro puntos centrales y posteriormente un diseño central de sustitución (15 – 30%) y la cantidad de huevos incorporada (10 20 %). Los autores determinaron que la formulación con 25% de harina de lupino y 18 % de huevo presentó condiciones favorables en parámetros como el índice de absorción de agua (IAA), la pérdida de sólidos y la humedad. Asimismo, señalaron que *Lupinus mutabilis* Sweet presenta un contenido proteico elevado, aproximadamente entre 40% y 50% en base seca, además de fibra dietética, lípidos insaturados y compuestos bioactivos. Estos resultados constituyen un referente para la presente investigación debido a que permiten comparar el efecto de diferentes niveles de sustitución sobre las características de la pasta.

Spina et al. (2023), en su investigación "Nutritional features of flour blends composed of durum wheat and lupin" analizaron el efecto de incorporar harina y concentrado proteico de lupino a sémola de trigo duro, utilizando diferentes niveles de adición. Los autores evaluaron porcentajes de 3%, 7%, 10% y 15% de estos ingredientes con el propósito de determinar su influencia sobre la composición nutricional y las propiedades de las mezclas. La incorporación de harina de lupino permitió incrementar de manera significativa el contenido de proteína, así como el aporte de lisina y fibra dietética. Además, los tratamientos con mayores niveles de incorporación modificaron algunas propiedades reológicas, principalmente por un aumento en la absorción de agua y una reducción de la extensibilidad. Estos resultados permiten establecer una relación con el comportamiento reológico y el incremento del contenido proteico observado en las formulaciones evaluadas en este estudio.

Qumbisa et al. (2022), en su estudio "Effect of *Amaranthus* leaf powder addition on the nutritional composition, physical quality and consumer acceptability of instant noodles", evaluaron la incorporación de harina de hoja de amaranto en fideos instantáneos mediante niveles de 1%, 2%, y 3%. Los resultados mostraron un incremento del contenido de grasa, que pasó de 1,55% en el tratamiento control a 4,57% cuando se utilizó 3% de harina de hoja de amaranto, equivalente a un aumento relativo cercano al 200%. También se observaron cambios favorables en la textura, caracterizados por una menor dureza instrumental y una mayor elasticidad. En la evaluación sensorial, el color de los fideos formulados con 2% de harina de hoja de amaranto obtuvo una valoración positiva por parte del 78% de los participantes.

Moposita et al. (2023), en "Pastas alimenticias enriquecidas con harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus*)", desarrollaron pastas alimenticias utilizando diferentes proporciones de harina de quinua y amaranto. Se evaluaron nueve formulaciones, combinando 7%, 10% y 13% de quinua con 7%, 9%, y 11% de amaranto. De acuerdo con los análisis bromatológicos, el tratamiento que contenía 13% de quinua y 11% de amaranto presentó 16,45% de proteína, valor que representó un incremento de hasta 60% en comparación con las pastas convencionales elaboradas a base de trigo, cuyo contenido se encontraba entre 9% y 11%. Además, dicha formulación presentó 8,5 % de fibra, 5,2 % de grasa y 2,1 % de cenizas. Estos resultados respaldan la relación existente entre el aumento de ingredientes alternativos y la mejora del aporte nutricional de las pastas.

Karoui et al. (2023), en "Formulation of pasta enriched with protein-rich lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet) and wheat bran using mixture design approach" publicado en *Journal of Food Science* (Factor de Impacto: 3,9), emplearon el *Software NemrodW* para optimizar la formulación de spaghetti enriquecido con harina de lupino y salvado de trigo. La evaluación de las características fisicoquímicas demostró que la adición de harina de lupino resulta en una mejora del valor nutricional del spaghetti enriquecido, con incremento en proteína, fibra y capacidad antioxidante, respaldando la viabilidad de esta clase de sustituciones a nivel industrial.

Lux et al. (2023), en "Physical quality of gluten-free doughs and fresh pasta made of amaranth", publicado en *Food Science & Nutrition* (MDPI), investigaron la calidad física de pastas frescas libres de gluten a base de harina de amaranto. Los resultados demostraron que la pregelatinización del almidón contenido en la harina de amaranto mejora las propiedades reológicas de las masas y la calidad de cocción

de la pasta. Este estudio, con datos instrumentales de reometría Anton Paar y análisis de textura TPA, aporta evidencia técnica directamente comparable con los análisis mixolab y Texturómetro realizados en la presente investigación.

Choquetico-Iquiapaza et al. (2024), en "Effect of Andean Lupin (*Lupinus mutabilis*) genotype and harvest altitude on the chemical composition and nutritional quality of flours", publicado en Food Bioscience (ScienceDirect), analizaron la influencia del genotipo y de la altitud de cosecha sobre la composición química y el valor nutricional de harinas obtenidas de *Lupinus mutabilis*. Los resultados evidenciaron variaciones en la composición de las harinas dependiendo de ambos factores. El contenido de proteína se ubicó entre 40 % y 55 % en base seca, mientras que los lípidos representaron entre 14 % y 20 %, con presencia variable de ácidos grasos poliinsaturados. Esta información resulta útil para comprender que la composición de la materia prima puede presentar variaciones y, por tanto, influir en las características de las formulaciones estudiadas.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. *Lupinus Mutabilis*

El chocho, una leguminosa originaria de los Andes de Bolivia, Ecuador y Perú, es de importancia estratégica en la alimentación debido a su alto valor nutricional. Además, presenta características agronómicas destacables, como su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico y su adaptabilidad a ecosistemas secos situados a altitudes entre 2800 y 3600 m.s.n.m. Estas cualidades hacen del chocho un cultivo relevante tanto para la seguridad alimentaria como para la sostenibilidad agrícola en zonas de alta montaña. En el país el cultivo de chocho se localiza en las provincias de Bolivia, Pichincha, Chimborazo, Carchi, Cotopaxi, Tungurahua e Imbabura (Arellano Martínez, 2022).

Una característica relevante de las leguminosas es su capacidad de asociarse con bacterias fijadoras de nitrógeno. Esta relación ocurre principalmente en estructuras especializadas de las raíces, conocidas como nódulos, donde el nitrógeno atmosférico es transformado en formas que pueden ser aprovechadas por la planta. Este mecanismo contribuye a que estas especies puedan desarrollarse incluso en terrenos con baja disponibilidad de nutrientes.

El género *Lupinus* pertenece a la familia Fabaceae y comprende aproximadamente entre 300 y 400 especies. Estas plantas pueden desarrollarse en diferentes condiciones

edáficas, aunque presentan características particulares de adaptación frente a suelos ácidos y salinos. Algunas especies silvestres reciben denominaciones tradicionales de origen aymara y quechua, entre ellas “ckera”, “pachackera” y “ckera janckas”.

Entre las especies domesticadas del género *Lupinus* destaca *Lupinus mutabilis* Sweet, conocida también como tarwi. Su presencia se extiende por diferentes países de la región andina, entre ellos Ecuador, Perú y Bolivia, además de algunas zonas de Chile y el norte de Argentina. La denominación utilizada para esta especie cambia según la región; en el norte de la Sierra ecuatoriana se conoce como “chocho”, mientras que en otras zonas recibe los nombres de “tarwi” o “tauri” (Taco-Taype & Zúñiga-Dávila, 2020).

La clasificación taxonómica de *Lupinus mutabilis*, conocido comúnmente como chocho, se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del *Lupinus mutabilis*.

Clasificación		
	Dominio	Eucariota
	Reino	Plantae
	División	Espermatofitas
	Subdivisión	Angiosperma
	Clase	Dicotiledoneas
	Subclase	Arquiclamideas
	Orden	Rosales
	Familia	Leguminosas
	Género	<i>Lupinus</i>
	Nombre común	Tarwi, chocho

Fuente: Astudillo (2016).

El chocho constituye una fuente importante de nutrientes, especialmente de proteínas. Cuando se combina con cereales, puede complementar el perfil de aminoácidos aportado por estos alimentos, contribuyendo a obtener una fuente proteica de mayor calidad nutricional

Asimismo, el chocho presenta una fracción lipídica importante, caracterizada principalmente por la presencia de ácidos grasos insaturados, entre los que se encuentran el oleico, linoleico y linolénico. Estos componentes forman parte de procesos relacionados con el desarrollo y funcionamiento del organismo.

La fibra, presente principalmente en la cascara de chocho una vez desamargado, alcanza un contenido del 10,37% y contribuye a la saciedad, lo que puede ayudar en la prevención de la obesidad, el estreñimiento y la compresión en el tracto

intestinal. La cascara es una fuente importante de minerales, con una concentración promedio de calcio de 0,48% y fósforo de 0,43% (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2023).

La molécula de proteína está compuesta por aminoácidos unidos mediante enlaces peptídicos. La unión de un pequeño número de aminoácidos da lugar a un péptido; cuando el número supera los 10, se denomina polipéptido y cuando la cadena supera los 20 aminoácidos, se habla de una proteína.

Las proteínas son fundamentales para el organismo, ya que cumplen con diversas funciones esenciales, incluyendo la regulación del metabolismo, el transporte de moléculas, la defensa inmunológica y la catálisis de reacciones bioquímicas.

En el chocho, el contenido proteico varía según el método de procesamiento. En su estado natural, esta leguminosa presenta un 47% de proteínas, mientras que tras el procesamiento su contenido proteico puede alcanzar 54,05% como se muestra en la tabla 2 (Llerena, 2022).

Tabla 2. Composición nutricional del grano de chocho en base seca

Componente	Chocho amargo (%)	Chocho desamargado (%)
Proteína	47,80	54,05
Grasa	18,90	21,22
Fibra	11,07	10,37
Ceniza	4,52	2,54
Extracto libre de nitrógeno	17,62	11,82
Potasio	1,22	0,02
Magnesio	0,24	0,07
Calcio	0,12	0,48
Fósforo	0,60	0,43
Hierro	78,45	74,25
Zinc	42,84	63,21
Manganeso	36,72	18,47
Cobre	12,65	7,99
Alcaloides	3,26	0,03

Fuente: Llerena (2022).

Las proteínas están constituidas por bloques fundamentales denominados aminoácidos, los cuales constituyen su estructura elemental. El código genético codifica específicamente 20 aminoácidos alfa, cuya unión mediante enlaces peptídicos da lugar a péptidos; cuando estas cadenas peptídicas alcanzan una masa molecular considerable, se consideran proteínas propiamente dichas.

Cada aminoácido está compuesto por un grupo amino (-NH₂), un grupo carboxilo (-COOH), ambos enlazados a un carbono central (α -carbono), y una cadena lateral

específica que varía según el tipo de aminoácido. Esta cadena lateral determina las propiedades y funciones de cada aminoácido dentro de la estructura proteica.

Los aminoácidos se clasifican en función de las propiedades de sus cadenas laterales: los aminoácidos apolares son hidrófobos, evitando interacciones con el agua, mientras que los polares son hidrófilos y se disuelven fácilmente en medios acuosos. Los aminoácidos ácidos poseen un grupo carboxilo en su cadena lateral que, al disociarse en el pH celular, adquiere una carga negativa. Por otro lado, los aminoácidos básicos contienen un grupo amino en su cadena lateral, el cual se protona en el pH celular, adquiriendo una carga positiva. Tanto los aminoácidos ácidos como los básicos son hidrófilos debido a la polaridad de sus cargas (Trudy Mckee, 2003).

El chocho contiene cantidades adecuadas de aminoácidos esenciales, como lisina y leucina; sin embargo, presenta un bajo contenido de aminoácidos azufrados, específicamente de metionina (Caiza Ayala, 2011).

Los lípidos son compuestos orgánicos formados principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno, representan uno de los grupos nutricionales de mayor relevancia tecnológica, después de las proteínas. En el caso del chocho (*Lupinus mutabilis*), se destaca por su alto contenido lipídico en comparación con otras especies del género.

Los lípidos presentes en las semillas del chocho se caracterizan por su alta calidad nutricional, ya que entre el 3% y el 14% correspondiente a ácidos grasos esenciales, como el ácido *linoleico* y el ácido *alfa-linoleico*. Estos ácidos grasos son fundamentales para el metabolismo humano y deben ser obtenidos a través de la dieta, lo que convierte al chocho en un alimento funcional de gran interés. Esta composición en ácidos grasos esenciales no solo promueve beneficios para la salud (Villacrés et al., 2010). Son biomoléculas lineales formadas por uniones de moléculas de carbono e hidrogeno con un grupo carboxilo en un extremo, se clasifica por el número de insaturaciones, en saturados, monoinsaturados y poliinsaturados.

En la semilla de chocho predominan los ácidos grasos linoleico y oleico, mientras que el ácido linolénico se encuentra en menor proporción y se relaciona con la reducción del estrés oxidativo y de los niveles de colesterol. Asimismo, están presentes en cantidades reducidas algunos ácidos grasos saturados, principalmente el palmítico y el esteárico (Arellano Martínez, 2022).

Los carbohidratos presentes en el chocho contienen altos niveles de polisacáridos, tanto solubles como insolubles. El contenido de almidón y sacarosa es relativamente bajo en comparación con otros oligosacáridos, como la rafinosa y la verbascosa. Estos oligosacáridos son eliminados durante el proceso de remoción de alcaloides, lo que mejora la calidad nutricional del chocho.

2.2.2. *Amaranthus spp*

El clima propio de la región interandina de Ecuador ofrece condiciones idóneas para el establecimiento y la caracterización de cultivos con alto potencial, como *Amaranthus caudatus*. Esta especie introducida cuenta con el respaldo de entidades internacionales como la FAO y Unicef, las cuales promueven su uso dentro de estrategias orientadas a optimizar la nutrición en comunidades vulnerables. Entre la diversidad de amarantos cultivados a escala global, *A. caudatus* sobresale como uno de los principales granos alimenticios, habiendo ganado relevancia internacional gracias al notable perfil de proteínas, almidones y lípidos concentrados en sus semillas (Pérez, 2010).

El cultivo de amaranto conocido como ataco, sangorache o quinua de castilla, botánicamente se encuentra dentro del orden *centrospermales*, familia *amaranteceae*, genero *Amaranthus*, dentro de la clasificación existe más de 60 especies identificadas. Las diferentes especies son plantas anuales, herbáceas de tallos succulentos tiernos y algo lignificados cuando maduros que llegan a medir hasta 3 metros de altura (Salvador-Martínez et al., 2024).

En la tabla 3 se presenta la clasificación taxonómica del amaranto donde se muestra la división, subgéneros y especies donde se resalta la importancia de esta planta

Tabla 3. Clasificación taxonómica del amaranto		
Clasificación		
División		Fanerógamas
Clase		Dicotiledóneas
Subclase		Angiospermas
Orden		Centrospermas
Familia		Amaranthaceae
Especie		Amaranthus
Sección		Amaranthus
Fuente: Cabrera (1989).		

El amaranto es un pseudocereal de origen vegetal cuyo principal componente es el almidón, el cual constituye aproximadamente entre el 50 y 60 % de la materia seca

de la semilla. Además, se caracteriza por presentar un contenido significativo de proteínas, que puede variar entre 13,2 y 18,2 %, superando en aproximadamente el doble los valores presentes en el maíz y el arroz, y entre un 60 y 80 % a los registrados en el trigo. Por otra parte, aporta nutrientes como ácido fólico, niacina, calcio, hierro y fósforo, además de vitaminas A, B, C, B1, B2 y B3. Su composición también incluye aminoácidos esenciales, entre los que destaca la lisina (González-Rivera et al., 2015).

Los principales compuestos biológicos se encuentran los ácidos grasos insaturados, los más abundantes son el linoleico entre un 62%, el oleico entre un 20%, el linolénico entre 1% y el ácido araquidónico, el porcentaje de contenido de escualeno en el aceite derivado del amaranto es del 2 al 8 %. Los niveles de calcio, potasio y magnesio son altos así mismo como hierro y fósforo, el efecto astringente del amaranto también depende de la presencia y actividad de los betacianos los cuales pertenecen a los pigmentos betaláinicos rojos o púrpuras, estos se identifican en varias especies de amaranto por otro lado las betalainas han sido reconocidos como compuestos bioactivos (Baraniak & Kania-Dobrowolska, 2022b).

En la tabla 4 se detalla la composición nutricional del amaranto determinada en base seca.

Tabla 4. Contenido nutricional del grano de amaranto en base seca

Características	Amaranto (%)
Humedad	11,1
Proteína	17,9
Grasa	7,7
Fibra	2,2
Cenizas	4,1
Carbohidratos	57,0

Fuente: Cabrera (1989).

El grano constituye uno de los principales productos obtenidos del amaranto y puede ser procesado para obtener harina destinada a la elaboración de diversos alimentos. Debido a sus características nutricionales y a la calidad de sus proteínas, esta harina puede emplearse de manera individual o incorporarse como complemento en mezclas con otros cereales, contribuyendo al enriquecimiento nutricional de los productos alimenticios (Baraniak & Kania-Dobrowolska, 2022b).

El amaranto se procesa mediante diversas técnicas como la germinación, extrusión, fermentación y cocción para mejorar los atributos organolépticos y nutricionales. En

la tabla 5 se muestra la influencia de estas técnicas para aumentar la calidad nutricional del amaranto.

Tabla 5. Técnicas de procesamiento y su efecto en el amaranto.

Técnicas	Efectos
Germinación	Aumento de polifenoles y actividad antioxidante y reducción en contenido de tanino y ácido fítico.
Fermentación	Aumento de contenido de grasa, proteínas y ceniza y en cuanto aislado bacteriano de ácido láctico y Lactobacillus se registró una reducción de saponina.
Extrusión	Disminución en el contenido de fenoles libres
Cocción	Aumento significativo en hierro, calcio y zinc y reducción en el contenido de antinutrientes (taninos, oxalatos y fitatos)

Fuente: Jan et al. (2023)

2.2.3. Harinas compuestas

Las harinas se definen como productos pulverulentos obtenidos a partir de la molienda de diversas materias primas de origen vegetal, tales como cereales, pseudocereales, leguminosas y frutos secos. La composición química y las propiedades nutricionales de estas harinas dependen en gran medida de la naturaleza de la materia prima utilizada, así como de los procesos tecnológicos aplicados durante su obtención. En el caso de las harinas de cereales puedes clasificarse en aquellas que tiene gluten y aquellas libres de esta proteína (Olamiti et al., 2024).

Los cereales constituyen una fuente importante de hidratos de carbono complejos, los cuales representan su principal aporte energético ya que contribuyen con fibra dietética, vitaminas del complejo B, así como minerales esenciales. La estructura del grano de cereal está conformada por tres fracciones principales: germen, endospermo y salvado. Las harinas integrales o de grano entero se obtienen mediante la molienda del grano completo conservando estas tres fracciones mientras que las harinas refinadas se elaboran principalmente a partir de endospermo, eliminando parcial o totalmente el germen y el salvado (Olamiti et al., 2024).

Desde el punto de vista nutricional las harinas integrales presentan ventajas significativas frente a las refinadas debido a su mayor contenido de fibra, vitaminas y minerales. El germen en particular es rico en lípidos, vitaminas y compuestos

bioactivos mientras que el salvado aporta principalmente fibra dietética. Por otro lado, las harinas obtenidas a partir de leguminosas se caracterizan por su elevado contenido de proteínas de origen vegetal además de aportar cantidades considerables de carbohidratos complejos. Estas harinas presentan bajo contenido de grasa y son ricas en fibra dietética, vitaminas como ácido fólico y vitaminas B6, así como minerales como magnesio, potasio y zinc; un ejemplo representativo es la harina de garbanzo, cuya incorporación en productos mejora la calidad proteica debido a su aporte de aminoácidos esenciales, de igual manera la harina de lenteja destaca por su contenido de hierro, folatos y compuestos antioxidantes además de aportar un sabor ligeramente a nuez (Bodor et al., 2024).

La combinación de harina de trigo con otras fuentes como leguminosas, tubérculos, pseudocereales y otros granos ha dado lugar al desarrollo de harinas compuestas las cuales han destacado en la industria alimentaria. Estas mezclas permiten mejorar significativamente el perfil nutricional de los productos finales incrementando el contenido de proteínas, fibra, vitaminas y minerales. Asimismo, favorece la incorporación de compuestos bioactivos tales como ácidos fenólicos, flavonoides, carotenoides y fitoesteroles los cuales se asocian con efectos antioxidantes.

En este contexto los pseudocereales como el amaranto, la quinua y el trigo se destacan por su alto valor nutricional, estos presentan un contenido proteico superior al de muchos cereales tradicionales y poseen un perfil de aminoácidos equilibrado incluyendo todos los aminoácidos esenciales lo que los convierte en fuentes de proteína completa. Además, son ricos en fibra dietética y micronutrientes como hierro, magnesio y zinc los cuales participan en funciones fisiológicas incluyendo la actividad enzimática (Olamiti et al., 2024).

El uso de harinas compuestas no solo contribuye a mejorar el valor nutricional de los alimentos, sino también permite mantener o incluso optimizar sus características sensoriales como textura, sabor y aceptabilidad. Desde el punto de vista nutricional, estas harinas presentan un perfil equilibrado de macronutrientes que al combinar distintas fuentes aportan proteínas, carbohidratos y fibra en proporciones más adecuadas, el perfil de micronutrientes también se ve enriquecido con la presencia de minerales esenciales como calcio, hierro y magnesio, así como vitaminas liposolubles e hidrosolubles (Bodor et al., 2024).

En comparación con la harina de trigo convencional la cual obtiene aproximadamente entre 70 y 75 g de carbohidratos con cada 100 g, las harinas compuestas pueden presentar una ligera reducción en este contenido y se observa un incremento en fibra y proteína. Esta modificación no solo mejora la calidad nutricional del producto sino también puede influir positivamente en parámetros funcionales como el índice glucémico

En la tabla 6 se detalla los aportes nutricionales de las harinas provenientes de granos, leguminosas, tubérculos y pseudocereales donde se evidencia variaciones en macronutrientes, así como vitaminas, fibra y compuestos bioactivos.

Tabla 6. Aportaciones de nutrientes de diversos tipos de harinas.

Tipo	Compuesto	Aporte de nutrientes
Granos	Sorgo, cebada, mijo	Alto contenido en carbohidratos, vitaminas B y minerales (hierro y magnesio).
Legumbres	Garbanzo, lenteja, soja, chocho	Rico en proteína, fibra dietética, aminoácidos esenciales y minerales (calcio y zinc).
Tubérculos	Batata, ñame	Fuente de carbohidratos, fibra, vitaminas (A y C) y antioxidantes.
Pseudocereales	Quinua, amaranto trigo sarraceno	Alto contenido en proteínas, fibra, aminoácidos esenciales y micronutrientes (magnesio, hierro y zinc)

Fuente: Olamiti et al. (2024)

2.2.4. Pasta: Origen, historia y composición

El origen de la pasta presenta vacíos históricos que dificultan la determinación precisa de su procedencia. Una de las teorías más difundidas sugiere que fue introducida en Italia por Marco Polo durante sus viajes a Oriente; sin embargo, esta versión carece de evidencia concluyente en realidad es probable que la pasta haya surgido de manera simultánea en distintas regiones y civilizaciones considerando que su elaboración se basa en procesos sencillos como trituration de granos, su mezcla con agua y posterior cocción para obtener un producto comestible.

Las pastas se definen como productos obtenidos por desecación de una masa no fermentada, elaborada a partir de sémolas, semolinas o harinas provenientes de trigo duro, semiduro o blando. A diferencia del pan, la pasta de calidad superior se produce principalmente con trigo duro característico de la región mediterránea. Para su elaboración se utiliza el endospermo del grano, fracción rica en almidón y gluten

lo que confiere propiedades adecuadas de elasticidad y capacidad de moldeado. No obstante, este proceso implica una reducción en el contenido de vitaminas del complejo B ya que estas se concentran en las capas externas del grano que son eliminadas durante la molienda (Bonifaz, 2013).

Los ingredientes básicos para la elaboración de la pasta son agua y sémola de trigo duro la cual posee un mayor contenido de gluten en comparación con el trigo blando. En aquellos casos en los que se emplea trigo blando es necesario incorporar huevo a la formulación con el fin de mejorar la estructura y textura del producto, pueden incluirse otros ingredientes opcionales los cuales se detallan en la tabla 7.

Tabla 7. Principales ingredientes en la elaboración de pastas y su aporte

Ingredientes	Aportes
Huevo	Consistencia a la pasta
Verduras	Enriquecen al producto en vitaminas, minerales y aporta color
Suplementos proteicos	Pastas fortificadas
Vitaminas y minerales	Pastas enriquecidas

Referencia: Bonifaz (2013)

En diversos contextos productivos, la elaboración de pasta aún se realiza de manera artesanal conservando procesos tradicionales que comprenden varias etapas fundamentales. Estas se incluyen la obtención de la sémola a partir del grano de trigo, la preparación y amasado de la masa, el proceso de extrusión o moldeado y finalmente el secado y endurecimiento del producto. Cada una de estas fases influye directamente en las propiedades físicas, tecnológicas y sensoriales de la pasta determinando su calidad final.

Las pastas pueden clasificarse de acuerdo con su forma y tamaño en dos grandes grupos: pastas largas y cortas. Dentro de las pastas largas se encuentran variedades como cabello de ángel, espaguetis, linguine, bucatini, fettuccine, pappardelle, tonnarelli y tagliolini. Por otra parte, las pastas cortas incluyen presentaciones como tubos, plumas, garganelli, elicoidales, cavatappi, macarrones y rigatoni (Lang, 2016). Esta clasificación no solo responde a criterios comerciales y culinarios, sino también influye en la interacción del producto con diferentes tipos de salsas y métodos de cocción.

Desde el punto de vista nutricional la pasta constituye principalmente una fuente de hidratos de carbono en su mayoría en forma de almidón lo que la convierte en un alimento energético relevante dentro de la dieta. El contenido proteico de la pasta

se sitúa aproximadamente en torno al 12% siendo el gluten la principal fracción proteica responsable de sus propiedades viscoelásticas tales como elasticidad, firmeza y capacidad de retención de forma durante la cocción. No obstante, estas proteínas son limitadas en lisina que es un aminoácido esencial por lo que la pasta no se considera una fuente proteica completa cuando se consume de manera aislada ya que puede ser compensado mediante la combinación con otros alimentos ricos en aminoácidos como las leguminosas.

En el caso de emplear trigo blando (*Triticum aestivum*) cuyo contenido de gluten es inferior al del trigo duro resulta necesario ajustar la formulación mediante la adición de huevo y otros agentes estructurantes que mejoren la textura y consistencia de la masa (Lang, 2016). El huevo además de contribuir a la estructura del producto incrementa su valor nutricional al aportar proteínas de alto valor biológico, lípidos y vitaminas especialmente del complejo B y vitaminas liposolubles. Estas mejoras en la composición nutricional se pueden apreciar de manera más detallada en la tabla 8.

Tabla 8. Composición nutritiva por 100 g de porción comestible en crudo.

	Energía (kcal)	Hidratos de carbono (g)	Proteínas (g)	Grasa (g)	Fibra (g)	Potasio (mg)	Fósforo (mg)	Vit. B1 (mg)	Vit. B2 (mg)	Vit. B3 (mg)
Pasta blanca	342	74	12	1.8	2.9	190	250	0.22	0.03	5.6
Pasta al huevo	362	70	12.3	2.8	3.4	191	164	0.17	0.07	1.9

Fuente: Bonifaz (2013)

2.2.5. Proceso de obtención de harinas

La harina es el producto obtenido mediante la reducción del tamaño de partícula de granos, semillas u otras materias primas vegetales hasta alcanzar una granulometría adecuada para su posterior utilización alimentaria. El proceso de obtención de una harina no consiste únicamente en la molienda, ya que las operaciones realizadas antes, durante y después de esta etapa influyen directamente sobre características como la humedad, granulometría, composición química, capacidad de absorción de agua, comportamiento reológico y estabilidad del producto final. En sistemas industriales, el proceso se desarrolla de manera controlada con el propósito de obtener una materia prima uniforme y con propiedades tecnológicas adecuadas para su aplicación (Posner et al., 2005).

En el caso de los cereales, el proceso convencional comprende varias operaciones sucesivas: recepción y selección de la materia prima, limpieza, acondicionamiento o temperado, molienda, separación de las fracciones mediante tamizado, clasificación y finalmente almacenado o envasado. La limpieza constituye una etapa fundamental debido a que los granos pueden contener materiales extraños procedentes de la cosecha, transporte y almacenamiento, tales como polvo, piedras, restos vegetales, semillas de otras especies y partículas metálicas. La eliminación de estos materiales permite proteger los equipos de molienda y disminuir riesgos físicos y microbiológicos asociados a la materia prima. Posteriormente, puede realizarse un acondicionamiento del grano mediante el ajuste de su contenido de humedad. Esta operación modifica las propiedades físicas del grano y facilita la separación de sus componentes durante la molienda. En el trigo, por ejemplo, el acondicionamiento permite que el salvado adquiera mayor resistencia y que el endospermo pueda fragmentarse de manera más eficiente, favoreciendo la recuperación de harina y disminuyendo la incorporación excesiva de partículas de salvado en la fracción de endospermo (Dziki, 2023).

La molienda constituye la operación central del proceso, debido a que determina en gran medida la distribución del tamaño de partícula y las características funcionales de la harina. En los sistemas de molienda de trigo pueden diferenciarse etapas de rotura, clasificación y reducción. Durante la primera etapa se busca abrir el grano y separar el endospermo de las estructuras externas; posteriormente, las partículas obtenidas son clasificadas mediante tamizado y sometidas a sucesivas reducciones de tamaño. La intensidad de la molienda y el sistema utilizado pueden modificar la granulometría, el contenido de partículas de salvado y la calidad tecnológica de la harina (Posner et al., 2005).

El tamizado permite separar las partículas de acuerdo con su tamaño y obtener una harina con una distribución granulométrica relativamente uniforme. Esta característica es importante debido a que el tamaño de partícula condiciona la velocidad de hidratación, la absorción de agua, la formación de la masa y la interacción entre proteínas, almidón y otros componentes. Por esta razón, una harina destinada a la elaboración de pasta debe presentar características físicas y químicas compatibles con las condiciones de mezclado y conformado del producto. El proceso también puede generar diferentes fracciones, dependiendo del grado de extracción y del tipo de molienda empleado. Las fracciones provenientes del

endospermo presentan una composición diferente de aquellas provenientes del salvado y del germen; por ello, una harina integral mantiene una proporción mayor de componentes estructurales, minerales, fibra y lípidos que una harina refinada. La selección de la fracción utilizada permite modificar las propiedades nutricionales y tecnológicas del alimento elaborado (Posner et al., 2005).

En el caso de materias primas no convencionales como el chocho y el amaranto, el proceso de obtención de harina debe adaptarse a las características particulares de cada semilla. El amaranto posee semillas pequeñas, por lo que la molienda puede requerir condiciones específicas de acondicionamiento y separación. Se han descrito sistemas de molienda diferencial capaces de generar fracciones enriquecidas en proteína, almidón o fibra, demostrando que el procesamiento puede utilizarse para modificar las características funcionales de la harina. En el caso del chocho (*Lupinus mutabilis*), el procesamiento previo adquiere especial importancia debido a la presencia de alcaloides quinolizidínicos, responsables del sabor amargo característico de las variedades consideradas amargas. Por ello, antes de la molienda destinada a la obtención de harina alimentaria, el grano puede requerir operaciones de hidratación, cocción y lavado o desamargado. Estas operaciones permiten reducir la concentración de alcaloides y mejorar la aceptabilidad de la materia prima. Una vez obtenido un grano adecuadamente procesado, este puede ser sometido a secado y posteriormente reducido de tamaño para obtener una harina con características apropiadas para su incorporación en alimentos (Dziki, 2023).

2.2.6. Harinas y su importancia tecnológica

En las harinas destinadas a productos de cereales, el almidón constituye uno de los componentes de mayor importancia tecnológica. Durante el calentamiento en presencia de agua, los gránulos de almidón absorben agua, se hinchan y pierden progresivamente su organización estructural, dando lugar al fenómeno conocido como gelatinización. Posteriormente, durante el enfriamiento, parte de las cadenas de amilosa y amilopectina pueden reorganizarse, proceso asociado con la retrogradación. Estos fenómenos tienen una influencia directa sobre la viscosidad, la firmeza y la estabilidad de productos elaborados a partir de harinas (Yazar, 2023).

Las proteínas también desempeñan una función tecnológica fundamental. En la harina de trigo, las principales proteínas responsables de la formación del gluten son

las gliadinas y gluteninas. Cuando la harina entra en contacto con agua y es sometida a energía mecánica, estas proteínas interactúan y forman una estructura continua capaz de retener y distribuir otros componentes de la masa. La red de gluten contribuye a proporcionar resistencia, cohesividad y elasticidad a la masa y participa de manera importante en la estructura de la pasta. Esta característica diferencia a la harina de trigo de muchas materias primas utilizadas como sustitutos. El amaranto, por ejemplo, contiene principalmente proteínas pertenecientes a los grupos de albúminas y globulinas y presenta cantidades reducidas de proteínas de almacenamiento equivalentes a las prolaminas del trigo. Además, posee un contenido proteico relativamente elevado y una composición de aminoácidos de interés nutricional, especialmente por su aporte de lisina. Por estas características, el amaranto puede mejorar el valor nutricional de una formulación, aunque su incorporación puede modificar la estructura tecnológica de productos que dependen de una red continua de gluten (Yazar, 2023).

El chocho también se caracteriza por un elevado contenido de proteínas y lípidos, por lo que su incorporación puede modificar favorablemente la composición nutricional de alimentos elaborados con cereales. Sin embargo, las proteínas del lupino no sustituyen funcionalmente de manera equivalente a la red formada por las proteínas del gluten. Por esta razón, la sustitución de harina de trigo por harina de chocho puede generar simultáneamente un enriquecimiento nutricional y una modificación del comportamiento reológico y estructural de la matriz. Otro componente de importancia tecnológica es la fibra. Debido a su capacidad para retener agua y modificar la distribución de humedad dentro de una matriz alimentaria, un incremento en la cantidad de fibra puede alterar la hidratación disponible para las proteínas y el almidón. Esto puede modificar la consistencia de las masas, la formación de la estructura y las propiedades texturales del alimento terminado. En consecuencia, cuando se incorporan harinas ricas en fibra, proteínas o lípidos, el efecto observado no depende de un solo componente, sino de las interacciones entre todos ellos (Yazar, 2023).

Los lípidos también pueden intervenir en las propiedades tecnológicas de las harinas. Además de aportar energía y contribuir al perfil nutricional, pueden interactuar con componentes del almidón y modificar determinados fenómenos de gelatinización y retrogradación. Desde el punto de vista de conservación, una mayor concentración de lípidos insaturados también puede incrementar la susceptibilidad a procesos

oxidativos, especialmente cuando las condiciones de almacenamiento favorecen el contacto con oxígeno, luz o temperaturas elevadas. La capacidad de absorción de agua constituye otra propiedad tecnológica relevante. La cantidad de agua requerida por una harina depende de su composición, granulometría, contenido de proteínas, fibra y almidón, así como de las características de estos componentes. La absorción de agua condiciona la consistencia de la masa y, por tanto, influye sobre las operaciones posteriores de mezclado, laminado o extrusión (Yazar, 2023).

En consecuencia, la sustitución parcial por harinas de leguminosas o pseudocereales debe analizarse desde una perspectiva integral. Un incremento en proteína, fibra, minerales o lípidos puede representar una ventaja nutricional; sin embargo, estos cambios también pueden modificar la hidratación, la gelatinización del almidón, la resistencia de la masa y la textura final. Esta relación entre composición y funcionalidad constituye una de las razones por las cuales resulta necesario complementar los análisis fisicoquímicos con técnicas reológicas, texturales y sensoriales.

2.2.7. Pastas y su importancia tecnológica

Las pastas alimenticias son productos elaborados principalmente a partir de materias primas farináceas y agua, sometidos a operaciones de mezclado, conformado y, en el caso de las pastas secas, secado hasta alcanzar una humedad adecuada para su conservación. Entre las diferentes formas comerciales se encuentra el spaghetti, caracterizado por presentar una geometría alargada y cilíndrica. La calidad de la pasta depende de la composición de la materia prima y de las condiciones aplicadas durante su procesamiento (Wang et al., 2024a).

En las pastas convencionales elaboradas a partir de trigo, las proteínas y el almidón desempeñan funciones complementarias. La red proteica proporciona una estructura continua alrededor de los gránulos de almidón, mientras que estos constituyen una de las principales fases de la matriz. Durante la cocción, el agua penetra progresivamente en la pasta y provoca hidratación, hinchamiento y gelatinización del almidón. La interacción entre estos fenómenos determina propiedades como firmeza, cohesividad, elasticidad, pegajosidad y pérdida de sólidos durante la cocción. La elaboración de pasta comienza con la formulación y dosificación de los ingredientes. En esta etapa se establece la proporción de las diferentes harinas y se determina la cantidad de agua requerida. La cantidad de

agua es particularmente importante debido a que condiciona la hidratación de las proteínas y del almidón y afecta la consistencia de la masa. En formulaciones donde se incorporan harinas alternativas, la absorción de agua puede modificarse debido al contenido de fibra, proteínas y otros componentes hidrofílicos (Wang et al., 2024a).

Posteriormente, se realiza el mezclado, etapa en la que las partículas de harina entran en contacto con el agua, produciéndose la hidratación de sus componentes. En las formulaciones con harina de trigo, la energía mecánica aplicada favorece el desarrollo de la red de gluten; sin embargo, cuando parte de esta harina es sustituida por ingredientes que no forman gluten, disminuye la proporción relativa de proteínas capaces de desarrollar dicha estructura, lo que puede generar cambios en la consistencia y resistencia de la masa. Una vez finalizado el mezclado, la masa es sometida al proceso de conformado, siendo la extrusión una de las operaciones más utilizadas en la industria de pastas, debido a que permite comprimir y transportar la masa a través de una matriz que determina la geometría del producto. Durante este proceso intervienen de manera simultánea fuerzas mecánicas, presión y fricción, además de un posible incremento de temperatura dependiendo de las condiciones de operación. Por ello, la formulación debe presentar una consistencia adecuada que permita obtener un conformado uniforme y evitar la aparición de defectos, fracturas o irregularidades en la superficie del producto. (Wang et al., 2024a).

La etapa de secado es particularmente importante en la elaboración de pastas secas, debido a que permite reducir la humedad del producto hasta un nivel compatible con su estabilidad durante almacenamiento. La velocidad y temperatura de secado deben controlarse para evitar la formación de grietas, deformaciones o tensiones internas. La estructura desarrollada durante el mezclado y conformado debe permanecer suficientemente estable para que el producto conserve su integridad durante la reducción de humedad. Durante la cocción se producen cambios físicos y fisicoquímicos importantes. El agua penetra desde la superficie hacia el interior de la pasta y provoca hidratación de los componentes. El almidón gelatiniza y las proteínas experimentan cambios estructurales. Como consecuencia, la pasta pierde su estado rígido inicial y adquiere las características de textura propias del producto cocido. El tiempo de cocción debe ser suficiente para obtener una pasta adecuadamente hidratada sin producir un exceso de pérdida de sólidos (Wang et al., 2024a).

La calidad de cocción constituye uno de los principales criterios tecnológicos utilizados para evaluar las pastas. Entre los parámetros de interés se encuentran la firmeza, el trabajo de corte, la pérdida de sólidos en el agua de cocción, la absorción de agua, el incremento de volumen y la pegajosidad. Una pasta con adecuada calidad tecnológica debe mantener su integridad durante la cocción, presentar una textura firme y no liberar cantidades excesivas de sólidos al medio de cocción (Wang et al., 2024a).

La firmeza está asociada con la resistencia que presenta la pasta frente a una deformación mecánica. Una estructura proteica continua puede favorecer una mayor resistencia del producto, mientras que una matriz debilitada o con una mayor proporción de componentes que interfieren en la formación de la red estructural puede generar una pasta más blanda. La cohesividad representa la capacidad del alimento para mantener su estructura interna cuando es sometido a deformación. Una reducción de este parámetro puede indicar una matriz menos integrada, lo que puede relacionarse con una menor continuidad de la estructura proteica o con modificaciones en la interacción entre proteínas, almidón y agua. La pegajosidad está relacionada con la tendencia de la superficie de la pasta cocida a adherirse a una superficie de contacto. Este comportamiento puede aumentar cuando existe una mayor disponibilidad de componentes solubles en la superficie, especialmente cuando la estructura que retiene el almidón se encuentra debilitada. La elasticidad describe la capacidad del producto para recuperar parte de su forma después de una deformación. En las pastas, esta característica se encuentra relacionada con la estructura de la matriz y con las interacciones entre las fracciones proteicas y amiláceas (Wang et al., 2024a).

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, debido a que el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina de chocho (*Lupinus mutabilis*) y amaranto (*Amaranthus spp.*) fue evaluado mediante la medición objetiva de variables fisicoquímicas, microbiológicas, reológicas, texturales y sensoriales. Cada una de estas variables fue expresada mediante valores numéricos obtenidos a partir de métodos analíticos, instrumentos de medición y escalas previamente establecidas.

El carácter cuantitativo se evidencia además en la comparación de cinco niveles de sustitución correspondientes a los tratamientos T0, T1, T2, T3 y T4, cuyos resultados fueron sometidos a procedimientos estadísticos con el propósito de determinar la existencia de diferencias entre formulaciones. Para ello, se emplearon análisis descriptivos y pruebas de inferencia estadística de acuerdo con el cumplimiento de los supuestos correspondientes, utilizando análisis de varianza y comparación de medias cuando los datos cumplieron los criterios de parametricidad y pruebas no paramétricas cuando dichos supuestos no fueron satisfechos.

De acuerdo con Hernández Sampiere et al. (2010), el enfoque cuantitativo se caracteriza por la medición de variables mediante procedimientos sistemáticos, la representación de los resultados en valores numéricos y el empleo de herramientas estadísticas para analizar las relaciones y diferencias observadas. En concordancia con este planteamiento, la presente investigación parte de una variable independiente representada por el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de chocho y amaranto, mientras que las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas, reológicas, texturales y sensoriales constituyen variables de respuesta.

3.1.2. Tipo de Investigación

Esta investigación se clasifica como experimental, ya que implica la formulación de diferentes tratamientos bajo condiciones controladas en un entorno de laboratorio, la manipulación intencional de la variable independiente y la medición sistemática de sus efectos sobre variables dependientes objetivas. El estudio se fundamenta en el principio de reproducibilidad, garantizando mediante el uso de tres repeticiones por tratamiento, lo que permite la validación estadística de los resultados obtenidos.

3.2. HIPÓTESIS

3.2.1. Hipótesis nula:

El porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de chocho y amaranto no influirá en la evaluación integral de una pasta tipo spaghetti.

3.2.2. Hipótesis alternativa:

El porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de chocho y amaranto sí influirá en la evaluación integral de una pasta tipo spaghetti.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1. Definición de las variables

Variable independiente

- Sustitución de harina de trigo por harina de chocho y amaranto (10%, 20%, 30%, 40%)

Variable dependiente

- Análisis físico-químico
- Propiedades reológicas
- Calidad microbiológica
- Aceptación sensorial
- Análisis textural

3.3.2. Operacionalización de las variables

En la tabla 9 se muestra el desglose de las variables de investigación.

Tabla 9. Operacionalización de variables para sustitución de harina de trigo por harina de chocho y amaranto.

	Variable	Dimensión	Indicadores	Técnica	Instrumento
VI	Sustitución de harina de trigo por harina de chocho y amaranto	Porcentaje (%)	10%, 20%, 30%, 40%	Gravimetría	(Ponce et al., 2018)
		Humedad	% humedad	Secado en estufa	(AOAC 926.07, 2016)
	Análisis físico-químico	Proteína	% proteína	Kjeldahl	(AOAC 930.25, 2016)
		Grasa	% grasa	Soxhlet	(AOAC 925.12, 2016)
		Ceniza	% ceniza	Incineración	(AOAC 925.11, 2016)
		Fibra cruda	% fibra	Digestión ácido-base	(AOAC 930.24, 2016)
		Gluten	% gluten	ELISA	AOAC 2012.01, 2016
	Propiedades reológicas	Perfil RVA	Viscosidad max Breakdown Setback Temp. empaste Par C1 Par C2 Par C3 Par C4 Par C5	Reómetros	(Narváez, 2023)
		Mixolab	Estabilidad Trabajo de corte Cohesividad Dureza Pegajosidad Gomosidad Resiliencia	Análisis Mixolab	(Álvarez & Hernández, 2024)
VD	Características de textura	TPA	Color Olor Sabor Firmeza Adhesividad Elasticidad Recuento de mohos y levaduras Coliformes totales Aerobios mesófilos	Texturometría	(Aparicio & Agudelo, 2018)
	Aceptación sensorial		Prueba de aceptación con escala hedónica de 9 puntos	Evaluación sensorial	(Mesta & Miño, 2019)
	Análisis microbiológico		UFC/g		(FDA/BAM, 2022)
			UFC/g	Siembra en profundidad	(FDA/BAM, 2020)
			UFC/g		(FDA/BAM, 2025)

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

Elaboración de pasta tipo spaghetti con diferentes porcentajes de harina de trigo, chocho y amaranto.

Acondicionamiento de la harina de chocho: La materia prima utilizada correspondió a harina de chocho destinada a uso alimentario y previamente sometida a un proceso de desamargado. El desamargado del chocho es una operación necesaria para disminuir los alcaloides quinolizidínicos responsables del sabor amargo y comprende, de manera general, etapas de hidratación, tratamiento térmico y lavados con agua, seguidas de secado y molienda. En el protocolo experimental registrado para esta investigación no se documentaron de forma independiente los tiempos de remojo, cocción y número de lavados ni se realizó una determinación analítica de alcaloides residuales sobre la harina empleada. Por esta razón, dichos parámetros no se presentan como resultados experimentales propios ni se atribuye a la investigación un valor de alcaloides que no haya sido medido. Como referencia bibliográfica, la tesis registra valores de alcaloides para chocho desamargado reportados por Llerena (2022), pero estos corresponden a la fuente citada y no a una determinación realizada en el presente estudio.

- Formulación de ingredientes en pasta tipo spaghetti

Se llevó a cabo la formulación del tratamiento control y de cuatro tratamientos experimentales descritos en la tabla 10, modificando el porcentaje de harina de trigo, chocho y amaranto, mientras que la composición y proporción de los demás ingredientes permanecieron constantes.

Tabla 10. Formulación de la pasta tipo spaghetti

Ingredientes	Control (%) 100	T1 (%) 10-90	T2 (%) 20-80	T3 (%) 30-70	T4 (%) 40-60
Harina de trigo	60	54	48	42	36
Harina de chocho	0	3	6	9	12
Harina de amaranto	0	3	6	9	12
Huevos	37	37	37	37	37
Sal	3	3	3	3	3

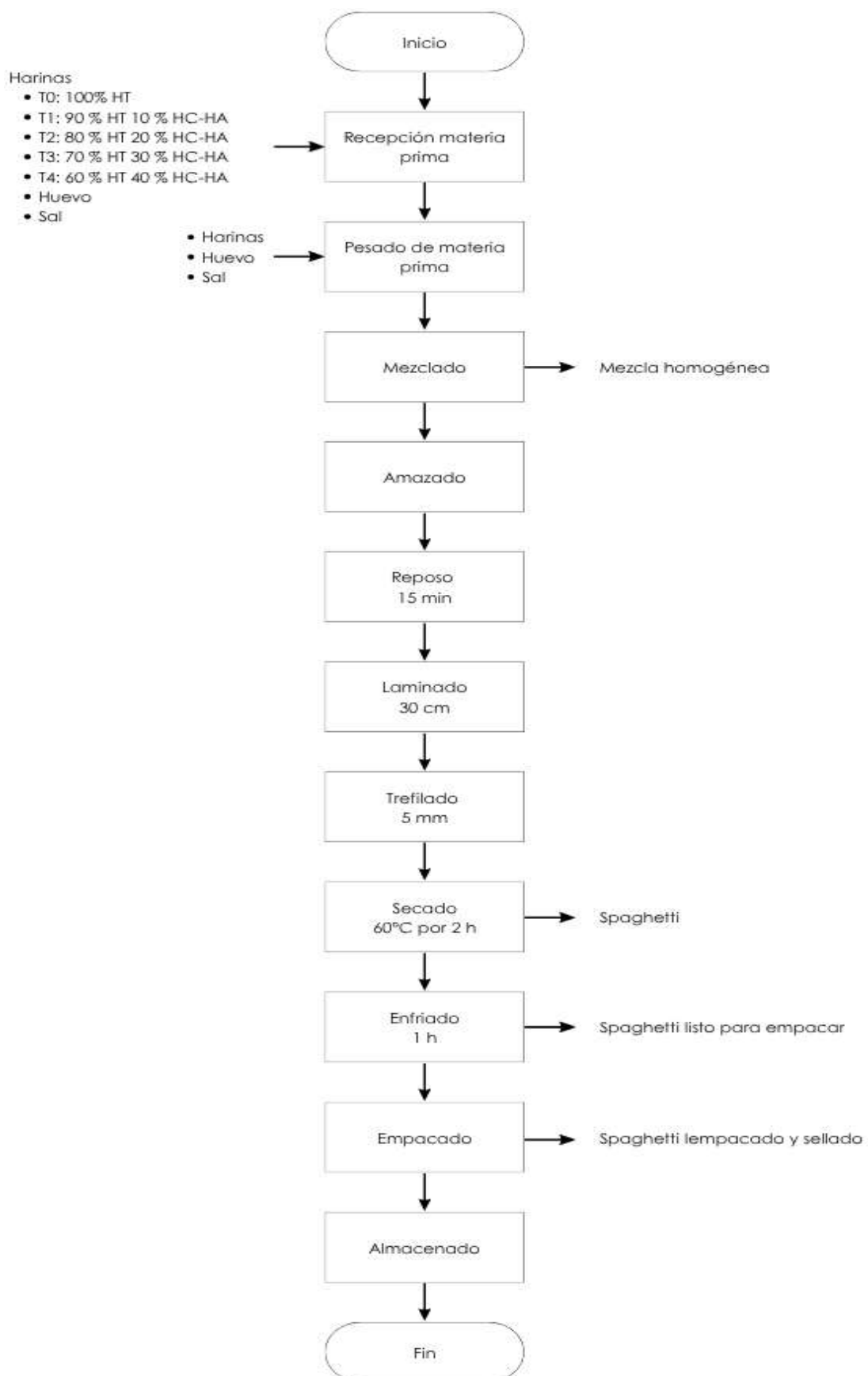


Figura 1. Diagrama de flujo para la elaboración de una pasta tipo spaghetti de harina de trigo, harina de chocho y harina de amaranto.

Descripción del proceso

– Recepción de la materia prima

Se realizó la recepción de las materias primas necesarias para la elaboración de las diferentes formulaciones: harina de trigo, harina de chocho, harina de amaranto, huevo y sal. Previamente a su utilización, se verificó que las materias primas se encontraran en condiciones adecuadas para su procesamiento y libres de alteraciones.

– Pesado de ingredientes

Los ingredientes fueron pesados individualmente utilizando una balanza gramera marca CARMY, de acuerdo con las cantidades establecidas para cada tratamiento experimental. Se consideraron las proporciones correspondientes de harina de trigo, harina de chocho, harina de amaranto, huevo y sal, procurando mantener exactitud en las formulaciones establecidas para T0, T1, T2, T3 y T4.

– Mezclado de ingredientes

Las materias primas fueron incorporadas en una batidora con pedestal marca UMCO. Inicialmente se realizó la mezcla de los ingredientes secos, correspondientes a las harinas y la sal, con el propósito de lograr una distribución uniforme de los componentes. Posteriormente, se incorporó el huevo y se continuó con el mezclado hasta obtener una combinación homogénea de los ingredientes.

– Amasado

Una vez obtenida la mezcla, se procedió al amasado de la masa. Esta operación se realizó durante aproximadamente 15 a 20 minutos, dependiendo de la cantidad y proporción de las harinas utilizadas en cada tratamiento. El amasado permitió favorecer la integración de los ingredientes y obtener una masa con características adecuadas para las posteriores etapas de procesamiento.

– Reposo

La masa obtenida fue sometida a un período de reposo de 15 minutos. Esta etapa permitió que la masa se estabilizara antes del laminado, favoreciendo una mejor manipulación y una apariencia más uniforme durante las siguientes operaciones de procesamiento.

- Laminado

Posteriormente, la masa fue sometida al proceso de laminado utilizando una laminadora manual marca IMPERIA de acero inoxidable. El laminado se realizó hasta obtener una lámina de aproximadamente 30 cm de longitud, procurando mantener un espesor uniforme que facilitara la posterior formación de la pasta

- Trefilado

La lámina de masa obtenida fue sometida al proceso de trefilado mediante el equipo manual IMPERIA, utilizando el accesorio correspondiente para obtener la forma característica de spaghetti. Durante esta operación se buscó obtener tiras uniformes, con un diámetro aproximado de 5 mm, manteniendo una longitud adecuada para su posterior secado.

- Secado

Una vez obtenida la pasta tipo spaghetti, esta fue colocada en el horno de secado marca REBERLK, donde se sometió a una temperatura de 60 °C durante 2 horas. El proceso permitió reducir la humedad de la pasta y obtener un producto seco con características adecuadas para su conservación y posterior análisis.

- Enfriado

Finalizado el proceso de secado, la pasta fue retirada del horno y se dejó enfriar durante aproximadamente 1 hora, en un lugar seco y ventilado. Esta etapa se realizó antes del envasado con el propósito de evitar la condensación de humedad dentro del envase y favorecer una adecuada conservación del producto.

- Empacado y almacenado

Una vez enfriada, la pasta tipo spaghetti fue colocada en fundas tipo Ziploc, procurando reducir la exposición del producto al ambiente y evitar la absorción de humedad durante su manipulación y almacenamiento. Finalmente, las muestras empacadas fueron almacenadas bajo las condiciones establecidas para el desarrollo de los análisis posteriores. Los tratamientos fueron identificados individualmente para mantener la trazabilidad de las muestras y evitar confusiones entre las diferentes formulaciones.

3.4.1. Humedad

Este método se fundamenta en la cuantificación de la pérdida de masa por desecación. Consiste en eliminar el agua presente en la muestra mediante la aplicación de calor controlado, permitiendo estimar el contenido de humedad a partir de diferencia de peso antes y después del secado.

Se pesó aproximadamente 2 g de la muestra previamente fragmentada con el fin de facilitar la eliminación uniforme de la humedad, posteriormente se coloca la muestra en la estufa de secado marca BINDER a una temperatura constante 105°C durante un periodo hasta alcanzar peso constante. Una vez finalizado el secado, la muestra se coloca en un desecador para enfriar y así evitar la reabsorción de la humedad ambiente y se obtuvo su peso (AOAC 926.07, 2016).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

m_1 = masa capsula tarada

m_2 = masa de la capsula tarada con muestra

m_3 = masa de la capsula con muestra seca.

3.4.2. Proteína

Este método se fundamenta en la determinación del nitrógeno total presente en la muestra a través del método Kjeldahl para estimar el contenido de proteína cruda. El procedimiento analítico consta de tres etapas fundamentales: digestión, destilación y titulación.

Para la digestión se pesa aproximadamente de 1 g en papel libre de nitrógeno y se coloca en tubos de vidrio donde se coloca 2 pastillas catalizadoras y 15 ml de ácido sulfúrico con el objetivo de descomponer la materia orgánica a una temperatura 420°C y transformar el nitrógeno presente en la muestra de sulfato de amonio se lo realiza en el equipo digestor DK 6 Heating Digester

Para la etapa de destilación se traslada los tubos previamente enfriados a la cámara de extracción de gases donde se añade 80 ml de agua destilada. Se debe tener preparado los matraces de destilación en los cuales se añadió 30 ml de ácido bórico al 4% junto con 3 gotas de indicador Tashiro. Para cada muestra se preparó hidróxido de sodio al 40%, se espera que la destilación en el equipo destilador Kjeldahl VELP finalice evidenciando el cambio de color

Finalmente, para la titulación se tiene preparado una solución de ácido clorhídrico al 0.1 N (M9) valorada lo cual se procede a titular hasta que el indicador sea de color rosado (AOAC 2001.11).

$$\%Nitrógeno = \frac{(V_a - V_b) * N - 1.4}{P}$$

$$\%Proteína = \%Nitrogeno * F$$

V_a: Volumen del HCL estándar utilizado en la valoración (ml)

V_b: Volumen del HCL consumido en la valoración de un blanco (ml)

N: Normalidad del HCL

P: peso en g de la muestra

14.007: peso atómico del nitrógeno

F: Factor de conversión para determinar el porcentaje de proteínas a partir del contenido de nitrógeno en trigo 6.25

3.4.3. Ceniza

Determinación de ceniza en muestras de alimentos y otros productos orgánicos. En este procedimiento, se pesó aproximadamente 3 g de muestra seca en un crisol tarado, la muestra se incinera en el equipo mufla marca EDG a una temperatura entre 500 y 600°C por un tiempo de 6 horas. El proceso elimina todos los componentes orgánicos dejando solo los minerales lo que constituye la ceniza (AOAC 923.03, 2022).

El porcentaje se calcula con la siguiente formula:

$$\%Ceniza = \left(\frac{C_3 - C_1}{C_2 - C_1} \right) \times 100$$

C₁ = masa del crisol

C₂ = masa del crisol con la muestra

C₃ = masa del crisol con ceniza

3.4.4. Grasa

La norma AOAC 922.06 se fundamenta en la extracción de los lípidos presentes en la muestra utilizando un solvente orgánico, en este caso hexano, en el equipo SOXTEST SX-6. El método radica en la capacidad de disolver compuestos lipídicos presentes

en la matriz alimentaria, para este proceso se utiliza guantes y pinzas para evitar contaminación.

Se pesa la muestra entre 1 a 5 g en papel filtro el cual se lo coloca en un cartucho de extracción, los dedales se colocan en la columna de extracción del equipo, el vaso recolector previamente tarado a 130°C hasta que alcance un peso constante donde posteriormente se deja enfriar en el desecador y finalmente se toma el peso en una balanza analítica. Se adiciona 60 ml de hexano en el vaso donde se ajusta bajo las columnas.

Para el funcionamiento del equipo, se ajustó a una temperatura a 140°C y con ello activando el sistema de recirculación de agua a 18°C con la finalidad de permitir la condensación del solvente durante el proceso. Cuando las alcanza la temperatura se coloca los dedales para su extracción manteniendo una hora la ebullición y acto seguido de un enjuague de 40 minutos.

Finalmente se cierran las válvulas para recuperar el hexano sobrante por unos 10 minuto aproximadamente. Se retira el vaso y se coloca en la estufa a 105°C para eliminar restos de solvente, se coloca en el desecador y se obtiene el peso final.

$$\%Grasa = \left(\frac{P_1 - P_2}{m} \right) * 100$$

P₁ = Peso del vaso más muestra de grasa

P₂ = Peso del vaso vacío

m = Peso de la muestra

3.4.5. Fibra

La norma AOAC 930.24 se basa en la digestión química mediante soluciones ácidas y alcalinas bajo condiciones controladas con el propósito de conservar la fracción correspondiente de la fibra insoluble en el equipo FIBERTEST RAYPA.

Los crisoles se llevaron a tarar en una estufa a 105°C por 1 hora aproximadamente hasta alcanzar un peso contante, una vez culminado el tiempo se lleva a enfriar en el desecador para posteriormente pesar la muestra en una balanza analítica. Cabe recalcar que la muestra fue sometida a digestión con 200 ml de ácido sulfúrico al 1,25% manteniendo la ebullición a una temperatura a 100°C por un periodo de 30 minutos. Esta esta permite la hidrolisis y la eliminación de compuestos solubles.

Una vez finalizada la digestión, la mezcla fue filtrada y lavada con agua destilada caliente hasta eliminar residuos, el residuo obtenido fue sometido a una segunda digestión utilizando 200 ml de hidróxido de sodio al 1,25 % manteniendo nuevamente la temperatura de ebullición por el tiempo estimado anteriormente.

Para finalizar el material obtenido fue colocado en una estufa a 105°C hasta tener un peso constante y ser pesado, una vez terminado se lleva a la mufla a 550°C durante 2 horas para eliminar materia orgánica, se lleva a enfriar y se anota el valor final

$$\%fibra\ cruda = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \times 100$$

W_1 = Peso de la muestra

W_2 = Peso del crisol con el residuo después del secado

W_3 = peso del crisol con la ceniza

3.4.6. Gluten

La determinación de gliadina se realizó mediante el método oficial AOAC International AOAC 2012.01, empleando un ensayo inmunoenzimático tipo ELISA basado en la extracción con reactivo Cocktail. Este procedimiento permitió determinar el contenido de gliadina presente en las muestras y expresar posteriormente los resultados como concentración de gluten en mg/kg.

Previamente al análisis, todas las muestras fueron homogenizadas cuidadosamente con la finalidad de obtener porciones representativas. Las muestras sólidas fueron trituradas hasta obtener un polvo fino y uniforme, con el propósito de favorecer el contacto de la matriz con el reactivo de extracción y mejorar la recuperación de las proteínas presentes en la muestra.

Preparación y extracción de las muestras

Para la extracción de gliadina se pesaron 0,25 g de muestra previamente homogenizada en tubos de extracción. A cada tubo se adicionaron 2,5 mL del reactivo Cocktail. Debido a que este reactivo contiene β -mercaptoetanol, la preparación de las muestras se realizó bajo una campana de extracción, utilizando las medidas de seguridad correspondientes.

Posteriormente, los tubos fueron cerrados y mezclados cuidadosamente. Se adicionaron 7,5 mL de etanol al 80 % y las muestras fueron sometidas a agitación durante 1 hora en un rotador, con el propósito de favorecer la extracción de las

fracciones proteicas de interés. Finalizado el período de agitación, las muestras fueron centrifugadas durante 10 minutos a 2500 rpm para favorecer la separación de las partículas sólidas presentes en el extracto.

Del sobrenadante obtenido se transfirieron 2 mL a nuevos viales, los cuales fueron sometidos a una segunda centrifugación durante 10 minutos a 10000 rpm, con el objetivo de obtener un sobrenadante libre de partículas que pudiera interferir en la determinación espectrofotométrica.

Antes de realizar el ensayo ELISA, los extractos obtenidos fueron sometidos a una dilución de 1:12,5 utilizando el buffer correspondiente al ensayo, alcanzándose un factor de dilución final de 1:500, de acuerdo con el procedimiento establecido para la preparación de las muestras.

Preparación de reactivos y desarrollo del ensayo ELISA

Previo al desarrollo del ensayo inmunoenzimático, todos los reactivos fueron acondicionados a una temperatura de 20–25 °C. El buffer concentrado fue diluido en una proporción de 1:5 con agua destilada. El conjugado concentrado fue previamente homogenizado y posteriormente diluido en una relación de 1:11. Asimismo, el wash buffer fue diluido en una proporción de 1:10 con agua destilada.

Para el desarrollo del ensayo se adicionaron 100 µL de cada estándar y de cada muestra previamente diluida, por duplicado, en los pocillos de la microplaca. La placa fue incubada durante 30 minutos. Finalizado este período, el contenido de los pocillos fue descartado y la placa fue golpeada cuidadosamente sobre papel absorbente para eliminar el líquido residual. El procedimiento de lavado se realizó durante tres ciclos consecutivos.

Posteriormente, se adicionaron 100 µL del conjugado a cada pocillo y la microplaca fue incubada nuevamente durante 30 minutos. Finalizada la segunda incubación, se efectuó nuevamente el procedimiento de lavado durante tres ciclos consecutivos.

A continuación, se adicionaron 50 µL de sustrato y 50 µL de cromógeno en cada pocillo y la microplaca fue incubada durante 30 minutos para permitir el desarrollo de la reacción colorimétrica. Finalmente, se adicionaron 100 µL de Stop solution para detener la reacción.

La absorbancia de los estándares y de las muestras se determinó mediante un lector de microplacas a una longitud de onda de 450 nm. Los valores obtenidos se

expresaron como densidad óptica (OD) y fueron utilizados para la construcción de la curva de calibración y posterior cuantificación de gliadina.

Construcción de la curva de calibración

La curva de calibración se construyó a partir de estándares de gliadina de concentración conocida. Los estándares correspondieron a concentraciones de 0, 5, 10, 20, 40 y 80 mg/kg, equivalentes a 0; 0,0005; 0,0010; 0,0020; 0,0040 y 0,0080 %, respectivamente.

Para cada concentración se registró la densidad óptica obtenida a 450 nm. Los valores de OD fueron relacionados con las concentraciones conocidas de los estándares mediante un análisis de regresión lineal como se puede observar en la figura 2, la curva de calibración fue obtenida a partir de estándares de 0, 5, 10, 20, 40 y 80 mg/kg de gliadina, registrándose la absorbancia a 450 nm. La ecuación de regresión obtenida fue ($y=0,1098x+0,1333$), con ($R^2=0,9888$).

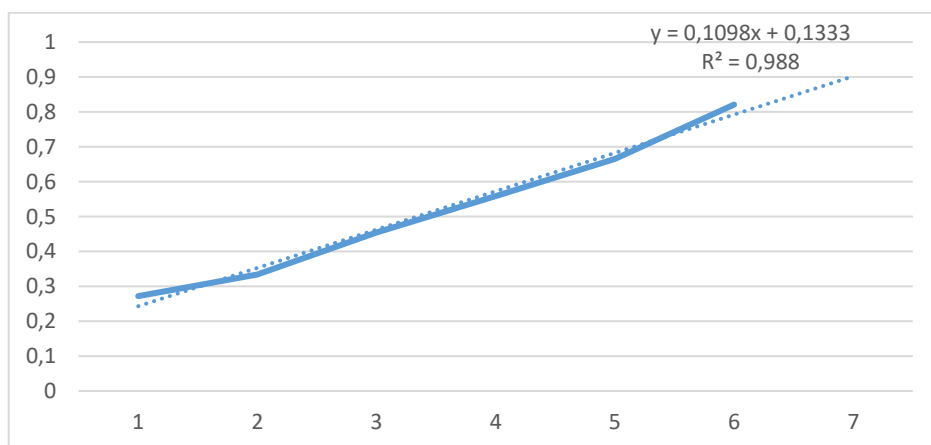


Figura 2. Curva de calibración para la cuantificación de gliadina mediante ELISA.

Cuantificación de gliadina y expresión del contenido de gluten

Una vez obtenidos los valores de absorbancia de las muestras, la concentración correspondiente se calculó mediante el despeje de la ecuación de la curva de calibración.

$$x = \frac{y - 0,1333}{0,1098}$$

Donde x corresponde a la concentración calculada a partir de la curva, y representa el valor de absorbancia registrado para cada muestra.

Con el valor obtenido de x se procede a corregir mediante el factor de cálculo empleado en el procedimiento (5), El resultado que se obtiene es convertido a gluten mg/kg mediante el factor de conversión (2)

3.4.7. Mixolab

Para la determinación de las propiedades funcionales y del comportamiento termo-mecánico de las mezclas empleadas en la elaboración de la pasta se utilizó un analizador Mixolab 2 de CHOPIN Technologies. Este equipo permite registrar de manera continua los cambios de consistencia de una masa mientras es sometida simultáneamente a condiciones controladas de amasado, calentamiento y enfriamiento. De esta manera, el ensayo permite evaluar en una misma prueba la respuesta de las proteínas y del almidón frente a las diferentes etapas del procesamiento (Kim et al., 2022).

El análisis se realizó empleando el protocolo Chopin+, utilizado para caracterizar el comportamiento de mezclas de harinas durante el amasado y el tratamiento térmico. Este procedimiento permite obtener una curva termo-mecánica en la que se identifican cinco puntos característicos, denominados C1, C2, C3, C4 y C5, asociados con diferentes etapas del comportamiento de la masa. La prueba inicia con una etapa de mezclado a temperatura controlada, seguida de un incremento de temperatura hasta aproximadamente 90 °C y posteriormente un enfriamiento hasta aproximadamente 50 °C. El protocolo estándar Chopin+ emplea una velocidad de mezclado de aproximadamente 80 rpm y permite evaluar la formación de la masa, el debilitamiento proteico, la gelatinización del almidón, la estabilidad del gel caliente y la retrogradación del almidón (Kim et al., 2022).

Antes de iniciar el ensayo se determinó el contenido de humedad de cada mezcla, debido a que este valor es necesario para establecer la cantidad de muestra y agua utilizada durante el análisis. El software del equipo permite realizar los ajustes correspondientes de acuerdo con la humedad de la muestra y determinar la cantidad de agua necesaria para alcanzar la consistencia objetivo establecida por el protocolo. Este procedimiento permite comparar las formulaciones bajo condiciones controladas de hidratación. Una vez acondicionada la muestra, la mezcla de harinas fue colocada en la cámara de amasado y se inició el programa termo-mecánico. Durante el ensayo, el equipo registró continuamente el torque requerido para mantener el movimiento de los elementos de amasado. Los cambios

de torque se representan mediante una curva, cuya forma permite interpretar la evolución de la consistencia de la masa durante el mezclado, calentamiento y enfriamiento (Álvarez & Hernández, 2024).

Desarrollo de la masa C1

El punto C1 corresponde a la consistencia máxima alcanzada durante la primera etapa de mezclado. Se desarrolla como consecuencia de la hidratación de los componentes de la harina y de la formación de la estructura de la masa bajo acción mecánica. Un valor elevado de C1 indica una mayor consistencia inicial bajo las condiciones del ensayo, mientras que un valor inferior representa una masa que requiere menor torque para ser mantenida en movimiento. Es importante diferenciar C1 de la absorción de agua. La absorción corresponde a la cantidad de agua necesaria para alcanzar la consistencia objetivo del protocolo, mientras que C1 representa el valor máximo de torque alcanzado durante la etapa inicial de desarrollo de la masa. Por tanto, ambos parámetros están relacionados con la hidratación, pero no representan exactamente la misma propiedad. En una formulación de pasta, C1 puede verse influenciado por el contenido y calidad de las proteínas, el almidón, la fibra, la granulometría y la capacidad de los componentes de la harina para retener agua (Kim et al., 2022).

Debilitamiento de las proteínas C2

El punto C2 representa la disminución de la consistencia de la masa como consecuencia del incremento de temperatura después de la etapa inicial de mezclado. Durante esta fase, las proteínas hidratadas comienzan a perder parte de la estructura desarrollada durante el amasado. Por esta razón, C2 se utiliza como indicador del comportamiento o resistencia de la fracción proteica frente al calentamiento. Una disminución importante desde C1 hasta C2 indica un mayor debilitamiento de la estructura proteica. En sistemas basados principalmente en trigo, este comportamiento está relacionado con la estabilidad de la red de gluten frente a la acción combinada del calor y la energía mecánica (Kim et al., 2022).

Gelatinización del almidón C3

El punto C3 corresponde al máximo de consistencia alcanzado durante la etapa de calentamiento y se relaciona principalmente con la gelatinización del almidón. A medida que aumenta la temperatura en presencia de agua, los gránulos de almidón absorben agua, se hinchan y pierden progresivamente su estructura ordenada. Este

proceso provoca un incremento de la viscosidad y, por consiguiente, del torque registrado por el equipo. El valor de C3 permite evaluar la capacidad del sistema para desarrollar consistencia durante la gelatinización. Las características y concentración del almidón, así como la presencia de proteínas, fibra y otros componentes capaces de interactuar con el agua, pueden modificar la magnitud de esta respuesta (Kim et al., 2022).

Ruptura o estabilidad del gel de almidón C4

El punto C4 corresponde a la consistencia registrada después de la etapa de gelatinización y permite evaluar la estabilidad del gel de almidón bajo condiciones de calentamiento y agitación. Durante esta fase, los gránulos de almidón previamente hinchados pueden sufrir ruptura o pérdida de integridad estructural debido a la acción combinada de la temperatura y el esfuerzo mecánico. La diferencia entre C3 y C4 representa el debilitamiento de la estructura formada durante la gelatinización. Una diferencia elevada indica una mayor susceptibilidad de la estructura gelatinizada a la acción térmica y mecánica, mientras que una diferencia menor indica una mayor estabilidad del gel bajo las condiciones del ensayo.

Retrogradación del almidón C5

El punto C5 se obtiene durante la etapa de enfriamiento y se relaciona con la retrogradación del almidón. Al disminuir la temperatura, las cadenas de amilosa y amilopectina pueden comenzar a reorganizarse y establecer nuevamente interacciones entre ellas, provocando un incremento de la consistencia. Por ello, el aumento de consistencia desde C4 hasta C5 se utiliza como indicador del comportamiento del almidón durante el enfriamiento. Un valor elevado de C5 puede asociarse con una mayor tendencia del sistema a desarrollar consistencia durante esta etapa, mientras que valores menores indican una menor respuesta de retrogradación bajo las condiciones del ensayo (Kim et al., 2022).

Estabilidad

La estabilidad corresponde al tiempo durante el cual la consistencia de la masa se mantiene próxima al nivel objetivo establecido durante la etapa inicial del ensayo. Este parámetro proporciona información sobre la capacidad de la masa para mantener su estructura durante el amasado. Una mayor estabilidad indica una mayor resistencia de la masa frente a la acción mecánica prolongada, mientras que una

menor estabilidad puede reflejar una estructura que se debilita con mayor rapidez durante el mezclado. En formulaciones con sustitución de harina de trigo, este parámetro puede modificarse debido a la reducción relativa de las proteínas formadoras de gluten y a la incorporación de componentes provenientes del chocho y amaranto (Kim et al., 2022).

3.4.8. Análisis reológico de las harinas

Para la determinación del comportamiento reológico de las formulaciones se utilizó un reómetro Anton Paar MCR 302 equipado con una celda de pasteado, accesorio que permite evaluar los cambios de viscosidad de suspensiones de harina durante un programa controlado de temperatura. Esta metodología permite estudiar el comportamiento de sistemas ricos en almidón durante el calentamiento y enfriamiento, particularmente los fenómenos relacionados con el empastado, la gelatinización, el desarrollo de viscosidad y la estabilidad de la pasta. (Narváez, 2023)

La preparación de las muestras se realizó siguiendo las condiciones establecidas para la celda de pasteado utilizada en el equipo. Para cada determinación se pesaron 3 g de la mezcla seca de harinas y se adicionaron 25 ml de agua destilada. La mezcla fue homogeneizada hasta obtener una suspensión uniforme, evitando la presencia de aglomeraciones que pudieran afectar la transferencia de calor y la medición de viscosidad. Posteriormente, la suspensión fue colocada cuidadosamente en la celda de pasteado del reómetro. Una vez colocada la muestra, se inició el programa de temperatura establecido para el análisis, con una duración aproximada de 25 minutos. Durante el ensayo, el equipo registró de manera continua la resistencia de la muestra al movimiento bajo condiciones controladas, generando una curva de viscosidad en función del tiempo y de la temperatura. Esta respuesta permitió identificar los principales cambios estructurales experimentados por los componentes de la mezcla durante el calentamiento y posterior enfriamiento (Narváez, 2023).

El comportamiento registrado se relacionó principalmente con las transformaciones experimentadas por el almidón. Durante el calentamiento, los gránulos de almidón absorben agua, se hinchan y pierden progresivamente su estructura, ocasionando un aumento de la viscosidad. Posteriormente, la aplicación de temperatura y esfuerzo mecánico puede provocar ruptura de los gránulos previamente hinchados, generando una disminución de la viscosidad. Durante el enfriamiento puede producirse una reorganización parcial de las cadenas de almidón, asociada con un

nuevo incremento de la viscosidad. A partir de la curva obtenida se determinaron los parámetros de viscosidad máxima, breakdown, setback y temperatura de empaste, los cuales permitieron comparar el comportamiento de las diferentes formulaciones (Narváez, 2023).

Viscosidad máxima

La viscosidad máxima corresponde al mayor valor de viscosidad alcanzado durante la fase de calentamiento. Este punto representa la máxima capacidad de la suspensión para desarrollar viscosidad como consecuencia de la hidratación e hinchamiento de los gránulos de almidón antes de que predominen los fenómenos de ruptura estructural. Un valor elevado de viscosidad máxima puede indicar una mayor capacidad del sistema para desarrollar una estructura viscosa durante el calentamiento. En una mezcla de harinas, este parámetro puede modificarse por la concentración y características del almidón, la presencia de proteínas, fibra y lípidos, así como por la disponibilidad de agua (Wang et al., 2024b).

Breakdown

El breakdown corresponde a la disminución de viscosidad que ocurre después de alcanzar la viscosidad máxima y durante la fase de mantenimiento a elevada temperatura. Se obtiene a partir de la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad registrada en el punto mínimo posterior al pico. Este parámetro permite evaluar la estabilidad de la estructura formada durante el empastado frente a la acción combinada del calor y el esfuerzo mecánico. Un breakdown elevado representa una mayor pérdida de viscosidad después del pico y, por tanto, una menor estabilidad de la estructura gelatinizada bajo las condiciones del ensayo. Por el contrario, un breakdown reducido indica una mayor resistencia de la pasta a la desintegración durante el calentamiento y la agitación (Wang et al., 2024b).

Setback

El setback representa el incremento de viscosidad producido durante el enfriamiento después de la etapa de calentamiento. Se relaciona con la reorganización de las cadenas de almidón, principalmente amilosa y amilopectina, durante la disminución de temperatura. Un valor elevado de setback indica una mayor tendencia del sistema a incrementar su viscosidad durante el enfriamiento y puede relacionarse con una mayor tendencia a la reorganización de las moléculas de almidón. Este

comportamiento es relevante debido a que la retrogradación puede influir posteriormente en la textura y estabilidad del producto (Wang et al., 2024b).

Temperatura de empaste

La temperatura de empaste corresponde a la temperatura a la cual comienza a observarse un cambio significativo en la viscosidad de la suspensión como consecuencia de la hidratación e inicio de las transformaciones del almidón durante el calentamiento. Este parámetro permite identificar la temperatura necesaria para que el sistema comience a desarrollar cambios estructurales asociados con el proceso de gelatinización y empastado. Una variación de la temperatura de empaste entre formulaciones puede indicar cambios en la disponibilidad de agua y en la interacción entre los diferentes componentes de las harinas. En mezclas donde se incorporan chocho y amaranto, la presencia de proteínas, fibra y lípidos puede modificar la disponibilidad de agua para el almidón y, por consiguiente, alterar su comportamiento térmico. Los parámetros obtenidos mediante el análisis reológico permitieron establecer diferencias en la capacidad de las formulaciones para desarrollar y mantener viscosidad durante el calentamiento, así como su comportamiento durante el enfriamiento. Estos resultados fueron posteriormente interpretados conjuntamente con los parámetros obtenidos mediante Mixolab y análisis textural (Wang et al., 2024b).

3.4.9. Consideraciones sobre la calidad de cocción de la pasta

La calidad de cocción constituye un criterio tecnológico importante en la evaluación de pastas y puede caracterizarse mediante el tiempo óptimo de cocción (TOC), la pérdida de sólidos durante la cocción, la ganancia o absorción de agua y el índice de hinchamiento, además de la firmeza instrumental. El método AACC 66-50.01 se utiliza ampliamente para evaluar la calidad de cocción y la firmeza de pastas. El TOC corresponde al tiempo necesario para que desaparezca el núcleo blanco de almidón no gelatinizado al comprimir la pasta cocida entre superficies transparentes. La pérdida de cocción se determina mediante la recuperación y evaporación del agua de cocción, generalmente hasta peso constante a 105 °C, y expresa la cantidad de sólidos liberados al medio de cocción. La absorción o ganancia de agua se determina a partir del incremento de masa de la pasta después de la cocción, mientras que el índice de hinchamiento permite expresar el cambio de volumen asociado a la hidratación y gelatinización. Estos parámetros no fueron determinados experimentalmente en la presente

investigación y, por tanto, no se incorporan valores numéricos ni se realizan comparaciones estadísticas sobre ellos. No obstante, su consideración es relevante para interpretar los cambios de textura observados. En formulaciones con mayor proporción de chocho y amaranto, el aumento de proteínas y fibra puede incrementar la competencia por el agua y modificar la disponibilidad de agua para el almidón. A su vez, la reducción de la proporción de trigo y de la red de gluten puede favorecer una mayor liberación de sólidos durante la cocción si la matriz no retiene adecuadamente los gránulos de almidón.

3.4.10. Texturometría de la pasta obtenida a partir de los diferentes tratamientos

Para evaluar las propiedades texturales de la pasta cocida se utilizó el equipo texturómetro Brookfield AMETEK CTX equipo que permite registrar la respuesta mecánica de un alimento cuando es sometido a una deformación controlada. La textura constituye una característica de importancia tecnológica y sensorial, debido a que está relacionada con la resistencia, integridad estructural y comportamiento mecánico del producto durante su consumo.

La evaluación de la firmeza y el trabajo de corte se realizó tomando como referencia el método AACCI 66-50.01, utilizado para la determinación de la firmeza de pasta cocida mediante un ensayo de corte. El principio del método consiste en registrar la fuerza necesaria para atravesar una muestra de pasta mediante una cuchilla o elemento de corte acoplado al texturómetro. La respuesta obtenida permite caracterizar la resistencia mecánica del producto cocido (De La Peña et al., 2014).

Las muestras fueron cocidas durante 8 minutos bajo condiciones controladas. Una vez finalizado el tiempo de cocción, las muestras fueron retiradas del medio de cocción y acondicionadas de acuerdo con las condiciones establecidas para el análisis. Posteriormente, cada muestra fue colocada sobre la plataforma del texturómetro y sometida a una deformación mediante la cuchilla previamente instalada y programada. Durante el ensayo, el equipo registró la fuerza ejercida en función del desplazamiento de la cuchilla, generando una curva fuerza-distancia. A partir de esta curva se obtuvo el trabajo de corte y, de manera complementaria, se determinaron parámetros de perfil de textura que permitieron caracterizar la respuesta mecánica de las formulaciones (Aparicio & Agudelo, 2018).

Trabajo de corte

El trabajo de corte corresponde a la energía necesaria para atravesar la muestra mediante la cuchilla y se obtiene a partir del área bajo la curva fuerza-distancia durante el proceso de corte. Un valor elevado indica que se requiere una mayor cantidad de energía para deformar y cortar la pasta, lo que generalmente se relaciona con una estructura más resistente. En el caso de las pastas, un mayor trabajo de corte puede estar asociado con una matriz estructural más continua y resistente, mientras que una reducción de este parámetro puede indicar un debilitamiento de la estructura como consecuencia de cambios en la composición o en las interacciones entre proteínas, almidón y agua (De La Peña et al., 2014).

Cohesividad

La cohesividad representa el grado en que las partículas o componentes internos del alimento permanecen unidos cuando el producto es sometido a una deformación. Una pasta con mayor cohesividad presenta una estructura interna capaz de mantener mejor su integridad frente a la deformación. La disminución de la cohesividad puede relacionarse con una menor continuidad estructural de la matriz, particularmente cuando se reduce la proporción de proteínas capaces de formar redes continuas, como ocurre cuando parte de la harina de trigo es sustituida por harinas que no desarrollan una red de gluten equivalente (De La Peña et al., 2014).

Dureza

La dureza corresponde a la fuerza máxima necesaria para producir una determinada deformación de la muestra durante el ensayo. En pasta cocida, este parámetro representa la resistencia del producto frente a la compresión o deformación aplicada. Una mayor dureza generalmente se asocia con una estructura más resistente. En el caso de la pasta, la dureza depende de la interacción entre la matriz proteica, el almidón gelatinizado, el contenido de agua y las condiciones de cocción (De La Peña et al., 2014).

Pegajosidad

La pegajosidad representa la tendencia de la muestra a adherirse a la superficie del elemento de contacto durante el ensayo. Puede relacionarse con la cantidad de material que permanece adherido a la superficie después de producirse la deformación o separación. En pasta cocida, una mayor pegajosidad puede estar

relacionada con una mayor presencia de componentes solubles en la superficie, una estructura proteica menos eficiente para retener el almidón o una mayor liberación de material durante la cocción (De La Peña et al., 2014).

Gomosidad

La gomosidad representa la energía necesaria para desintegrar un alimento semisólido hasta alcanzar un estado adecuado para su deglución y, en análisis de perfil de textura, se encuentra relacionada principalmente con la interacción entre dureza y cohesividad. En términos generales, una disminución de dureza o cohesividad puede generar una reducción de la gomosidad. En pasta, este parámetro permite complementar la información obtenida mediante el trabajo de corte y la dureza, proporcionando una descripción más completa de la estructura del producto cocido (De La Peña et al., 2014).

Resiliencia

La resiliencia representa la capacidad del alimento para recuperar parte de la energía o deformación aplicada durante el ensayo, y constituye un indicador de la respuesta elástica inmediata de la estructura. Una mayor resiliencia indica que la matriz presenta una mayor capacidad para recuperar su estado después de una deformación, mientras que valores bajos reflejan una estructura con menor capacidad de recuperación. La resiliencia puede verse afectada por la composición de la matriz y por el grado de hidratación y gelatinización alcanzado durante la cocción. Por esta razón, su comportamiento debe interpretarse conjuntamente con dureza, cohesividad y trabajo de corte (De La Peña et al., 2014).

3.4.11. Método para análisis microbiológico

El análisis microbiológico de las formulaciones de pasta se realizó con el propósito de determinar la carga de microorganismos indicadores asociada a las condiciones de elaboración y manipulación del producto. Se evaluaron aerobios mesófilos, mohos y levaduras y coliformes totales mediante métodos microbiológicos basados en procedimientos establecidos por la Food and Drug Administration (FDA) en el Bacteriological Analytical Manual (BAM) bajo la norma INEN 1375 – INEN 1529 para asegurar la confiabilidad e inocuidad.

Antes de realizar los análisis se efectuó la preparación y homogenización de las muestras bajo condiciones asépticas, con el propósito de obtener una suspensión

representativa del producto y reducir el riesgo de contaminación externa durante el procedimiento. A partir de la suspensión inicial se realizaron las diluciones necesarias de acuerdo con el microorganismo evaluado y posteriormente se inocularon los medios de cultivo correspondientes (Satán, 2022).

Aerobios mesófilos

El recuento de aerobios mesófilos se realizó tomando como referencia el capítulo correspondiente al recuento de aerobios en placa del FDA/BAM. Este análisis permite estimar la cantidad de microorganismos capaces de desarrollarse bajo las condiciones de incubación establecidas para el método y constituye un indicador general de la calidad microbiológica y de las condiciones higiénicas del producto y su procesamiento. Las diluciones de la muestra fueron inoculadas en el medio de cultivo correspondiente y posteriormente incubadas bajo las condiciones establecidas por el método. Después del período de incubación se seleccionaron las placas que presentaron un número de colonias adecuado para el recuento y se determinó la concentración microbiana, expresada como unidades formadoras de colonia por gramo de muestra (UFC/g) (FDA/BAM, 2025).

Mohos y levaduras

El análisis de mohos y levaduras se realizó de acuerdo con el capítulo 18 del FDA/BAM, correspondiente al análisis de estos microorganismos en alimentos. Estos grupos microbianos tienen importancia en productos farináceos debido a que pueden desarrollarse durante el almacenamiento cuando existen condiciones favorables de humedad y actividad de agua. Las muestras fueron sometidas a diluciones sucesivas y sembradas en el medio de cultivo establecido por el procedimiento utilizado en el laboratorio. Posteriormente, las placas fueron incubadas bajo las condiciones de tiempo y temperatura correspondientes al método. Una vez finalizada la incubación se efectuó el recuento de las colonias características y los resultados se expresaron como UFC/g. El control de mohos y levaduras es importante debido a que estos microorganismos pueden producir deterioro del alimento, alteraciones de olor y sabor y, en determinadas especies de hongos, metabolitos potencialmente perjudiciales. El FDA señala que los mohos y levaduras pueden desarrollarse en una amplia variedad de alimentos y que algunos mohos son capaces de producir micotoxinas, por lo que su control constituye un aspecto relevante de la calidad e inocuidad de productos alimentarios (FDA, 2001).

Coliformes totales

El análisis de coliformes se realizó con base en el capítulo 4 del FDA/BAM, correspondiente a la enumeración de coliformes y *Escherichia coli*. Los coliformes se utilizan como microorganismos indicadores de las condiciones higiénicas y sanitarias asociadas al procesamiento y manipulación de los alimentos. La muestra fue sometida a las diluciones correspondientes y posteriormente inoculada en el medio establecido por el método. El procedimiento convencional contempla una etapa de crecimiento en medios apropiados y la evaluación de características asociadas con la fermentación de lactosa, seguida, cuando corresponde al alcance del análisis, de pruebas confirmatorias. La edición de octubre de 2020 del capítulo 4 establece, entre otras condiciones, el uso de medios como caldo lactosado, caldo lauril triptosa y caldo bilis lactosa verde brillante para las diferentes etapas del procedimiento (FDA, 2020).

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos y tres repeticiones, dando lugar a 15 unidades experimentales. Los factores y niveles evaluados se detallan a continuación.

- Factor A: Nivel de sustitución de harina de trigo por harinas andinas (chocho + amaranto en proporción 1:1): 0% (T0), 10% (T1), 20% (T2), 30% (T3), 40% (T4).
- Factores constantes: Proporción de huevo (37% del peso total de harina) y sal (3% del peso total de harina), temperatura de secado (60 °C 2 horas), tiempo de amasado (15-20 min)

Tabla 11. Tratamientos con diferentes porcentajes.

N°	Tratamientos	Esquema	Repeticiones	Unidades experimentales
Control	T1	100% harina de trigo	3	15
1	T2	10% harina de chocho y amaranto	3	
2	T3	20% harina de chocho y amaranto	3	
3	T4	30% harina de chocho y amaranto	3	
4	T5	40% harina de chocho y amaranto	3	

Para el procesamiento estadístico de los resultados, inicialmente se evaluaron los supuestos necesarios para el uso de pruebas paramétricas. La normalidad de los datos se determinó mediante la prueba de Shapiro-Wilk, mientras que la homogeneidad de varianzas se comprobó con la prueba de Levene y la independencia de las observaciones mediante Durbin-Watson, considerando en todos los casos un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Cuando se verificó el cumplimiento de estos criterios, se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA), seguido de la prueba de Tukey para establecer diferencias entre las medias ($p < 0,05$). Cuando no se cumplió el supuesto de normalidad, se recurrió a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y, posteriormente, a la prueba de Dunn como análisis post hoc. Todos los procedimientos estadísticos fueron ejecutados mediante el programa RStudio, versión 4.3.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Caracterización fisicoquímica de la pasta tipo spaghetti

En la tabla 12 se muestra la caracterización fisicoquímica de los tratamientos.

Tabla 12. Caracterización fisicoquímica

	Humedad (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Fibra (%)	Gluten (mg/kg)
T0	11.307 ± 0.04 c	0.723 ± 0.015 e	5.913 ± 0.012 e	19.763 ± 0.479 d	0.637 ± 0.015 e	30.967 ± 0.379 a
T1	11.837 ± 0.038 a	1.243 ± 0.006 d	7.733 ± 0.035 d	21.684 ± 0.564 c	1.71 ± 0.026 c	30.21 ± 0.324 ab
T2	11.837 ± 0.021 a	1.4 ± 0.01 c	8.26 ± 0.12 c	21.983 ± 0.064 c	1.607 ± 0.025 d	29.6 ± 0.137 ab
T3	11.873 ± 0.025 a	1.513 ± 0.021 b	9.547 ± 0.292 b	24.643 ± 0.248 b	2.293 ± 0.035 b	28.69 ± 0.775 b
T4	11.66 ± 0.026 b	1.613 ± 0.015 a	10.237 ± 0.193 a	26.12 ± 0.161 a	2.713 ± 0.035 a	27.02 ± 0.869 c

4.1.1.1. Humedad

En la tabla 13 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 13. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia en el parámetro de humedad.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,0874	p-valor	si
Homocedasticidad	Levene	0,9460	p-valor	si
Independencia	Dourbin Watson	0,2121	P-valor	si

En la tabla 14 muestra en análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el aspecto humedad

Tabla 14. Análisis de varianza del aspecto humedad

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	0,6710	0,1678	173,5414	3,4246E-09
Error	10	0,0097	0,0010		

En la tabla 15 se muestra el contenido de humedad presentó diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento T3 registro y mayor contenido de humedad (11.873 ± 0.025), mientras que T0 registro un menor contenido de humedad (11.307 ± 0.04). Esta disminución puede atribuirse a la incorporación de harina de chocho y amaranto.

Tabla 15. Prueba de Tukey del aspecto de humedad

Tratamientos	Humedad	Grupos
T3	11.873 ± 0.025	A
T1	11.837 ± 0.038	A
T2	11.837 ± 0.021	A
T4	11.66 ± 0.026	B
T0	11.307 ± 0.04	C

4.1.1.2. Ceniza

En la tabla 16 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 16. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,0874	p-valor	si
Homocedasticidad	Levene	0,9460	p-valor	si
Independencia	Dourbin Watson	0,2121	P-valor	si

En la tabla 17 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de ceniza. Procediendo a aplicar un post-hoc.

Tabla 17. Análisis de varianza de ceniza

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	1,4683	0,3671	1776,1774	3,2874E-14
Error	10	0,0021	0,0002		

En la tabla 18 el contenido de ceniza presentó diferencia significativa entre tratamientos. El T4 registro el mayor contenido de minerales (1.613 ± 0.015), mientras

que T0 presentó el valor más bajo (0.723 ± 0.015). Este incremento de minerales se debe al aumento de harina de chocho y amaranto.

Tabla 18. Prueba de Tukey de ceniza

Tratamientos	Ceniza	Grupos
T4	1.613 ± 0.015	A
T3	1.513 ± 0.021	B
T2	1.4 ± 0.01	C
T1	1.243 ± 0.006	D
T0	0.723 ± 0.015	E

4.1.1.3. Grasa

Tabla 19 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 19. Normalidad, homocedasticidad e independencia de grasa

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,1079	p-valor	Si
Homocedasticidad	Levene	0,6412	p-valor	Si
Independencia	Dourbin Watson	0,6361	P-valor	si

En la tabla 20 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de grasa. Procediendo a aplicar un post-hoc.

Tabla 20. Análisis de varianza de grasa

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	33,9496	8,4874	307,4400	2,0349E-10
Error	10	0,2761	0,0276		

En la tabla 21 el contenido de grasa presentó diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento T4 registró el mayor contenido proteico (10.237 ± 0.193), mientras el T0 presentó el valor más bajo (5.913 ± 0.012). Esto se debe al incremento de harina de chocho y amaranto, en las formulaciones lo que indica que hay un elevado contenido graso del chocho y amaranto.

Tabla 21. Prueba de Tukey de grasa.

Tratamientos	Grasa	Grupos
T4	10.237 ± 0.193	A
T3	9.547 ± 0.292	B
T2	8.26 ± 0.12	C
T1	7.733 ± 0.035	D
T0	5.913 ± 0.012	E

4.1.1.4. Proteína

En la tabla 22 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 22. Normalidad, homocedasticidad e independencia de proteína

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,0782	p-valor	Si
Homocedasticidad	Levene	0,8288	p-valor	Si
Independencia	Durbin Watson	0,8402	P-valor	si

En la tabla 23 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de proteína. Procediendo a aplicar un post-hoc

Tabla 23. Análisis de varianza de proteína

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	76,6372	19,1593	149,8280	7,0465E-09
Error	10	1,2788	0,1279		

En la tabla 24 se muestra el contenido de proteína donde presento diferencia significativa entre los tratamientos. El tratamiento T4 registró el mayor contenido (26.12 ± 0.161), mientras que T0 presentó un valor más bajo (19.763 ± 0.479). Este incremento se debe a la adición de harina de chocho y amaranto en las formulaciones como se observa en la figura 3.

Tabla 24. Prueba Tukey de proteína.

Tratamientos	Proteína	Grupos
T4	26.12 ± 0.161	A
T3	24.643 ± 0.248	B
T2	21.983 ± 0.064	C
T1	21.684 ± 0.564	C
T0	19.763 ± 0.479	D

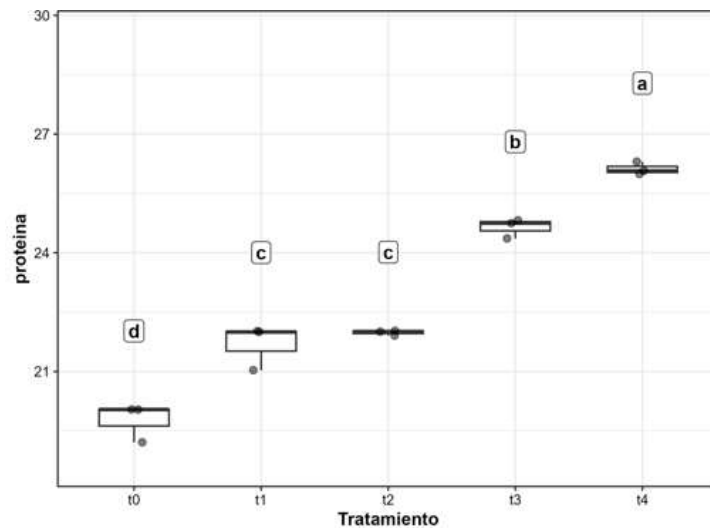


Figura 3. Diagrama de caja y bigote para proteína

4.1.1.5. Fibra

En la tabla 25 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 25. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia de fibra.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,3101	p-valor	si
Homocedasticidad	Leven	0,8807	p-valor	si
Independencia	Durbin Watson	0,5061	P-valor	si

En la tabla 26 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de fibra. Procediendo a aplicar un post-hoc

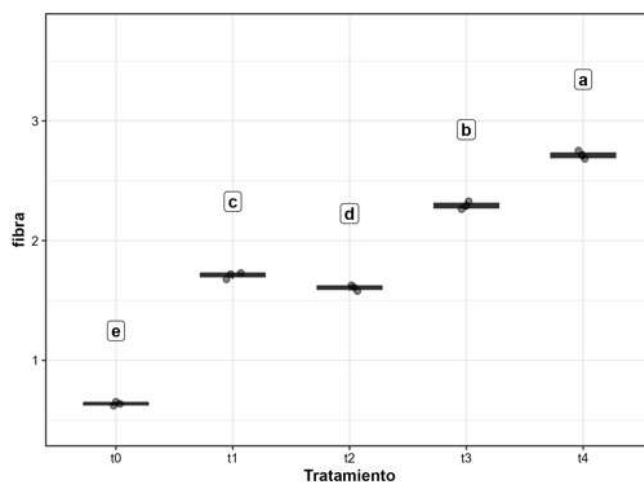
Tabla 26. Análisis de varianza de fibra

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	7,4282	1,8570	2302,1198	9,0046E-15
Error	10	0,0081	0,0008		

En la tabla 27 se muestra el contenido de fibra que presentó diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento T4 presentó el mayor contenido de fibra (2.713 ± 0.035), mientras que el T0 presentó un valor más bajo (0.637 ± 0.015), Este Incremento se debe por la adición de harina de chocho y amaranto ya que contienen más fibra como se observa en la figura 4.

Tabla 27. Prueba Tukey de fibra

Tratamientos	Fibra	Grupos
T4	2.713 ± 0.035	A
T3	2.293 ± 0.035	B
T1	1.71 ± 0.026	C
T2	1.607 ± 0.025	D
T0	0.637 ± 0.015	E

**Figura 4.** Diagrama de caja y bigote para fibra

4.1.1.6. Gluten

En la tabla 28 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 28. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia de gluten

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,6163	p-valor	si
Homocedasticidad	Levene	0,4136	p-valor	si
Independencia	Durbin Watson	0,2405	P-valor	si

En la tabla 29 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de gluten. Procediendo a aplicar un post-hoc

Tabla 29. Análisis de varianza de gluten

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	27,7990	6,9498	21,4071	6,8488E-05
Error	10	3,2465	0,3246		

En la tabla 30 se muestra el contenido de gluten lo que presentó diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento T4 presenta un menor contenido de gluten (27.02 ± 0.869), mientras que el T0 presenta un mayor contenido de gluten (30.967 ± 0.379). Esta disminución se debe a la adición de harina de chocho y amaranto ya que son libres de gluten y aporta en la disminución de cada tratamiento como se observa en la figura 5.

Tabla 30. Prueba Tukey de gluten

Tratamientos	Gluten	Grupos
T0	30.967 ± 0.379	A
T1	30.21 ± 0.324	AB
T2	29.6 ± 0.137	AB
T3	28.69 ± 0.775	B
T4	27.02 ± 0.869	C

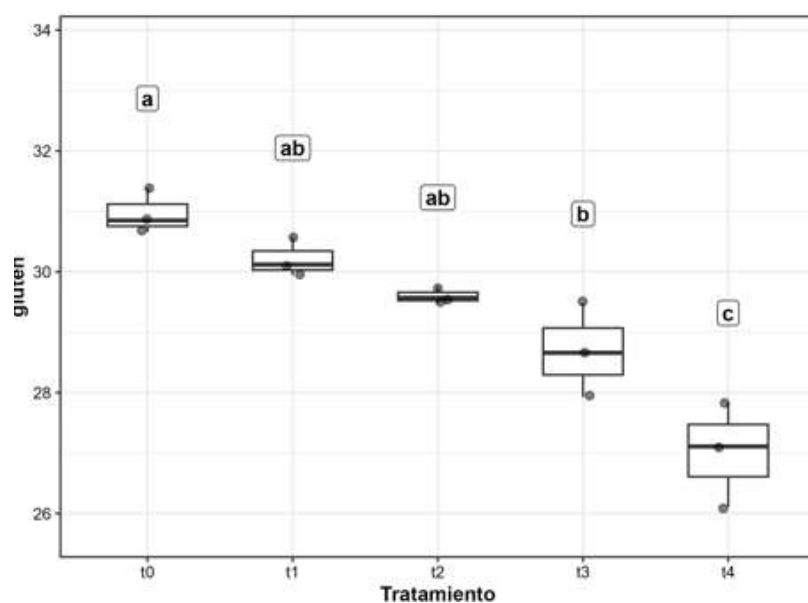


Figura 5. Diagrama de caja y bigote para gluten

4.1.2. Resultados microbiológicos

Los resultados microbiológicos mostraron valores menores al referente que nos indica la norma. En la tabla 31 se presenta los recuentos de Aerobios mesófilos total obtuvo un resultado $1,5 \times 10^2$ UFC/g, manteniéndose ampliamente por debajo del límite referencial de 1×10^5 UFC/g.

Tabla 31. Análisis Aerobios mesófilos de la pasta tipo spaghetti

Requisitos	Unidad	Máximo	Resultados	Métodos de ensayo
Aerobios mesófilos	UFC/g	1x10 ⁵	1,5x10 ²	NTE INEN 1529-5 / FDA BAM 2022

En la tabla 32 se presenta el recuento de Coliformes totales obteniendo un resultado <10UFC/g

Tabla 32. Análisis Coliformes Totales de la pasta tipo spaghetti.

Requisitos	Unidad	Máximo	Resultados	Métodos de ensayo
Coliformes Totales	UFC/g	1x10 ²	<10	NTE INEN 1529-7 / FDA BAM 2020

En la tabla 33 se evidencia un control microbiológico óptimo de Mohos y levaduras

Tabla 33. Análisis de Mohos y levaduras de la pasta tipo spaghetti

Requisitos	Unidad	Máximo	Resultados	Métodos de ensayo
Mohos y levaduras	UFC/g	1x10 ³	<10	NTE INEN 1529-10 / FDA BAM 2025

4.1.3. Propiedades reológicas

En la tabla 34 se evidencia el perfil RVA de las harinas compuestas.

Tabla 34. Perfil RVA

	Peak viscosity	Pasting temperature	Breakdown	Final viscosity	Setback from trough
T0	947 ± 18.94 a	60.8 ± 0.173 a	109.49 ± 2.19 d	870.47 ± 17.41 a	760.97 ± 15.22 a
T1	869.333 ± 17.385 b	60.833 ± 0.115 a	212.407 ± 4.245 a	775.9 ± 15.52 b	563.267 ± 11.265 c
T2	645.47 ± 12.91 c	60.6 ± 0.346 ab	198.667 ± 3.975 b	581.167 ± 11.625 c	382.5 ± 7.65 d
T3	625.5 ± 12.51 c	60.333 ± 0.153 ab	148.3 ± 2.97 c	787.733 ± 15.755 b	639.47 ± 12.79 b
T4	441.167 ± 8.825 d	60.2 ± 0.1 b	150 ± 3 c	337.53 ± 6.75 d	187.5 ± 3.75 e

4.1.3.1. Peak viscosity

En la tabla 35 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos

Tabla 35. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,3102	p-valor	si

Homocedasticidad	Levene	0,8644	p-valor	si
Independencia	Durbin Watson	0,5153	P-valor	si

En la tabla 36 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas. Procediendo a aplicar un post-hoc

Tabla 36. Análisis de varianza

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	de Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	495117,40	123779,35	582,7595	8,5028E-12
Error	10	2124,02	212,40		

En la tabla 37 se presentó diferencia significativa entre los tratamientos

Tabla 37. Prueba Tukey

Tratamientos	Peak viscosity	Grupos
T0	947 ± 18.94	A
T1	869.333 ± 17.385	B
T2	645.47 ± 12.91	C
T3	625.5 ± 12.51	C
T4	441.167 ± 8.825	D

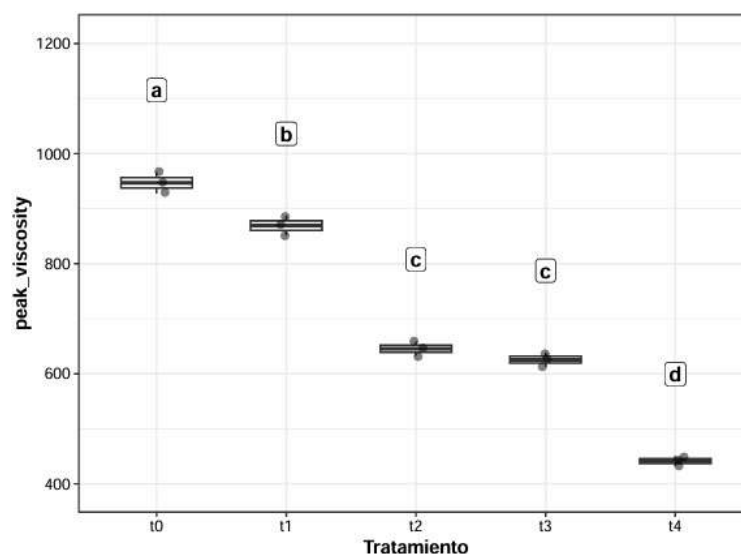


Figura 6. Diagrama de caja y bigote peak viscosity

4.1.3.2. Pasting temperature

En la tabla 38 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 38. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,1545	p-valor	si
Homocedasticidad	Levene	0,9002	p-valor	si
Independencia	Durbin Watson	0,7456	P-valor	si

En la tabla 39 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas. Procediendo a aplicar un post-hoc.

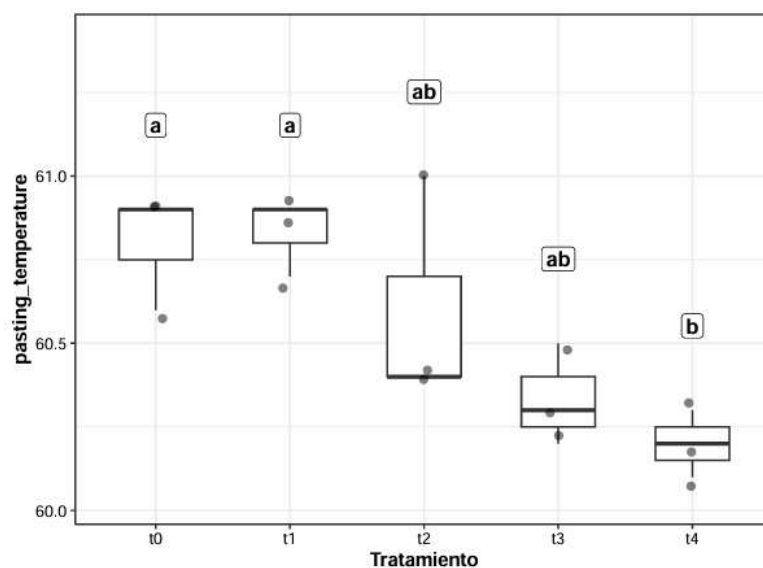
Tabla 39. Análisis de varianza

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	0,9440	0,2360	6,0000	0,0099689
Error	10	0,3933	0,0393		

En la tabla 40 se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 40. Prueba Tukey

Tratamientos	Pasting temperature	Grupos
T1	60.833 ± 0.115 a	A
T0	60.8 ± 0.173 a	A
T2	60.6 ± 0.346 ab	AB
T3	60.333 ± 0.153 ab	AB
T4	60.2 ± 0.1 b	B

**Figura 7.** Diagrama de caja y bigote pasting temperature

4.1.3.3. Breakdown

En la tabla 41 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos

Tabla 41. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,2134	p-valor	si
Homocedasticidad	Levene	0,9056	p-valor	si
Independencia	DurbinWatson	0,6428	P-valor	si

En la tabla 42 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas. Procediendo a aplicar un post-hoc

Tabla 42. Análisis de varianza

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	20875,66	5218,9121	462,3611	2,6871E-11
Error	10	112,8753	11,2875		

En la tabla 43 se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 43. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tratamientos	Breakdown	Grupos
T1	212.407 ± 4.245	A
T2	198.667 ± 3.975	B
T4	150 ± 3 c	C
T3	148.3 ± 2.97 c	C
T0	109.49 ± 2.19	D

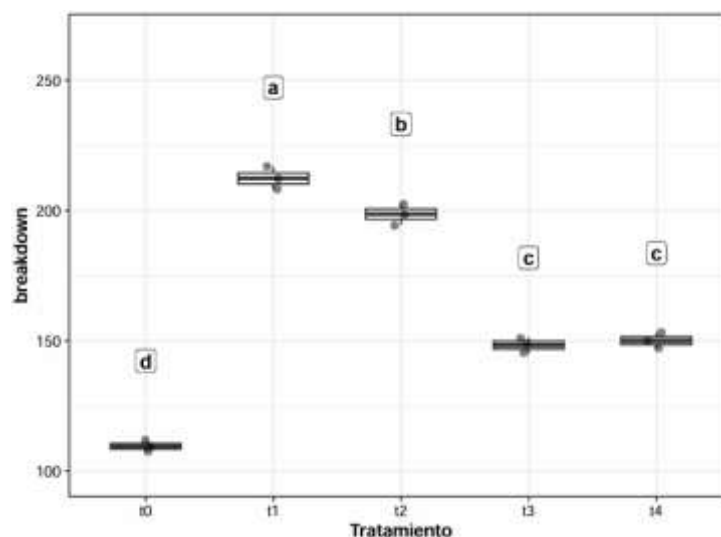


Figura 8. Diagrama de caja y bigote breakdown

4.1.3.4. Final viscosity

En la tabla 44 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos

Tabla 44. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,1851	p-valor	si
Homocedasticidad	Levene	0,8196	p-valor	si
Independencia	Durbin Watson	0,5244	P-valor	si

En la tabla 45 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas. Procediendo a aplicar un post-hoc

Tabla 45. Análisis de varianza

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	551070,7881	137767,6970	708,0248	3,2261E-12
Error	10	1945,8033	194,5803		

En la tabla 46 se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 46. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tratamientos	Final viscosity	Grupos
T0	870.47 ± 17.41 a	A
T3	787.733 ± 15.755 b	B

T1	775.9 ± 15.52 b	B
T2	581.167 ± 11.625 c	C
T4	337.53 ± 6.75 d	D

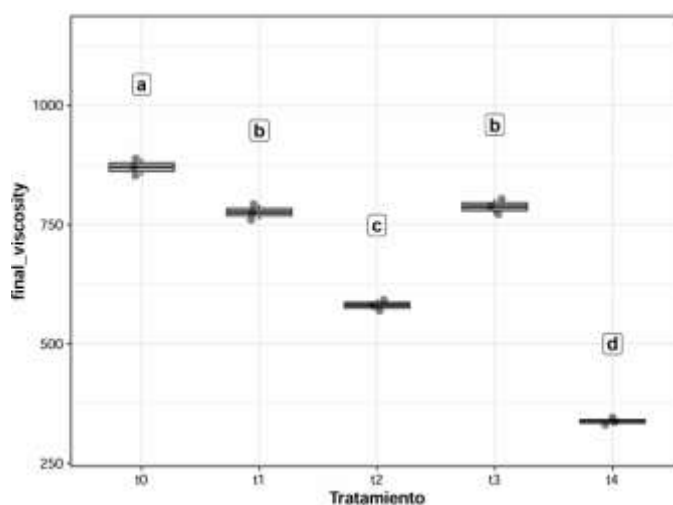


Figura 9. Diagrama de caja y bigote final viscosity

4.1.3.5. Setback from trough

En la tabla 47 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos

Tabla 47. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,5475	p-valor	si
Homocedasticidad	Levene	0,6201	p-valor	si
Independencia	Durbin Watson	0,4236	P-valor	si

En la tabla 48 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas. Procediendo a aplicar un post-hoc

Tabla 48. Análisis de varianza

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	608385,495	152096,373	1278,7274	1,6944E-13
Error	10	1189,435	118,943		

En la tabla 49 se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 49. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tratamientos	Setback from trough	Grupos
T0	760.97 ± 15.22 a	A
T3	639.47 ± 12.79 b	B
T1	563.267 ± 11.265 c	C
T2	382.5 ± 7.65 d	D
T4	187.5 ± 3.75 e	E

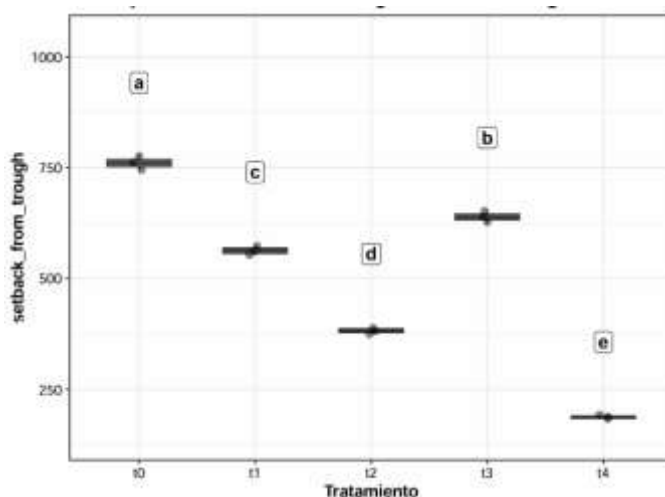


Figura 10. Diagrama de caja y bigote setback from trough

Viscosidad máxima

Se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos para la viscosidad máxima ($p < 0,05$). El valor de este parámetro disminuyó conforme aumentó el nivel de sustitución, pasando de $947 \pm 18,94$ en T0 a $441,167 \pm 8,825$ en T4. Estos resultados indican que la incorporación progresiva de harina de chocho y amaranto en reemplazo de la harina de trigo afectó la capacidad de las formulaciones para alcanzar una elevada viscosidad durante el proceso de calentamiento.

Este parámetro refleja el comportamiento de los gránulos de almidón frente a la absorción de agua y su posterior hinchamiento durante la gelatinización, procesos que contribuyen a la formación de una pasta viscosa. El tratamiento T0, compuesto exclusivamente por harina de trigo, registró la mayor viscosidad, posiblemente debido a una mayor disponibilidad de almidón susceptible de gelatinizar. En cambio, el incremento de harina de chocho y amaranto ocasionó una disminución de este valor, lo que puede relacionarse con la menor proporción de almidón y la presencia de mayores cantidades de proteínas y fibra en las mezclas.

Estabilidad térmica

La estabilidad térmica de las mezclas fue evaluada mediante el parámetro Breakdown, observándose diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). El tratamiento T0 presentó el menor valor (109.49 ± 2.19) mientras que los tratamientos T1 (212.407 ± 4.245) y T2 (198.667 ± 3.975) registraron los valores más elevados

El Breakdown representa la pérdida de viscosidad que experimenta la pasta durante el mantenimiento a alta temperatura y bajo una agitación constante. Valores bajos indican una mayor resistencia a los gránulos de almidón frente a la acción combinada del calor y el esfuerzo mecánico, mientras que los valores elevados reflejan una mayor susceptibilidad a la ruptura estructural.

Los resultados obtenidos indican que el tratamiento T0 elaborado exclusivamente con harina de trigo presentó la mayor estabilidad térmica debido a que sus gránulos de almidón mantuvieron mejor su integridad durante el calentamiento. Por lo tanto, la sustitución parcial de harina de trigo influyó significativamente en la resistencia térmica de las mezclas durante el proceso de empaste.

Retrogradación

La retrogradación del almidón presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), observándose una disminución progresiva tanto en la viscosidad final como en el parámetro setback from trough conforme aumentó el nivel de sustitución de harina de trigo por harina de chocho y amaranto.

El tratamiento control T0 registró mayores valores de la viscosidad final (870.47 ± 17.41) y setback from trough (760.97 ± 15.22), mientras que el tratamiento T4 presentó los valores más bajos (337.53 ± 6.75) y (187.5 ± 3.75) respectivamente. Estos resultados indican que el sistema elaborado exclusivamente con harina de trigo presentó una mayor capacidad de reorganización molecular durante el enfriamiento.

La reducción del setback from trough observada en los tratamientos con mayores niveles de sustitución puede considerarse favorable, ya que se asocia con una menor tendencia al endurecimiento, envejecimiento y pérdida de calidad textural durante el almacenamiento.

4.1.4. Análisis mixolab de la harina de pasta tipo spaghetti

En la tabla 50 se observa los resultados por parte del mixolab.

Tabla 50. Resultado de mixolab

	C1	C2	C3	C4	C5	Estabilidad
T0	1.123 ± 0.011 a	0.474 ± 0.005 a	0 ± 0 a	0 ± 0 a	5.288 ± 0.053 a	10.233 ± 0.103 a
T1	1.126 ± 0.011 a	0.429 ± 0.005 b	0 ± 0 a,	0 ± 0 a	5.306 ± 0.053 a	9.433 ± 0.095 b
T2	1.083 ± 0.011 a	0.396 ± 0.004 c	2.137 ± 0.022 ab	0.866 ± 0.009 ab	3.764 ± 0.038 b	6.867 ± 0.069 c
T3	1.117 ± 0.012 a	0.326 ± 0.004 e	3.091 ± 0.031 ab	2.932 ± 0.03 ab	2.875 ± 0.029 c	5.3 ± 0.053 d
T4	1.104 ± 0.011 a	0.347 ± 0.003 d	2.282 ± 0.023 ab	2.163 ± 0.022 ab	2.125 ± 0.022 d	5.233 ± 0.053 d

4.1.4.1. Desarrollo de la masa (C1)

En la tabla 51 indica que el p-valor para el supuesto de normalidad es inferior a 0,05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, no cumple con el supuesto de normalidad y los datos no son paramétricos por lo que se realizó una prueba de Kruskal Wallis

Tabla 51. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,0062	p-valor	No
Homocedasticidad	Levene	1,000	p-valor	si
Independencia	Durbin Watson	0,5482	P-valor	si

En la tabla 52 muestra la prueba de Kruskal Wallis para evaluar el efecto de los tratamientos

Tabla 52. Prueba de Kruskal Wallis

Método	Chi-cuadrado	Grados de libertad	P-valor
Kruskal Wallis	9,46	4	0,05061

En la tabla 53 indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 53. Prueba de Dunn

Comparación	Z	P.unadj	P.adj
T0-T1	-0,320	0,75	1
T0-T2	2,284	0,02	0,22
T1-T2	2,604	0,01	0,09
T0-T3	0,274	0,78	1
T1-T3	0,594	0,55	1
T2-T3	-2,010	0,04	0,44
T0-T4	1,416	0,16	1
T1-T4	1,736	0,08	0,83
T2-T4	-0,868	0,39	1
T3-T4	1,142	0,25	1

4.1.4.2. Debilitamiento de las proteínas (C2)

En la tabla 54 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos

Tabla 54. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,15,50	p-valor	Si
Homocedasticidad	Levin	0,9593	p-valor	Si
Independencia	Dorvin Watson	0,5298	P-valor	Si

En la tabla 55 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas. Procediendo a aplicar un post-hoc

Tabla 55. Análisis de varianza

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	0,0435	0,0109	657,0302	4,6806E-12
Error	10	0,0002	0,000		

En la tabla 56 se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 56. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tratamientos	C2	Grupos
T0	0.474 ± 0.005	A
T1	0.429 ± 0.005	B
T2	0.396 ± 0.004	C
T4	0.347 ± 0.003	D
T3	0.326 ± 0.004	E

4.1.4.3. Gelatinización del almidón (C3)

En la tabla 57 indica que el p-valor para el supuesto de normalidad es inferior a 0,05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, no cumple con el supuesto de normalidad y los datos no son paramétricos por lo que se realizó una prueba de Kruskal Wallis

Tabla 57. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,0246	p-valor	No
Homocedasticidad	Levin	0,1580	p-valor	Si

Independencia	Dorvin Watson	0,5172	P-valor	Si
---------------	---------------	--------	---------	----

En la tabla 58 muestra la prueba de Kruskal Wallis para evaluar el efecto de los tratamientos

Tabla 58. Prueba de Kruskal Wallis

Método	Chi-cuadrado	Grados de libertad	P-valor
Kruskal Wallis	13,68	4	0,0083

En la tabla 59 indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 59. Prueba de Dunn

Comparación	Z	P.unadj	P.adj
T0-T1	0,00	1	1
T0-T2	-1,273	0,20	1
T1-T2	-1,273	0,20	1
T0-T3	-2,970	0	0,03
T1-T3	-2,970	0	0,03
T2-T3	-1,697	0,09	0,90
T0-T4	-2,121	0,03	0,34
T1-T4	-2,121	0,03	0,34
T2-T4	-0,849	0,40	1
T3-T4	0,849	0,40	1

4.1.4.4. Ruptura del gel de almidón (C4)

En la tabla 60 indica que el p-valor para el supuesto de normalidad es inferior a 0,05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, no cumple con el supuesto de normalidad y los datos no son paramétricos por lo que se realizó una prueba de Kruskal Wallis.

Tabla 60. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,0181	p-valor	No
Homocedasticidad	Levin	0,1119	p-valor	Si
Independencia	Dorvin Watson	0,4097	P-valor	Si

En la tabla 61 muestra la prueba de Kruskal Wallis para evaluar el efecto de los tratamientos

Tabla 61, Prueba de Kruskal Wallis

Método	Chi-cuadrado	Grados de libertad	P-valor
Kruskal Wallis	13,68	4	0,0083

En la tabla 62 indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 62. Prueba de Dunn

Comparación	Z	P.unadj	P.adj
T0-T1	0,00	1	1
T0-T2	-1,273	0,20	1
T1-T2	-1,273	0,20	1
T0-T3	-2,970	0	0,03
T1-T3	-2,970	0	0,03
T2-T3	-1,697	0,09	0,90
T0-T4	-2,121	0,03	0,34
T1-T4	-2,121	0,03	0,34
T2-T4	-0,849	0,40	1
T3-T4	0,849	0,40	1

4.1.4.5. Retrogradación del almidón (C5)

En la tabla 63 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos

Tabla 63. Prueba de normalidad, homocedasticidad e independencia

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,3786	p-valor	si
Homocedasticidad	Levene	0,7499	p-valor	si
Independencia	Durbin Watson	0,5263	P-valor	si

En la tabla 64 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas. Procediendo a aplicar un post-hoc

Tabla 64. Análisis de varianza

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	24,3536	6,0884	3655,5215	8,9407E-16
Error	10	0,0167	0,0017		

En la tabla 65 se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 65. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tratamientos	C5	Grupos
T1	5.306 ± 0.053	A
T0	5.288 ± 0.053	A
T2	3.764 ± 0.038	B
T3	2.875 ± 0.029	C
T4	2.125 ± 0.022	D

4.1.4.6. Estabilidad C1

En la tabla 66 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 66. Prueba de normalidad. homocedasticidad e independencia

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,39,91	p-valor	si
Homocedasticidad	Levene	0,8284	p-valor	si
Independencia	Durbin Watson	0,4833	P-valor	si

En la tabla 67 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas. Procediendo a aplicar un post-hoc

Tabla 67. Análisis de varianza

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	64,6507	16,1627	2721,2069	3,903E-15
Error	10	0,00594	0,0059		

En la tabla 68 se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 68. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tratamientos	Estabilidad C1	Grupos
T0	10.233 ± 0.103	A
T1	9.433 ± 0.095	B
T2	6.867 ± 0.069	C
T3	5.3 ± 0.053	D
T4	5.233 ± 0.053	D

Absorción de agua

El parámetro C1 relacionado con la absorción de agua y el desarrollo de la masa durante el amasado, no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$). Los valores oscilaron entre el T1 (1.123 ± 0.011) siendo el más alto y T2 (1.083 ± 0.011) siendo el más bajo.

La ausencia de diferencias significativas indica que la sustitución parcial de harina de trigo por harina de chocho y amaranto no modificó sustancialmente la capacidad

de hidratación de las mezclas. Esto sugiere que, a pesar del incremento en el contenido de proteína y fibra, la cantidad de agua requerida se mantuvo relativamente entre los tratamientos.

Debilitamiento proteico

Se presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), observándose una disminución progresiva en T0 (0.474 ± 0.005) hasta T3 (0.326 ± 0.004). El T4 (0.347 ± 0.003) presentó un valor ligeramente superior, aunque inferior al T0.

Los mayores valores de C2 obtenidos en T0 y T1 indican una mayor resistencia de la red proteica con mayores niveles de sustitución mostrando una reducción en la estabilidad proteica debida a la disminución del contenido de gluten.

Las proteínas presentes en el chocho y amaranto no poseen la capacidad de formular una red gluténica comparable con la de trigo, por lo que la estructura de la masa se vuelve más susceptible al debilitamiento durante el calentamiento.

Gelatinización

Se presentó diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0,05$). Los tratamientos T0 y T1 registraron valores de cero, mientras que los tratamientos con mayores niveles de sustitución mostraron incrementos progresivos, alcanzando en T3 (3.091 ± 0.031) y en T4 (2.282 ± 0.023).

Estos resultados indican que la incorporación de harinas de chocho y amaranto modificó el comportamiento de gelatinización de las mezclas. El incremento de C3 en los tratamientos sustituidos puede atribuirse a cambios en la interacción entre el almidón, proteínas y fibra, favoreciendo el desarrollo de viscosidad durante el calentamiento.

Estabilidad del almidón

Mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). Los tratamientos T0 y T1 presentaron valores nulos, mientras que T3 (2.932 ± 0.03) alcanzó un valor más elevado, seguido de T4 (2.163 ± 0.022) y T2 (0.866 ± 0.009).

Los mayores valores de C4 observados en los tratamientos con mayor nivel de sustitución indican una mayor capacidad del almidón para mantener su estructura durante la etapa de mantenimiento a alta temperatura. Este comportamiento puede

estar asociado a la presencia de proteínas y fibra provenientes de las harinas de chocho y amaranto, las cuales pueden contribuir a la estabilidad de la matriz.

Retrogradación

El parámetro C5 presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). Los mayores valores se registraron en T1 (5.306 ± 0.053) y T0 (5.288 ± 0.053), mientras que T4 (2.125 ± 0.022) presentó un valor más bajo.

La disminución progresiva de C5 conforme aumentó el porcentaje de sustitución indica una reducción de la capacidad de retrogradación del almidón durante el enfriamiento. Este comportamiento se relaciona con la menor proporción de almidón aportada por la harina de trigo con la presencia de proteínas y fibra provenientes de la harina de chocho y amaranto, las cuales interfieren en la reorganización molecular de las cadenas de amilosa y amilopectina.

Una menor retrogradación constituye una característica favorable ya que reduce la tendencia al endurecimiento y envejecimiento con mayores niveles de sustitución presentaron una mejor estabilidad textural.

4.1.5. Propiedades texturales de la pasta tipo spaghetti

Tabla 69. Propiedades texturales

	Trabajo corte	Cohesividad	Dureza	Pegajosidad	Gomosidad	Resiliencia
T0	3.063 ± 0.015 a	0.36 ± 0.01 a	2.5 ± 0.02 a	-0.02 ± 0 ab	120.5 ± 0.7 a	0.4 ± 0.01 a
T1	2 ± 0.02 ab	0.197 ± 0.006 c	1.55 ± 0.01 ab	-0.01 ± 0 ab	30.1 ± 0.656 d	0.5 ± 0.01 ab
T2	2.3 ± 0.02 ab	0.22 ± 0.01 b	1.72 ± 0.02 ab	-0.01 ± 0 ab	38.533 ± 0.651 c	0.55 ± 0.01 ab
T3	2.25 ± 0.02 ab	0.143 ± 0.006 d	1.7 ± 0.02 ab	-0.02 ± 0 ab	28.5 ± 0.5 d	0.45 ± 0.01 ab
T4	2.2 ± 0.02 ab	0.23 ± 0.01 b	1.8 ± 0.02 ab	-0.03 ± 0 b	44 ± 0.5 b	0.55 ± 0.01 b

4.1.5.1 Trabajo de corte

En la tabla 70 indica que el p-valor para el supuesto de normalidad es inferior a 0,05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, no cumple con el supuesto de normalidad y los datos no son paramétricos por lo que se realizó una prueba de Kruskal Wallis.

Tabla 70. Pruebas de supuestos.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,0148	p-valor	no
Homocedasticidad	Levin	0,9940	p-valor	si
Independencia	Dorvin Watson	0,7798	P-valor	si

En la tabla 71 muestra la prueba de Kruskal Wallis para evaluar el efecto de los tratamientos

Tabla 71. Prueba de Kruskal Wallis

Método	Chi-cuadrado	Grados de libertad	P-valor
Kruskal Wallis	13,50	4	0,0090

En la tabla 72 indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 72. Prueba de Dunn

Comparación	Z	P.unadj	P.adj
T0-T1	3,286	0	0,01
T0-T2	0,822	0,41	1
T1-T2	-2,465	0,01	0,14
T0-T3	1,643	0,10	1
T1-T3	-1,643	0,10	1
T2-T3	0,822	0,41	1
T0-T4	2,465	0,01	0,14
T1-T4	-0,822	0,41	1
T2-T4	1,643	0,10	1
T3-T4	0,822	0,41	1

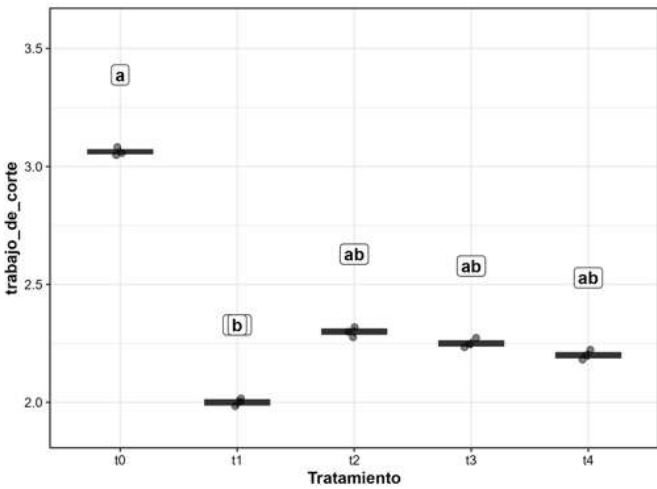


Figura 11. Diagrama de caja y bigote trabajo de corte

4.1.5.2. Cohesividad

En la tabla 73 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos

Tabla 73. Prueba de supuestos.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,1572	p-valor	si

Homocedasticidad	Levin	0,8714	p-valor	si
Independencia	Dorvin Watson	0,6737	P-valor	si

En la tabla 74 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas. Procediendo a aplicar un post-hoc

Tabla 74. Análisis de varianza

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	0,0769	0,0192	262,0455	4,4866E-10
Error	10	0,0007	0,0001		

En la tabla 75 se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 75. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tratamientos	Cohesividad	Grupos
T0	0.36 ± 0.01	A
T4	0.23 ± 0.01	B
T2	0.22 ± 0.01	B
T1	0.197 ± 0.006	C
T3	0.143 ± 0.006	D

4.1.5.3. Masticabilidad

En la tabla 76 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos

Tabla 76. Prueba de supuestos.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,1074	p-valor	Si
Homocedasticidad	Levin	0,9682	p-valor	si
Independencia	Dorvin Watson	0,7878	P-valor	si

En la tabla 77 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas. Procediendo a aplicar un post-hoc

Tabla 77. Análisis de varianza

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	13354,3267	3338,5817	8416,5924	1,3849E-17
Error	10	3,9667	0,3967		

En la tabla 78 se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 78. Se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas

Tratamientos	Masticabilidad	Grupos
T0	110.233 ± 0.751	A
T4	45 ± 0.5	B
T2	40.5 ± 0.7	C
T1	32.1 ± 0.656	D
T3	30 ± 0.5	E

4.1.5.4. Dureza

En la tabla 79 indica que el p-valor para el supuesto de normalidad es inferior a 0,05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, no cumple con el supuesto de normalidad y los datos no son paramétricos por lo que se realizó una prueba de Kruskal Wallis

Tabla 79. Prueba de supuestos

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,0228	p-valor	no
Homocedasticidad	Levin	0,9121	p-valor	si
Independencia	Dorvin Watson	0,7922	P-valor	si

En la tabla 80 muestra la prueba de Kruskal Wallis para evaluar el efecto de los tratamientos

Tabla 80. Prueba de Kruskal Wallis

Método	Chi-cuadrado	Grados de libertad	P-valor
Kruskal Wallis	13.08	4	0.010

En la tabla 81 indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 81. Prueba de Dunn

Comparación	Z	P.unadj	P.adj
T0-T1	3,292	0	0,01
T0-T2	1,829	0,07	0,67
T1-T2	-1,463	0,14	1
T0-T3	2,286	0,02	0,22
T1-T3	-1,006	0,31	1
T2-T3	0,457	0,65	1
T0-T4	0,823	0,41	1
T1-T4	-2,469	0,01	0,14
T2-T4	-1,006	0,31	1
T3-T4	-1,463	0,14	1

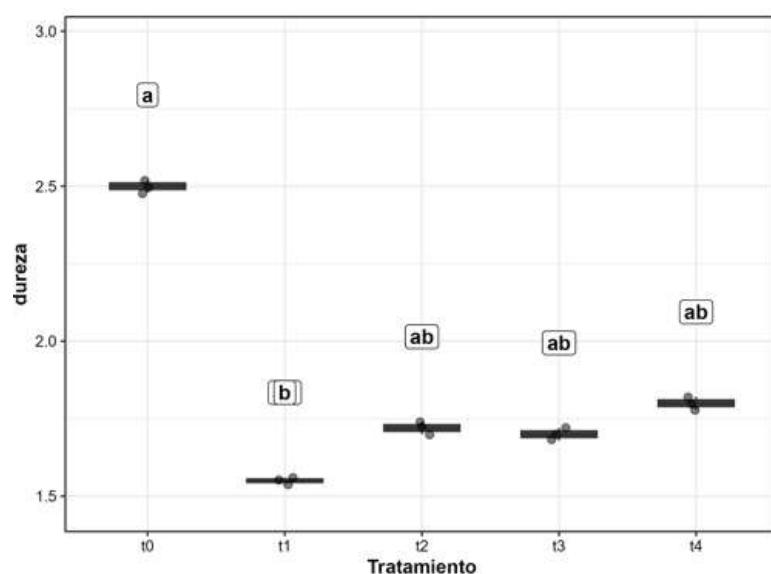


Figura 12. Diagrama de caja y bigote dureza

4.1.5.5. Pegajosidad

En la tabla 82 indica que el p-valor para el supuesto de normalidad es inferior a 0,05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, no cumple con el supuesto de normalidad y los datos no son paramétricos por lo que se realizó una prueba de Kruskal Wallis

Tabla 82. Prueba de supuestos.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,000	p-valor	no
Homocedasticidad	Levin	-	p-valor	-
Independencia	Dorvin Watson	0,1721	P-valor	si

En la tabla 83 muestra la prueba de Kruskal Wallis para evaluar el efecto de los tratamientos

Tabla 83. Prueba de Kruskal Wallis

Método	Chi-cuadrado	Grados de libertad	P-valor
Kruskal Wallis	14	4	0.0072

En la tabla 84 indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 84. Prueba de Dunn

Comparación	Z	P.unadj	P.adj
T0-T1	-1,764	0,08	0,78
T0-T2	-1,764	0,08	0,78
T1-T2	0	1	1
T0-T3	0	1	1
T1-T3	1,764	0,08	0,78

T2-T3	1,764	0,08	0,78
T0-T4	1,323	0,19	1
T1-T4	3,087	0	0,02
T2-T4	3,087	0	0,02
T3-T4	1,323	0,19	1

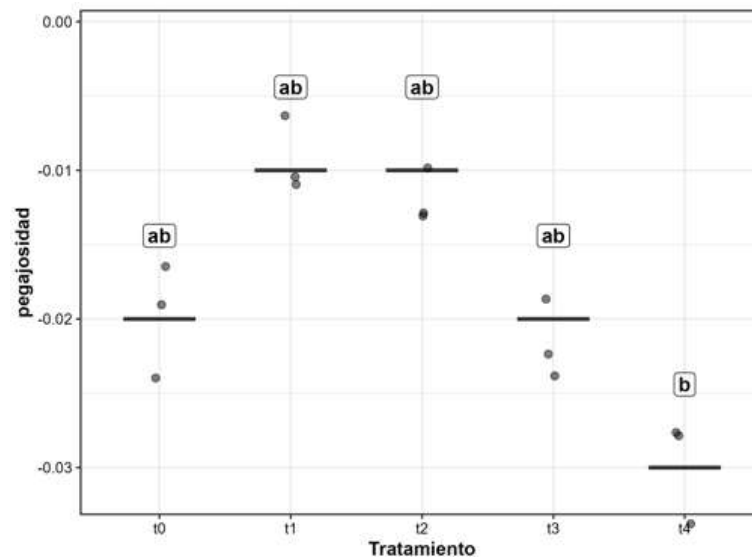


Figura 13. Diagrama de caja y bigote pegajosidad

4.1.5.6. Gomosidad

En la tabla 85 el p-valor para el supuesto de normalidad, homocedasticidad e independencia es superior a 0,05 lo los datos se consideran paramétricos, se realiza un análisis de varianza y una prueba Tukey para identificar si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 85. Prueba de supuestos.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,0666	p-valor	si
Homocedasticidad	Levin	0,9830	p-valor	si
Independencia	Dorvin Watson	0,7720	P-valor	si

En la tabla 86 se realizó un Anova para evaluar los efectos de cada uno de los tratamientos y se observa que p valor es menor al referente asegurando que existen diferencias estadísticamente significativas. Procediendo a aplicar un post-hoc.

Tabla 86. Análisis de varianza

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Prueba F	p-valor
Tratamientos	4	17906,7827	4476,6957	12142,9358	2,2167E-18
Error	10	3,6867	0,3687		

En la tabla 87 se realizó una prueba Tukey de los tratamientos y muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 87. Prueba Tukey de los tratamientos y diferencias estadísticamente significativas.

Tratamientos	Gomosidad	Grupos
T0	120.5 ± 0.7	A
T4	44 ± 0.5	B
T2	38.533 ± 0.651	C
T1	30.1 ± 0.656	D
T3	28.5 ± 0.5	D

4.1.5.7. Adhesividad

En la tabla 88 indica que el p-valor para el supuesto de normalidad es inferior a 0,05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, no cumple con el supuesto de normalidad y los datos no son paramétricos por lo que se realizó una prueba de Kruskal Wallis

Tabla 88. Prueba de supuestos.

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,0005	p-valor	no
Homocedasticidad	Levin	-	p-valor	-
Independencia	Dorvin Watson	0,8849	P-valor	si

En la tabla 89 muestra la prueba de Kruskal Wallis para evaluar el efecto de los tratamientos

Tabla 89. Prueba de Kruskal Wallis

Método	Chi-cuadrado	Grados de libertad	P-valor
Kruskal Wallis	14	4	0.0072

En la tabla 90 indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 90. Prueba de Dunn

Comparación	Z	P.unadj	P.adj
T0-T1	-3,087	0	0,02
T0-T2	-3,087	0	0,02
T1-T2	0	1	1
T0-T3	-1,323	0,19	1
T1-T3	1,764	0,08	0,78
T2-T3	1,764	0,08	0,78
T0-T4	-1,323	0,19	1
T1-T4	1,764	0,08	0,78
T2-T4	1,764	0,08	0,78
T3-T4	0	1	1

4.1.5.8. Resiliencia

En la tabla 91 indica que el p-valor para el supuesto de normalidad es inferior a 0,05, indica que los datos siguen una distribución normal, por lo tanto, no cumple con el supuesto de normalidad y los datos no son paramétricos por lo que se realizó una prueba de Kruskal Wallis

Tabla 91. Prueba de supuestos

Supuestos	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Normalidad	Shapiro Wilks	0,0042	p-valor	no
Homocedasticidad	Levin	1,0	p-valor	si
Independencia	Dorvin Watson	0,8057	P-valor	si

En la tabla 92 muestra la prueba de Kruskal Wallis para evaluar el efecto de los tratamientos

Tabla 92. Prueba de Kruskal Wallis

Método	Chi-cuadrado	Grados de libertad	P-valor
Kruskal Wallis	12.89	4	0.0118

En la tabla 93 indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 93. Prueba de Dunn

Comparación	Z	P.unadj	P.adj
T0-T1	-1.648	0.10	0.99
T0-T2	-2.883	0	0.04
T1-T2	-1.236	0.22	1
T0-T3	-0.824	0.41	1
T1-T3	0.824	0.41	1
T2-T3	2.059	0.04	0.39
T0-T4	-2.883	0	0.04
T1-T4	-1.236	0.22	1
T2-T4	0	1	1
T3-T4	-2.059	0.04	0.39

Resistencia mecánica

La textura de las pastas fue determinada a partir de los parámetros de trabajo de corte, dureza y cohesividad, encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones evaluadas ($p < 0,05$).

El tratamiento control T0 registró los valores más elevados para los tres parámetros analizados, con $3,063 \pm 0,015$ de trabajo de corte, $2,5 \pm 0,02$ N de dureza y $0,36 \pm 0,01$ de cohesividad. Estos resultados sugieren que la pasta elaborada únicamente con harina de trigo presentó una matriz más firme y compacta, capaz de soportar en mayor medida la acción de fuerzas mecánicas. Por otro lado, la incorporación de

harina de chocho y amaranto produjo una disminución de estos parámetros, con valores de dureza comprendidos entre 1,55 y 1,80 N y de cohesividad entre 0,143 y 0,230.

Este comportamiento podría estar relacionado con la menor proporción de gluten ocasionada por la sustitución de harina de trigo. El gluten contribuye al desarrollo de una matriz estructural continua dentro de la masa, favoreciendo la retención de sus componentes y proporcionando resistencia frente a esfuerzos mecánicos. Por ello, al incrementar la participación de las harinas de chocho y amaranto, se produce un debilitamiento de dicha estructura, dando lugar a pastas con menor resistencia frente al corte y la compresión.

Comportamiento durante la masticación

El comportamiento de la pasta durante la masticación fue evaluado durante los parámetros de masticabilidad, gomosidad, cohesividad y resiliencia. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$).

El tratamiento T0 presentó altos valores de gomosidad (120.5 ± 0.7) y cohesividad (0.36 ± 0.01), indicando que requirió una mayor cantidad de energía para ser desintegrado durante la masticación. Por el contrario, los tratamientos sustituidos registraron reducciones importantes en estos parámetros, siendo T3 el que presentó menor gomosidad (28.5 ± 0.5).

La disminución de estos atributos sugiere que las formulaciones con harina de chocho y amaranto desarrollaron estructuras menos compactas y más fáciles de fragmentar durante el consumo. Así mismo, la resiliencia mostró valores comprendidos entre el T0 (0.4 ± 0.01) y T2 (0.55 ± 0.01) indicando que las muestras conservaron cierta capacidad de recuperación después de la formación.

Los resultados evidencian que el aumento de la sustitución redujo el esfuerzo requerido para la masticación de la pasta, generando productos con una textura menos firme y más fácil de desintegrar.

Calidad tecnológica

La calidad tecnológica de la pasta fue evaluada mediante los parámetros de dureza, cohesividad, adhesividad y pegajosidad debido a su influencia sobre la manipulación, cocción y aceptación del producto final.

Los resultados mostraron que el tratamiento control presentó la mayor cohesividad y dureza, características asociadas a una mejor integridad estructural de la pasta. Por otra parte, la adhesividad y pegajosidad mostraron valores bajos en todos los tratamientos oscilando entre -0,01 y -0,03 que indica una limitada tendencia de las muestras a adherirse a superficies.

La baja pegajosidad observada constituye una característica tecnológica favorable ya que se relaciona con una mejora calidad de cocción y una menor tendencia al apelmazamiento. Sin embargo, la disminución progresiva de la cohesividad y la dureza en los tratamientos con mayor nivel de sustitución evidencia una reducción de la resistencia estructural de la pasta, atribuida a la menor formación de la red glutenica.

4.1.6. Evaluación sensorial

En la tabla 94 se realizó una prueba no paramétrica de Friedman para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en los atributos sensoriales de color, olor, sabor, firmeza, adhesividad y elasticidad. Los resultados evidenciaron que los atributos color ($p = 0,0809$) no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), indicando que la incorporación de las diferentes formulaciones no influyo en la apariencia visual de las muestras.

Por otro lado, los atributos del olor ($p = 0,0263$), sabor ($p = 0,000036$), firmeza ($p = 0,0249$), adhesividad ($p = 0,0240$) y elasticidad ($p = 0,000037$) mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), evidenciando que las variaciones en la formulación afectaron la percepción sensorial de los jueces.

Estos resultados demuestran que la aceptación sensorial de las muestras estuvo influenciada principalmente por las características relacionada con la precepción durante el consumo, especialmente el sabor y el comportamiento de textura durante la masticación

Tabla 94. Prueba de Friedman

Atributo	n	statistic	df	p
color	60	8,30903156	4	0,08089182
olor	60	11,0241657	4	0,02629376
sabor	60	25,6962751	4	3,6435E-05
firmeza	60	11,1505484	4	0,02492316
adhesividad	60	11,2352352	4	0,0240437
elasticidad	60	25,6748971	4	3,6798E-05

En la tabla 95 mostraron que el tratamiento T4 obtuvo las puntuaciones promedio más elevadas en la mayoría de los atributos analizados. El color alcanzó una calificación de (7.02 ± 1.32) aunque estadísticamente no difirió de los demás tratamientos, lo que indica una aceptación visual similar entre las muestras evaluadas.

En el atributo olor, T4 registró la puntuación más alta (6.75 ± 1.55) , diferenciándose significativamente del tratamiento T1 (6.17 ± 1.72) , lo que sugiere una mayor aceptación aromática por parte de los consumidores.

Respecto al sabor, atributo considerado uno de los principales determinantes de aceptación, los tratamientos T0, T2 y T4 presentaron las mejores valoraciones, mientras que T1 obtuvo la puntuación más baja (5.33 ± 2.1) . Este comportamiento señala una mejor percepción gustativa.

En cuanto a la firmeza, T4 alcanzó mayor puntuación (6.75 ± 1.43) reflejando una textura más agradable durante la masticación. De manera similar en adhesividad obtuvo el valor promedio más alto (6.7 ± 1.67) , aunque sin diferencias estadísticas respecto a los demás tratamientos.

Finalmente, para la elasticidad, T4 presentó la mejor valoración (6.48 ± 1.67) , seguido de T3 (6.2 ± 1.54) , evidenciando una estructura más adecuada y una mejor respuesta mecánica durante la masticación.

Tabla 95. Tabla sensorial

	color	olor	sabor	firmeza	adhesividad	elasticidad
T0	6.5 ± 1.83 a	6.17 ± 1.72 ab	6.28 ± 1.77 a	6.63 ± 1.58 ab	6.45 ± 1.65 a	5.88 ± 2.1 a
T1	6.7 ± 1.55 a	6 ± 1.63 a	5.33 ± 2.1 b	6.15 ± 1.85 ab	5.98 ± 1.96 a	5.13 ± 2.08 b
T2	6.93 ± 1.34 a	6.37 ± 1.45 ab	6.73 ± 1.75 a	6.48 ± 1.36 ab	6.48 ± 1.52 a	5.87 ± 1.63 ab
T3	6.62 ± 1.39 a	6.28 ± 1.39 ab	6.08 ± 1.64 ab	6.12 ± 1.6 a	6.15 ± 1.61 a	6.2 ± 1.54 a
T4	7.02 ± 1.32 a	6.75 ± 1.55 b	6.57 ± 2.02 a	6.75 ± 1.43 b	6.7 ± 1.67 a	6.48 ± 1.67 a

En la figura 14 permitió visualizar simultáneamente el comportamiento de los tratamientos en los seis atributos sensoriales evaluados. Se observó que el tratamiento T4 presentó la mayor área de cobertura dentro del gráfico, indicando un desempeño superior y más equilibrado en color, olor, sabor, firmeza, adhesividad y elasticidad.

Los tratamientos T0 y T2 mostraron perfiles sensoriales intermedios con puntuaciones favorables principalmente en sabor y firmeza. Por su parte, T3 presentó valores moderados y relativamente homogéneos entre los diferentes atributos mientras T1

registro menores puntuaciones en sabor y elasticidad, reduciendo su aceptación global

La amplitud y uniformidad observadas en el perfil radar de T4 evidencian que este tratamiento logró un balance adecuado entre las características organolépticas y texturales evaluadas, favoreciendo su aceptación por parte de los consumidores.

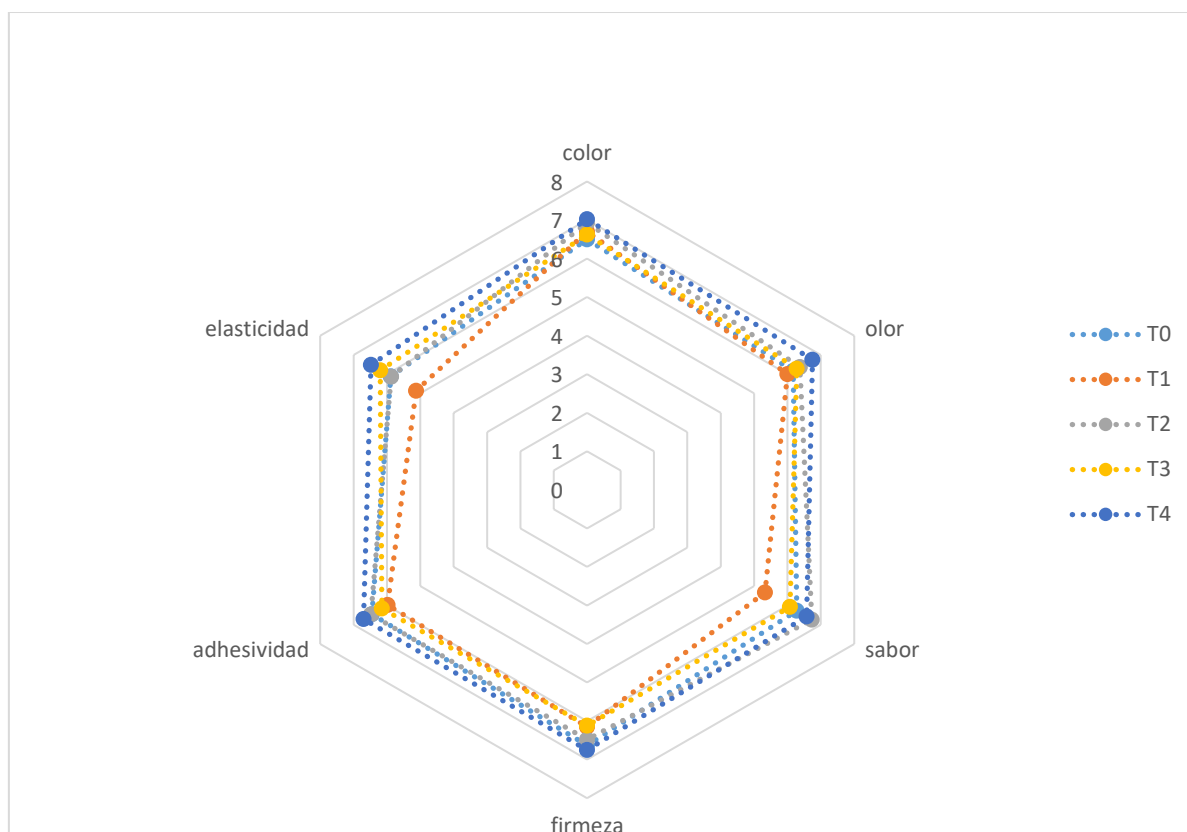


Figura 14. Gráfico de telaraña sensorial de la pasta tipo spaghetti

En la tabla 96 Según los resultados fisicoquímicos y el análisis integrado realizado en la investigación, el tratamiento T4 fue identificado como el mejor desde el punto de vista nutricional obteniendo el mayor puntaje dentro del bloque fisicoquímico (0,7294). Este comportamiento indica que presentó las características composicionales más favorables, aportando un mayor nutricional respecto a las demás formulaciones.

Desde punto de vista tecnológico, el tratamiento T0 presentó el mejor desempeño global al obtener el mayor puntaje en los análisis reológicos (0,68719) y texturales (0,8333). Estos resultados evidencian una mayor estabilidad estructural, mejor comportamiento durante el procesamiento y propiedades mecánicas adecuadas para la elaboración de pasta tipo spaghetti

El tratamiento T4 fue el mejor evaluado sensorialmente, alcanzando el mayor puntaje global del bloque sensorial (0,6973). Además, obtuvo las puntuaciones más elevadas en la mayoría de los atributos evaluados, especialmente olor, firmeza, adhesividad y elasticidad, lo que refleja una mayor aceptación por parte de los consumidores.

Tabla 96. Mejor tratamiento

Bloque	ranking	tratamiento	puntaje global
Fisicoquímico	1	t4	0,72941176
Reológico	1	t0	0,68719418
Sensorial	1	t4	0,69727891
Textural	1	t0	0,83333333

En la tabla 97 mostró que el tratamiento T0 obtuvo el mayor puntaje global (0,5695), ocupando el primer lugar en el ranking general como lo muestra en la figura 15. Aunque T4 destacó en los aspectos nutricionales y sensoriales, el excelente desempeño tecnológico de T0 permitió que alcanzara la mejor valoración global al considerar conjuntamente los criterios fisicoquímicos, reológicos, texturales y sensoriales.

Tabla 97. Ranking global

Tratamiento	Puntaje_global_integrado	Ranking_global
t0	0,56952996	1
t4	0,55250493	2
t3	0,43640446	3
t2	0,41030522	4
t1	0,34968555	5

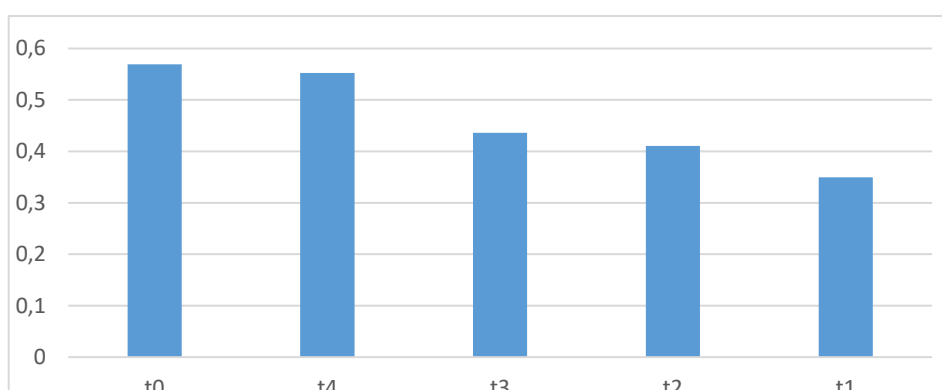


Figura 15. Ranking global de los tratamientos.

4.2. DISCUSIÓN

Propiedades fisicoquímicas

La sustitución progresiva de harina de trigo por harina de chocho y amaranto modificó de manera significativa la composición fisicoquímica de las formulaciones de pasta tipo spaghetti. El tratamiento T4, correspondiente al 40 % de sustitución, presentó los valores más elevados de proteína (26,12 %), fibra (2,71 %), grasa (10,23 %) y cenizas (1,61 %), mientras que el tratamiento control T0 presentó valores inferiores para estos componentes.

El incremento de proteína desde 19,76 % en T0 hasta 26,12 % en T4 representa un aumento relativo aproximado del 32,2 %, lo que demuestra el efecto directo de la incorporación de las harinas andinas sobre la composición nutricional de la pasta. Este comportamiento puede atribuirse principalmente al elevado contenido proteico del chocho y, en menor medida, al aporte proteico del amaranto. En este sentido, Spina et al. (2023), al estudiar mezclas de sémola de trigo con diferentes niveles de harina y concentrado proteico de lupino, determinaron que la incorporación de harina de lupino produjo incrementos significativos del contenido proteico, observándose efectos estadísticamente significativos desde niveles de adición de 7 %. Los autores reportaron que la harina de lupino utilizada contenía aproximadamente 40,05 g/100 g de proteína, mientras que el concentrado proteico alcanzó 55,00 g/100 g, evidenciando el potencial del lupino para enriquecer matrices elaboradas a base de trigo.

Los resultados obtenidos en la presente investigación también guardan relación con el trabajo desarrollado por Ponce, Navarrete y Vernaza (2018), quienes evaluaron específicamente la sustitución parcial de harina de trigo por harina de *Lupinus mutabilis* Sweet en la elaboración de pasta larga. Estos investigadores determinaron que el incremento de harina de lupino permitió obtener una pasta nutricionalmente mejorada y seleccionaron mediante metodología de superficie de respuesta una formulación óptima que contenía 25 % de harina de lupino y 18 % de huevo. Además, señalaron que el lupino presenta un contenido importante de proteína, grasa y fibra, características que permiten incrementar el valor nutricional de productos elaborados a partir de cereales. En comparación con dicho estudio, el tratamiento T4 de la presente investigación utilizó un nivel superior de sustitución, correspondiente al 40 %, y además incorporó amaranto. Por tanto, el mayor contenido proteico

obtenido en T4 puede explicarse no solamente por la presencia de lupino, sino por el efecto combinado de las dos materias primas andinas.

De manera similar, Moposita et al. (2023) desarrollaron pastas alimenticias enriquecidas con harina de quinua y amaranto, empleando combinaciones de 7, 10 y 13 % de quinua y 7, 9 y 11 % de amaranto. Los autores determinaron que la formulación con mayor nivel de incorporación de estos ingredientes, correspondiente a 13 % de quinua y 11 % de amaranto, alcanzó 16,45 % de proteína y fue seleccionada como el mejor tratamiento. Este resultado coincide con la tendencia observada en la presente investigación, debido a que el incremento de ingredientes andinos produjo un aumento del contenido proteico de la pasta. Sin embargo, el valor alcanzado en T4 (26,12 %) fue superior al reportado por Moposita et al. (2023), lo cual puede explicarse por la mayor proporción total de sustitución empleada en el presente estudio y por la incorporación de chocho, cuya concentración proteica es considerablemente elevada.

El contenido de fibra también presentó un incremento conforme aumentó el nivel de sustitución, alcanzando 2,71 % en T4. Este comportamiento puede estar relacionado con la mayor contribución de componentes estructurales provenientes del chocho y amaranto en comparación con la harina de trigo refinada. Ponce et al. (2018) señalaron que el lupino presenta aproximadamente entre 8 y 16 % de fibra y que sus componentes favorecen la retención de agua en las formulaciones de pasta. En consecuencia, la incorporación de chocho pudo contribuir simultáneamente al incremento de la fracción de fibra y a modificaciones posteriores en la disponibilidad de agua de la matriz. Esta situación resulta relevante desde el punto de vista tecnológico, debido a que el incremento de fibra puede representar una ventaja nutricional, pero también puede modificar la consistencia de la masa y la distribución del agua entre proteínas, almidón y fibra.

Respecto al contenido de grasa, T4 alcanzó 10,23 %, mientras que T0 presentó 5,91 %, lo que representa un incremento relativo aproximado del 73 %. Este comportamiento puede asociarse con el aporte lipídico del chocho y del amaranto, ambos caracterizados por presentar una fracción grasa superior a la de muchas harinas de cereales refinadas. En el caso del lupino, Ponce et al. (2018) reportaron un contenido de grasa de aproximadamente 15–24 %, demostrando que su incorporación puede modificar significativamente la composición proximal de una matriz alimentaria. Por otra parte, Qumbisa et al. (2022), al evaluar la incorporación de polvo de hojas de

Amaranthus en fideos instantáneos, observaron que la incorporación de amaranto modificó la composición nutricional y determinadas características físicas del producto, confirmando el potencial de esta especie para mejorar el valor nutricional de alimentos farináceos.

El aumento de cenizas hasta 1,61 % en T4 puede interpretarse como consecuencia de una mayor incorporación de minerales provenientes de las materias primas andinas. En este sentido, Spina et al. (2023) observaron que la incorporación de harina de lupino a mezclas de trigo incrementó determinados minerales, entre ellos manganeso, hierro, magnesio, potasio y calcio, dependiendo del nivel de adición. Por tanto, el incremento de cenizas obtenido en T4 no solamente representa un aumento de la fracción mineral total, sino que evidencia una modificación de la composición nutricional de la pasta como consecuencia de la sustitución.

En relación con el gluten, el tratamiento T4 presentó la menor concentración, con 27,02 mg/kg, frente a 30,97 mg/kg en T0, lo que representa una reducción aproximada de 12,75 %. La disminución observada es coherente con la sustitución parcial de harina de trigo, debido a que una proporción de la materia prima que aporta las proteínas formadoras de gluten fue reemplazada por harinas de chocho y amaranto. Ponce et al. (2018) explican que el gluten se desarrolla principalmente a partir de las proteínas glutenina y gliadina de la harina de trigo y contribuye a mantener el almidón dentro de la estructura de la pasta durante la elaboración y cocción. Los autores también señalan que la sustitución de sémola de trigo por ingredientes alternativos puede disminuir la cantidad de gluten y modificar la calidad tecnológica de la pasta. No obstante, el valor obtenido en T4, de 27,02 mg/kg, permanece por encima del límite de 20 mg/kg establecido por el Codex Alimentarius para alimentos exentos de gluten; por esta razón, el producto no puede declararse como libre de gluten ni considerarse apto para una dieta estrictamente libre de gluten bajo dicho criterio.

Propiedades reológicas

El comportamiento reológico mostró una modificación progresiva de las propiedades de empastamiento conforme aumentó el nivel de sustitución de harina de trigo por las harinas de chocho y amaranto. El tratamiento T0 presentó la mayor viscosidad máxima, con 947 cP, mientras que T4 alcanzó 441,17 cP. Esta disminución puede interpretarse a nivel molecular como resultado de la dilución de la fracción de

almidón aportada por el trigo y de la competencia por el agua generada por las proteínas globulares del chocho y las proteínas y fibra del amaranto. Al disponer de una menor cantidad relativa de almidón de trigo y existir mayor competencia por el agua, los gránulos de almidón pueden alcanzar un menor grado de hidratación e hinchamiento durante el calentamiento, reduciendo la viscosidad máxima desarrollada.

La viscosidad máxima representa la capacidad del sistema para desarrollar una estructura viscosa durante el calentamiento, principalmente por la hidratación e hinchamiento de los gránulos de almidón. Por ello, la reducción desde 947 cP en T0 hasta 441,17 cP en T4 evidencia que la sustitución modificó la disponibilidad de agua y la proporción de almidón susceptible de gelatinización. El efecto no debe atribuirse únicamente a una menor cantidad de almidón, ya que las proteínas y la fibra incorporadas también pueden retener agua y alterar la interacción entre los gránulos de almidón y la fase acuosa.

El comportamiento reológico mostró una modificación progresiva de las propiedades de empastamiento conforme aumentó el nivel de sustitución de harina de trigo por las harinas de chocho y amaranto. El tratamiento T0 presentó la mayor viscosidad máxima, con 947 cP, mientras que T4 alcanzó el menor valor dentro de las formulaciones estudiadas. Esta reducción puede relacionarse con la modificación de la proporción de almidón y con la incorporación de proteínas, fibra y lípidos provenientes de las materias primas andinas. Al existir una menor proporción relativa de harina de trigo, también cambia la cantidad y disponibilidad de almidón que participa en el desarrollo de la viscosidad durante el calentamiento.

El comportamiento observado resulta particularmente importante porque la viscosidad máxima representa la capacidad del sistema para desarrollar una estructura viscosa durante el calentamiento, principalmente como consecuencia de la hidratación e hinchamiento de los gránulos de almidón. Por tanto, la reducción observada desde 947 cP en T0 hasta el valor correspondiente a T4 indica que las sustituciones modificaron la capacidad de la mezcla para desarrollar viscosidad bajo las condiciones del ensayo.

Los resultados pueden relacionarse con lo observado por Ponce et al. (2018), quienes encontraron que el incremento de harina de lupino en formulaciones de pasta aumentó el índice de absorción de agua. Los autores explicaron que este

comportamiento estaba relacionado con la composición del lupino, especialmente con su elevado contenido de proteínas y fibra, capaces de interactuar con el agua. Aunque el índice de absorción de agua y la viscosidad máxima no representan la misma propiedad, ambos resultados evidencian que la incorporación de lupino puede modificar significativamente la interacción agua-componentes de la harina. En la presente investigación, esta modificación pudo generar una redistribución del agua disponible entre almidón, proteínas y fibra, afectando el desarrollo de viscosidad durante el calentamiento.

En relación con el breakdown, T0 presentó el menor valor, con 109,49, mientras que T1 registró el valor más elevado, con 212,41. El breakdown representa la pérdida de viscosidad después de alcanzar el máximo durante el calentamiento y permite evaluar la estabilidad de la estructura gelatinizada frente a la acción térmica y mecánica. Por tanto, el menor breakdown de T0 indica que la estructura formada durante el empastamiento presentó mayor estabilidad bajo las condiciones aplicadas en el ensayo. La mayor respuesta de T1 sugiere, en cambio, una mayor susceptibilidad de la estructura formada a la acción combinada del calentamiento y la agitación.

En relación con el setback, las diferencias observadas entre tratamientos evidencian modificaciones en el comportamiento del sistema durante el enfriamiento. Este parámetro se relaciona con el incremento de viscosidad producido después del calentamiento y con la reorganización de las cadenas de almidón durante la disminución de temperatura. La reducción marcada del setback, desde 760,97 en T0 hasta 187,50 en T4, sugiere una menor tendencia a la retrogradación del almidón en las condiciones del ensayo. Desde el punto de vista tecnológico, esta respuesta puede considerarse favorable a corto plazo, debido a que una menor retrogradación puede asociarse con una menor tendencia al endurecimiento durante el almacenamiento; sin embargo, esta interpretación debe plantearse como una inferencia, ya que en la investigación no se realizó un ensayo específico de estabilidad durante almacenamiento.

Un comportamiento relacionado fue observado por Lux et al. (2023), quienes estudiaron masas y pasta fresca elaboradas con harina de amaranto y analizaron sus propiedades mediante un reómetro Anton Paar MCR 302. Los investigadores encontraron que la proporción de harina de amaranto y la disponibilidad de agua modificaron significativamente la viscosidad dependiente del esfuerzo de corte y

determinadas características de procesamiento y calidad de la pasta. Además, observaron que las condiciones de hidratación tuvieron efectos importantes sobre la firmeza y otras propiedades del producto. Estos resultados respaldan la interpretación de que la incorporación de amaranto puede modificar la respuesta reológica de una matriz farinácea debido a cambios en la relación harina-agua y en las interacciones entre sus componentes.

En cuanto al setback, las diferencias observadas entre tratamientos evidencian modificaciones en el comportamiento del sistema durante el enfriamiento. Este parámetro se relaciona con el incremento de viscosidad producido después del calentamiento y está asociado con la reorganización de las cadenas de almidón durante la disminución de temperatura. Ponce et al. (2018) señalaron que el procesamiento del lupino y su incorporación a matrices de pasta puede modificar las características de absorción y retención de agua, lo que indirectamente puede afectar la disponibilidad de agua para las transformaciones del almidón. Por tanto, las diferencias observadas en el setback pueden interpretarse como resultado de la modificación de la relación entre almidón, agua y componentes no amiláceos producida por la sustitución.

La temperatura de empaste presentó diferencias relativamente pequeñas entre los tratamientos, con valores cercanos a 60 °C. Este comportamiento indica que, a pesar de la sustitución, el inicio del desarrollo de viscosidad ocurrió dentro de un intervalo térmico relativamente similar. La poca variación puede deberse a que el principal componente responsable del empastamiento continúa siendo el almidón presente en las mezclas. Sin embargo, las diferencias en la magnitud de la viscosidad desarrollada evidencian que la sustitución afectó principalmente la intensidad de la respuesta y no necesariamente el inicio del fenómeno.

Comportamiento termo-mecánico mediante Mixolab

En la etapa correspondiente a C2, la reducción de consistencia se relaciona con el debilitamiento de la fracción proteica durante el incremento de temperatura. La disminución progresiva de la estabilidad observada desde T0 hacia T4 también puede interpretarse como consecuencia de la interrupción de la red tridimensional continua formada por gliadinas y gluteninas. Al sustituir parte de la harina de trigo por chocho y amaranto, disminuye la proporción de proteínas capaces de formar gluten y aumenta la participación de proteínas no formadoras de una red equivalente. Por

ello, la masa presenta una menor resistencia frente a la acción mecánica y térmica. Las proteínas globulares del chocho y las proteínas del amaranto aportan valor nutricional, pero no reproducen funcionalmente la estructura viscoelástica del gluten de trigo.

En la etapa inicial, C1 representa la consistencia máxima alcanzada durante el desarrollo de la masa. La respuesta de este parámetro está relacionada con la hidratación de los componentes y con la capacidad de la mezcla para desarrollar una estructura bajo acción mecánica. Por ello, las diferencias o similitudes observadas entre tratamientos pueden interpretarse considerando la presencia de proteínas, almidón y fibra. Ponce et al. (2018) demostraron que la incorporación de harina de lupino incrementó la absorción de agua de las formulaciones de pasta y relacionaron este comportamiento con el elevado contenido de proteínas y fibra del lupino. Esta evidencia permite interpretar que la presencia de chocho en las formulaciones puede modificar la distribución del agua durante el amasado y, por tanto, influir sobre la consistencia inicial de la masa.

En la etapa correspondiente a C2, la reducción de consistencia se relaciona con el debilitamiento de la fracción proteica durante el incremento de temperatura. En las formulaciones sustituidas, la disminución de la proporción de harina de trigo implica una reducción relativa de las proteínas capaces de desarrollar la estructura característica del gluten. Ponce et al. (2018) explicaron que el gluten formado a partir de glutenina y gliadina proporciona cohesión y elasticidad a la masa y contribuye a mantener el almidón dentro de la estructura de la pasta durante la cocción. En consecuencia, la incorporación de chocho y amaranto puede modificar la respuesta de la masa frente al calentamiento porque las proteínas de estas materias primas no desarrollan una red equivalente a la del gluten de trigo.

El punto C3 corresponde al desarrollo máximo de consistencia asociado con la gelatinización del almidón. En esta etapa, la absorción de agua y el hinchamiento de los gránulos de almidón producen un incremento de la consistencia. Lux et al. (2023) señalaron que el tratamiento térmico del amaranto permitió gelatinizar su almidón y modificar las propiedades reológicas de las masas, observando que el tratamiento térmico podía mejorar la capacidad estructural de las masas y la calidad de la pasta. Por tanto, las características del almidón presente en el amaranto y su interacción con el agua pudieron contribuir a las diferencias observadas en C3 entre las formulaciones.

El punto C4 permite valorar el comportamiento de la estructura gelatinizada frente a la acción simultánea de temperatura y esfuerzo mecánico. La disminución desde C3 hasta C4 representa el debilitamiento de la estructura desarrollada durante la gelatinización. Las diferencias observadas entre formulaciones pueden estar relacionadas con la composición de la matriz y con la capacidad de los componentes de estabilizar los gránulos de almidón hinchados.

Finalmente, C5 representa el comportamiento del sistema durante el enfriamiento y se relaciona con la reorganización de las cadenas de almidón. Lux et al. (2022), al estudiar suspensiones de harina de amaranto sometidas a diferentes tratamientos hidrotérmicos, observaron que el tratamiento térmico modificaba significativamente la absorción de agua y la viscosidad de las suspensiones de amaranto. Esto demuestra que el historial térmico y la disponibilidad de agua pueden modificar considerablemente la respuesta del almidón de amaranto. Por ello, las diferencias encontradas en C5 entre los tratamientos de la presente investigación pueden estar relacionadas con la proporción de amaranto incorporada y con las interacciones establecidas entre sus componentes y los de la harina de trigo.

La estabilidad, por su parte, permitió evaluar la capacidad de las masas para mantener su consistencia durante el amasado. Una mayor estabilidad indica que la estructura desarrollada resiste durante mayor tiempo la acción mecánica. Debido a la reducción progresiva de la harina de trigo, es esperable que la sustitución pueda modificar esta propiedad, especialmente cuando disminuye la proporción relativa de las proteínas responsables del desarrollo de gluten.

En las propiedades texturales, el tratamiento T0 presentó el comportamiento mecánico más favorable, con el mayor trabajo de corte (3,063), cohesividad (0,36) y dureza (2,50). Estos resultados indican que la pasta elaborada exclusivamente con harina de trigo presentó una estructura más resistente frente a la deformación y el corte. La mayor resistencia mecánica puede relacionarse con una matriz continua en la que la red de gluten rodea y retiene los gránulos de almidón durante la cocción.

Propiedades texturales de la pasta

En la presente investigación, el trabajo de corte disminuyó desde 3,063 en T0 hasta valores inferiores en los tratamientos sustituidos. Esta respuesta indica que se requirió menor energía para cortar las formulaciones con mayor incorporación de harinas andinas. A nivel estructural, la disminución puede asociarse con la reducción

progresiva de la red de gluten y con la incorporación de proteínas y fibra que modifican la distribución de agua y la continuidad de la matriz durante la gelatinización. En consecuencia, la estructura formada durante la cocción puede presentar mayor porosidad y menor cohesión frente al esfuerzo de corte.

Esta interpretación coincide con lo señalado por Ponce et al. (2018), quienes explicaron que las proteínas glutenina y gliadina hidratadas forman una estructura cohesiva y elástica capaz de mantener el almidón dentro de la pasta durante el procesamiento y la cocción. Los autores también indicaron que la disminución de gluten provocada por la sustitución de trigo por otras materias primas puede reducir la calidad tecnológica de la pasta.

En la presente investigación, el trabajo de corte disminuyó desde 3,063 en T0 hasta valores inferiores en los tratamientos sustituidos. Este comportamiento indica que la energía requerida para cortar la pasta disminuyó a medida que se incorporaron las harinas andinas. Una posible explicación es la reducción progresiva de la proporción de gluten y la incorporación de proteínas de chocho y amaranto, que aportan valor nutricional pero no desarrollan una red viscoelástica equivalente a la formada por las proteínas del trigo.

La dureza también fue superior en T0, con 2,50, mientras que los tratamientos sustituidos presentaron valores inferiores. La disminución de la dureza indica que las formulaciones con chocho y amaranto requirieron una menor fuerza para ser deformadas. Este comportamiento puede explicarse por la menor continuidad de la matriz proteica durante la gelatinización, producto de la reducción de las proteínas formadoras de gluten, lo que favorece una estructura menos compacta y más susceptible a la deformación mecánica.

Calidad de cocción y variables no determinadas
Aunque en la presente investigación no se determinaron experimentalmente el tiempo óptimo de cocción, la pérdida de sólidos, la ganancia de agua ni el índice de hinchamiento, estos parámetros son necesarios para completar la evaluación tecnológica de una pasta. El tiempo óptimo depende de la velocidad con la que el agua penetra hacia el centro de la hebra y del grado de gelatinización alcanzado por el almidón. Una matriz con menor continuidad de gluten puede modificar la velocidad de hidratación y la integridad de la pasta durante la cocción. La pérdida de cocción representa la fracción de sólidos que migra desde la pasta

hacia el agua. En formulaciones con sustitución parcial, una reducción de gluten y una matriz más porosa podrían favorecer la lixiviación de almidón y otros sólidos si la estructura no logra retenerlos. Por otra parte, el incremento de proteínas y fibra procedente del chocho y amaranto puede aumentar la retención de agua y modificar la ganancia de masa y el hinchamiento. Por tanto, la tendencia esperada no depende exclusivamente del porcentaje de sustitución, sino de la interacción entre almidón, proteínas, fibra, agua y condiciones de cocción. Estos indicadores deben incorporarse en investigaciones posteriores para confirmar experimentalmente el efecto de la sustitución sobre la calidad de cocción.

Lux et al. (2023), al estudiar pasta fresca elaborada con amaranto, encontraron que la proporción de harina y agua influyó significativamente sobre la firmeza y otras propiedades físicas de la pasta. Los autores observaron que diferentes relaciones harina-agua generaron productos con comportamientos de firmeza considerablemente diferentes, demostrando la importancia de la hidratación y de la composición de la matriz en el desarrollo de la textura. Este resultado es particularmente relevante para la presente investigación, ya que la incorporación de chocho y amaranto modifica tanto la composición de la mezcla como la capacidad de sus componentes para interactuar con el agua.

La dureza también fue superior en T0, con 2,50, mientras que los tratamientos sustituidos presentaron valores inferiores. La disminución de la dureza indica que las formulaciones con chocho y amaranto requirieron una menor fuerza para ser deformadas. Este comportamiento puede estar asociado con una matriz menos continua debido a la reducción de las proteínas formadoras de gluten y a la incorporación de componentes que modifican la estructura durante la cocción.

La evaluación sensorial presentó un comportamiento diferente al observado en los análisis reológicos y texturales. Mientras T0 mostró el mayor desempeño tecnológico, T4 obtuvo las mejores valoraciones sensoriales generales, destacándose en color (7,02), olor (6,75), firmeza (6,75), adhesividad (6,70) y elasticidad (6,48). Es importante precisar que la firmeza evaluada sensorialmente corresponde a la aceptación o agrado del atributo por parte del consumidor y no a una medición instrumental de dureza. Por ello, la mayor puntuación sensorial de T4 no significa que la pasta haya sido físicamente más dura, sino que la textura percibida fue valorada favorablemente. La menor dureza instrumental de T4 pudo contribuir a una mordida

más suave y agradable, sin ser interpretada como un defecto tecnológico por los evaluadores.

Evaluación sensorial

La evaluación sensorial presentó un comportamiento diferente al observado en los análisis reológicos y texturales. Mientras T0 mostró el mayor desempeño tecnológico, T4 obtuvo las mejores valoraciones sensoriales generales, destacándose en color (7,02), olor (6,75), firmeza percibida (6,75) y elasticidad (6,48). Este resultado indica que la modificación de la estructura tecnológica de la pasta producida por la incorporación de chocho y amaranto no fue interpretada negativamente por los consumidores.

El comportamiento encontrado coincide con los resultados de Qumbisa et al. (2022), quienes evaluaron fideos instantáneos enriquecidos con polvo de hojas de *Amaranthus* y encontraron que la incorporación del ingrediente modificó características como el color y la textura, pero que la aceptabilidad de los fideos enriquecidos fue similar a la del control. Los autores concluyeron que *Amaranthus* puede utilizarse para mejorar el valor nutricional de productos tipo fideo sin generar necesariamente una reducción importante de la aceptación del consumidor.

Asimismo, Moposita et al. (2023) desarrollaron pastas enriquecidas con quinua y amaranto y determinaron una formulación de mayor aceptación y contenido nutricional. Su estudio demuestra que la incorporación de pseudocereales puede utilizarse para desarrollar productos de pasta diferenciados nutricionalmente sin que esto implique necesariamente una pérdida de aceptación.

En el presente estudio, la mayor valoración de T4 puede relacionarse con las características sensoriales aportadas por las harinas andinas, particularmente modificaciones en color, olor y sabor. La presencia de amaranto y chocho puede generar un perfil diferente al de una pasta convencional, y esta diferencia parece haber sido aceptada favorablemente por los evaluadores. Además, la menor dureza instrumental de T4 pudo contribuir a una percepción más agradable de la textura durante la degustación, lo que demuestra que una disminución de la resistencia mecánica no necesariamente representa una desventaja desde el punto de vista sensorial.

Calidad microbiológica

Los análisis microbiológicos permitieron evaluar la calidad sanitaria de las formulaciones mediante la determinación de aerobios mesófilos, mohos y levaduras y coliformes totales. En términos generales, los resultados obtenidos permitieron verificar que las formulaciones elaboradas mantuvieron condiciones microbiológicas aceptables bajo las condiciones experimentales utilizadas.

En este caso, la sustitución por chocho y amaranto no debe considerarse como el único factor responsable de las diferencias microbiológicas entre tratamientos, debido a que la carga microbiana también depende de las condiciones higiénicas durante la manipulación, la calidad microbiológica inicial de las materias primas, el contenido de humedad, las condiciones de secado y el almacenamiento. Por ello, cuando los resultados se encuentran dentro de los criterios establecidos, el principal resultado tecnológico es que la incorporación de las harinas andinas no generó un deterioro microbiológico evidente del producto.

La importancia de este análisis radica en que el incremento del valor nutricional debe estar acompañado de condiciones adecuadas de inocuidad. Una formulación con alto contenido proteico y buena aceptación sensorial no puede considerarse tecnológicamente adecuada si presenta una carga microbiana que comprometa su seguridad. Por tanto, los resultados microbiológicos complementan los análisis fisicoquímicos, reológicos, texturales y sensoriales y permiten realizar una evaluación integral del producto desarrollado.

Integración de los resultados y determinación del tratamiento de mayor desempeño.

La integración de los resultados obtenidos demuestra que los diferentes tratamientos presentaron ventajas específicas y que no existió una única formulación que alcanzara simultáneamente los valores más favorables en todas las variables estudiadas. T0 se caracterizó por presentar el mejor desempeño tecnológico, particularmente en las propiedades reológicas y texturales, debido a que mantuvo el 100 % de harina de trigo y, por tanto, una mayor proporción de los componentes responsables del desarrollo de la estructura característica de la pasta. Este comportamiento coincide con lo señalado por Ponce et al. (2018), quienes explicaron que la reducción de gluten mediante la sustitución de harina de trigo por ingredientes alternativos puede modificar la cohesión de la pasta y aumentar la pérdida de sólidos durante la cocción.

Metodología del análisis multicriterio

Para formalizar la integración de resultados se empleó un esquema de puntuación multicriterio por bloques, considerando cuatro dimensiones: fisicoquímica, reológica, textural y sensorial. Los indicadores de cada bloque fueron transformados a una escala comparable y se obtuvo un puntaje integrado para cada tratamiento. Posteriormente, los puntajes de los bloques se combinaron para generar el puntaje global y ordenar las formulaciones. El procedimiento permitió identificar el mejor tratamiento dentro de cada dimensión y, finalmente, comparar el desempeño integral de los cinco tratamientos. De acuerdo con los valores registrados en las Tablas 96 y 97, T4 obtuvo el mayor puntaje en el bloque fisicoquímico (0,7294) y sensorial (0,6973), mientras que T0 obtuvo los mayores puntajes en los bloques reológico (0,6872) y textural (0,8333). El ranking global ubicó a T0 en primer lugar (0,5695) y a T4 en segundo lugar (0,5525). No se denomina al procedimiento TOPSIS o AHP, debido a que en el protocolo experimental no se documentó la aplicación de esos métodos específicos; se lo reporta como un análisis de puntuación y ranking multicriterio.

Por otra parte, T4 presentó el mayor desempeño nutricional y la respuesta sensorial más favorable. El aumento de la sustitución hasta 40 % permitió alcanzar 26,12 % de proteína, 2,71 % de fibra, 10,23 % de grasa y 1,61 % de cenizas, además de obtener las mayores puntuaciones en varios atributos sensoriales. Esta tendencia coincide con Spina et al. (2023), quienes demostraron que la incorporación de lupino a mezclas de trigo incrementó significativamente el contenido proteico y mineral de las formulaciones. Asimismo, coincide con Moposita et al. (2023), quienes observaron que la incorporación de amaranto y quinua permitió obtener una pasta con mayor valor nutricional y adecuada aceptación.

La respuesta sensorial favorable de T4 también concuerda con Qumbisa et al. (2022), quienes encontraron que la incorporación de *Amaranthus* a fideos modificó características de color y textura, pero mantuvo una aceptabilidad similar a la del producto control. En consecuencia, los resultados obtenidos sugieren que el consumidor puede aceptar modificaciones importantes en la composición y estructura del producto siempre que estas se acompañen de características organolépticas agradables.

El comportamiento de T4 también puede relacionarse con los resultados de Lux et al. (2023), quienes demostraron que las características de las masas y pastas elaboradas

con amaranto dependen de la relación entre harina y agua y que las condiciones de procesamiento influyen significativamente sobre la firmeza y las propiedades físicas del producto. Esto permite comprender por qué el incremento de las harinas andinas produjo modificaciones en las propiedades reológicas y texturales de la presente investigación.

El comportamiento reológico de las harinas formuladas presentó diferencias entre los tratamientos, evidenciándose una modificación de sus propiedades de viscosidad conforme aumentó el nivel de sustitución de harina de trigo por las harinas de chocho y amaranto. En particular, se observó una tendencia decreciente en la viscosidad máxima, pasando de $947,00 \pm 18,94$ cP en el tratamiento control (T0) a $441,17 \pm 8,83$ cP en T4. Esta reducción se relacionó con la disminución relativa del almidón de trigo y con la competencia por el agua ejercida por proteínas y fibra de las materias primas andinas. Los parámetros obtenidos mediante Mixolab complementaron esta caracterización, evidenciando una reducción de la estabilidad de la masa conforme aumentó la sustitución.

Las propiedades fisicoquímicas de las pastas fueron modificadas por el nivel de sustitución empleado, destacándose un incremento del aporte nutricional asociado a la incorporación de harina de chocho y amaranto. El tratamiento T4 presentó 26,12 % de proteína y 2,71 % de fibra, frente a 19,763 % y 0,637 % en T0, respectivamente. Esto representa un incremento relativo de 32,17 % en proteína y de 325,90 % en fibra respecto al control. Asimismo, T4 presentó 1,61 % de cenizas y 10,23 % de grasa. El contenido de gluten disminuyó hasta $27,02 \pm 0,869$ mg/kg; sin embargo, este valor supera el límite de 20 mg/kg establecido para alimentos exentos de gluten, por lo que la formulación debe describirse como una pasta con contenido reducido de gluten y no como un alimento libre de gluten.

Las propiedades texturales de las pastas variaron entre las formulaciones, observándose una disminución de parámetros como el trabajo de corte, cohesividad y dureza conforme aumentó el nivel de sustitución. El tratamiento control presentó mayores valores de resistencia mecánica, mientras que las formulaciones con mayor proporción de harinas alternativas mostraron una matriz menos resistente frente al corte y la deformación. Estos cambios se relacionan con la reducción proporcional de la red de gluten y con las modificaciones en la distribución de agua y gelatinización producidas por la incorporación de proteínas y fibra de chocho y amaranto.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El comportamiento reológico de las harinas formuladas presentó diferencias entre los tratamientos, evidenciándose una modificación de sus propiedades de viscosidad conforme aumentó el nivel de sustitución de harina de trigo por las harinas de chocho y amaranto. En particular, se observó una tendencia decreciente en la viscosidad máxima, pasando de $947,00 \pm 18,94$ en el tratamiento control (T0) a $441,17 \pm 8,83$ en T4, lo que demuestra que la incorporación de las harinas alternativas modificó el comportamiento de la mezcla y sus propiedades tecnológicas. Los parámetros obtenidos mediante Mixolab permitieron complementar esta caracterización, identificando cambios en el comportamiento de las formulaciones durante las etapas de calentamiento, gelatinización y retrogradación.
- Las propiedades fisicoquímicas de las pastas fueron modificadas por el nivel de sustitución empleado, evidenciándose un incremento del aporte nutricional asociado a la incorporación de harina de chocho y amaranto. El tratamiento T4, correspondiente al 40 % de sustitución, presentó los mayores valores de proteína (26,12 %), fibra (2,71 %), cenizas (1,61 %) y grasa (10,23 %) respecto al tratamiento control T0, que presentó 19,763 % de proteína y 0,637 % de fibra. En términos relativos, T4 presentó un incremento del 32,17 % en el contenido de proteína y del 325,90 % en el contenido de fibra con respecto a T0, evidenciando que la incorporación de las harinas de chocho y amaranto permitió mejorar el perfil nutricional de la pasta evaluada.
- Las propiedades texturales de las pastas variaron entre las formulaciones, observándose una disminución de parámetros como el trabajo de corte, cohesividad y dureza conforme aumentó el nivel de sustitución. El tratamiento control presentó mayores valores de firmeza y resistencia al corte, mientras que las formulaciones con mayor proporción de harinas alternativas mostraron una textura menor firme. Estos cambios se relacionan con la modificación de la matriz estructural de la pasta debido a la reducción proporcional de harina de

trigo y de la contribución de las proteínas formadoras de gluten a la estructura del producto.

- Las pastas elaboradas presentaron condiciones microbiológicas adecuadas bajo las condiciones experimentales evaluadas. Los análisis de aerobios mesófilos, mohos y levaduras y coliformes totales fueron realizados mediante métodos establecidos por la norma NTE INEN 1529. Para la evaluación específica de pastas alimenticias de la norma NTE INEN 1375:2014, la cual establece para mohos y levaduras un límite de aceptación de 1×10^2 UFC/g y un límite de rechazo de 1×10^3 UFC/g. Los resultados obtenidos para este parámetro se encontraron dentro de los criterios establecidos por la normativa, evidenciando condiciones higiénico-sanitarias adecuadas en las formulaciones estudiadas. En cuanto a aerobios mesófilos y coliformes totales, los resultados fueron interpretados mediante la norma NTE INEN 1529 y los criterios microbiológicos de referencia empleados en el estudio. En conjunto, los resultados permiten señalar que la incorporación de harina de chocho y amaranto no comprometió la calidad microbiológica de las pastas elaboradas.
- La evaluación sensorial demostró que las formulaciones presentaron diferentes niveles de aceptación por parte de los evaluadores, encontrándose que T4 obtuvo una respuesta favorable en los atributos analizados. Para este tratamiento se registraron valores de $7,02 \pm 1,32$ para color y $6,75 \pm 1,55$ para olor, además de una valoración favorable en los demás atributos sensoriales evaluados. Estos resultados indican que el incremento de las harinas de chocho y amaranto no generó un rechazo sensorial del producto y que, bajo las condiciones evaluadas, fue posible obtener una pasta con características sensoriales aceptables.
- El tratamiento T4, correspondiente al 40 % de sustitución, presentó el mayor interés entre las formulaciones enriquecidas debido a que combinó el mayor aporte nutricional con una elevada aceptación sensorial. Sin embargo, el análisis multicriterio global ubicó a T0 en primer lugar (0,5695) y a T4 en segundo lugar (0,5525), debido principalmente al mayor desempeño tecnológico del tratamiento control. T4 presentó una concentración de gluten de $27,02 \pm 0,869$ mg/kg, valor superior al límite de 20 mg/kg establecido para los alimentos exentos de gluten; por tanto, la formulación desarrollada no puede

considerarse libre de gluten ni presentarse como un producto destinado a personas con enfermedad celíaca.

5.2. RECOMENDACIONES

- En futuras investigaciones sugerir la incorporación de aglutinantes hidrocoloides o agentes estructurantes, como goma guar, goma xantana, carboximetilcelulosa o huevo adicional, especialmente en formulaciones con 40 % de sustitución (T4), con el propósito de elevar la viscosidad pico y mejorar la cohesividad y firmeza de la pasta, compensando las modificaciones tecnológicas observadas a mayores niveles de sustitución.
- Determinar experimentalmente la calidad de cocción de las formulaciones, considerando el tiempo óptimo de cocción, la pérdida de sólidos en el agua de cocción, la ganancia o absorción de agua y el índice de hinchamiento, mediante el método AACC 66-50.01 o el procedimiento normativo correspondiente. La incorporación de estos parámetros permitirá complementar la evaluación tecnológica y determinar con mayor precisión el efecto de la sustitución sobre el comportamiento de la pasta durante la cocción.
- En futuras investigaciones desarrollar una pasta destinada a personas con enfermedad celíaca, emplear una formulación completamente libre de trigo y controlar rigurosamente la contaminación cruzada durante todas las etapas del proceso. Se recomienda incorporar hidrocoloides u otros agentes estructurantes que permitan compensar la ausencia de gluten y favorecer propiedades tecnológicas adecuadas. Antes de realizar cualquier declaración de libre de gluten, el producto deberá ser sometido a la correspondiente verificación analítica.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, M., & Hernández, G. (2024). Evaluación reológica de mezclas de harina de trigo y plátano. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 34(3), 44–49. <https://revcitecal.iiiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/753>
- AOAC INTERNATIONAL. (2016). AOAC Official Method 925.11: Ash of macaroni products. En G. W. Latimer, Jr. (Ed.), *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL* (20.ª ed., Vol. 2). AOAC INTERNATIONAL.
- AOAC INTERNATIONAL. (2016). AOAC Official Method 925.12: Fat in macaroni products. En G. W. Latimer, Jr. (Ed.), *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL* (20.ª ed., Vol. 2). AOAC INTERNATIONAL.
- AOAC INTERNATIONAL. (2016). AOAC Official Method 926.07: Solids (total) and loss on drying (moisture) in macaroni products. En G. W. Latimer, Jr. (Ed.), *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL* (20.ª ed., Vol. 2). AOAC INTERNATIONAL.
- AOAC INTERNATIONAL. (2016). AOAC Official Method 930.24: Fiber (crude) in macaroni products. En G. W. Latimer, Jr. (Ed.), *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL* (20.ª ed., Vol. 2). AOAC INTERNATIONAL.
- AOAC INTERNATIONAL. (2016). AOAC Official Method 930.25: Protein in macaroni products. En G. W. Latimer, Jr. (Ed.), *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL* (20.ª ed., Vol. 2). AOAC INTERNATIONAL.
- Aparicio, O. Y., & Agudelo, L. P. (2018). *Elaboración de un producto tipo pasta alimenticia a partir de harinas no convencionales (Sagú, Quinua, Lenteja)*. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Ingeniería de Alimentos. <https://hdl.handle.net/20.500.14625/33127>
- Astudillo, E. (2016). *Evaluación de tres abonos foliares orgánicos en el cultivo de chocho (Lupinus mutabilis Benth), en la Quinta Experimental Docente La Argelia*.

- Baraniak, J., & Kania-Dobrowolska, M. (2022). The Dual Nature of Amaranth—Functional Food and Potential Medicine. *Foods*, 11(4), 618. <https://doi.org/10.3390/FOODS11040618>
- Bodor, K., Szilágyi, J., Salamon, B., Szakács, O., & Bodor, Z. (2024). Physical–chemical analysis of different types of flours available in the Romanian market. *Scientific Reports*, 14(1), 881. <https://doi.org/10.1038/S41598-023-49535-X>
- Bonifaz, P. (2013, March 18). *Composición y tipos de pasta alimenticia*. <https://es.scribd.com/document/233054162/Articulos-Pastas-Alimenticias>
- Cabrera, C. (1989). El cultivo de amaranto *Amaranthus* spp : una alternativa agronómica para Ecuador. *Publicación Miscelánea N°52*.
- Caiza Ayala, J. E. (2011). *Obtención de hidrolizado enzimático de proteína de chocho (Lupinus mutabilis) a partir de harina integral*.
- Catassi, C., Fabiani, E., Iacono, G., D'Agate, C., Francavilla, R., Biagi, F., Volta, U., Accomando, S., Picarelli, A., De Vitis, I., Pianelli, G., Gesuita, R., Carle, F., Mandolesi, A., Bearzi, I., & Fasano, A. (2007). A prospective, double-blind, placebo-controlled trial to establish a safe gluten threshold for patients with celiac disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85(1), 160–166. <https://doi.org/10.1093/AJCN/85.1.160>
- Choquetico-Iquiapaza, I. Y., Lopez-Huaman, P., Gómez-Coca, R. B., Encina- Zelada, C. R., Tapia-Blácido, D. R., & Pascual-Chagman, G. J. (2024). Effect of Andean Lupin (*Lupinus mutabilis*) genotype and harvest altitude on the chemical composition and nutritional quality of flours. *Food Bioscience*, 61, 104921. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2024.104921>
- Dziki, D. (2023). The Latest Innovations in Wheat Flour Milling: A Review. *Agricultural Engineering*, 27(1), 147–162. <https://doi.org/10.2478/AGRICENG-2023-0011>
- Food and Drug Administration. (2020). BAM Chapter 4: Enumeration of *Escherichia coli* and the coliform bacteria. Bacteriological Analytical Manual (BAM). <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria>
- Food and Drug Administration. (2022). BAM Chapter 18: Yeasts, molds and mycotoxins. Bacteriological Analytical Manual (BAM). <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-18-yeasts-molds-and-mycotoxins>
- Food and Drug Administration. (2025). BAM Chapter 3: Aerobic plate count (G. Zhang, M. Ferguson, & R. J. Blodgett, Eds.; 8.^a ed.). Bacteriological Analytical Manual (BAM). <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-3-aerobic-plate-count>
- González-Rivera, I., Paz Trejo, D. B., Fuentes Saavedra, N. S., De Lucio Padrón, E. L., Rodríguez Silva, D., Torres Carrillo, P., Zamora Arevalo, O., Casasola Castro, C., Sánchez-Castillo, H., González-Rivera, I., Paz Trejo, D. B., Fuentes Saavedra, N.

S., De Lucio Padrón, E. L., Rodríguez Silva, D., Torres Carrillo, P., Zamora Arevalo, O., Casasola Castro, C., & Sánchez-Castillo, H. (2015). El Amaranto como Fuente de Reforzamiento: Un Estudio con Roedores. *Acta de Investigación Psicológica*, 5(2), 1960–1971. [https://doi.org/10.1016/S2007-4719\(15\)30016-8](https://doi.org/10.1016/S2007-4719(15)30016-8)

Grand View Research. (2024). *Tamaño del mercado de productos sin gluten*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/us-gluten-free-products-market-report>

Hernández Sampiere, R., Fernanández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. (5.ª ed.). McGraw-Hill.. https://www.estadisticaciudad.gob.ar%2Fpergamo%2Fdocumento.php%3Fid%3DPERGAMO.1.3247%26recno%3D3247%26ui%3D1%26utm_source%3Dchatgpt.com

Jan, N., Hussain, S. Z., Naseer, B., & Bhat, T. A. (2023). Amaranth and quinoa as potential nutraceuticals: A review of anti-nutritional factors, health benefits and their applications in food, medicinal and cosmetic sectors. *Food Chemistry: X*, 18, 100687. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2023.100687>

Karoui, I. J., Terras, D. S., Yeddes, W., Hammami, M., & Abderrabba, M. (2023). Formulation of pasta enriched with protein-rich lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet) and wheat bran using mixture design approach. *Journal of Food Science*, 88(10), 4001–4014. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16736>

Kim, H. R., Kim, M. R., Ryu, A. R., Bae, J. E., Choi, Y. S., Lee, G. B., Choi, H. D., & Hong, J. S. (2022). Comparison of rheological properties between Mixolab-driven dough and bread-making dough under various salt levels. *Food Science and Biotechnology*, 32(2), 193. <https://doi.org/10.1007/S10068-022-01186-W>

Lang, R. (2016). *Presentación Industria de la Pasta*. https://wiki.ead.pucv.cl/Presentaci%C3%B3n_Industria_de_la_Pasta

Llerena, Luis. (2022). Beneficios del chocho para mejorar la nutrición. *Qualitas Revista Científica*, 24(24). <https://doi.org/10.55867/qual24.05>

Lux, T., Spillmann, F., Reimold, F., Erdös, A., Lochny, A., & Flöter, E. (2023). Physical quality of gluten-free doughs and fresh pasta made of amaranth. *Food Science & Nutrition*, 11(6), 3213–3223. <https://doi.org/10.1002/FSN3.3301>

Mesta, D., & Miñope, Y. (2019). *Formulación y evaluación sensorial para determinar la aceptabilidad de galletas con fibra dietética de piña (Ananas Comosus) y harina de sorgo (Sorghum Vulgare) para personas celíacas*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3904>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2023). *INIAP investigó propiedades nutritivas del chocho, alternativa para una mejor alimentación*. <https://www.agricultura.gob.ec/iniap-investigo-propiedades-nutritivas-del-chocho-alternativa-para-una-mejor-alimentacion/>

- Moposita, D., Mejia, B., Dávalos, G., & Godoy, M. (2023). *Pastas alimenticias enriquecidas con harina de quinua (Chenopodium quinoa) y amaranto (Amaranthus)*. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i5>
- Muñis Morales, J. C. (2021). *Elaboración de una apanadura condimentada a base de harina de chocho (Lupinus mutabilis Sweet) y pan molido para carnes*.
- Nandan, A., Koirala, P., Dutt Tripathi, A., Vikranta, U., Shah, K., Gupta, A. J., Agarwal, A., & Nirmal, N. (2024). Nutritional and functional perspectives of pseudocereals. *Food Chemistry*, 448, 139072. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2024.139072>
- Narváez, D. (2023). *Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harina a base de residuos de brócoli (brassica oleracea) sobre las propiedades reológicas y sensoriales de una pasta tipo fettuccini*.
- Navarrete, A. (2013). *Elaboración y caracterización de pasta funcional con adición de harina de bagazo de uva*.
- Olamiti, G., Ramashia, S. E., Olamiti, G., & Ramashia, S. E. (2024). Impact of Composite Flour on Nutritional, Bioactive and Sensory Characteristics of Pastry Foods: A Review. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 12(3), 1018–1034. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.12.3.4>
- Olivares, E. (2015). *Alerta la OMS sobre las nuevas formas de comer*. <https://www.jornada.com.mx/2015/04/07/sociedad/032n1soc>
- Pérez, Ó. (2010). *Caracterización de la Harina de Semillas de Amaranto Amaranthus Caudatus para Elaboración de Pan en Mezclas con Harina de Trigo*. 01.
- Ponce, M., Navarrete, D., & Vernaza, M. G. (2018). Sustitución Parcial de Harina de Trigo por Harina de Lupino (Lupinus mutabilis Sweet) en la Producción de Pasta Larga. *Información Tecnológica*, 29(2), 195–204. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000200195>
- Posner, E. S., & Hibbs, A. N. (2005). *Molienda de harina de trigo* (2.ª ed.). American Association of Cereal Chemists (AACC). <https://www.cerealsgrains.org>
- Pruna Tapia, D. (2020). *Determinación de los compuestos bioactivos y tiempo de vida útil de un spaghetti elaborado a partir de cultivos andinos y residuos agroindustriales*.
- Qumbisa, N. D., Ngobese, N. Z., Kolanisi, U., Siwela, M., & Cynthia, G. F. (2022). Effect of Amaranthus leaf powder addition on the nutritional composition, physical quality and consumer acceptability of instant noodles. *South African Journal of Botany*, 145, 258–264. <https://doi.org/10.1016/J.SAJB.2021.01.022>
- Rubio-Tapia, A., Hill, I. D., Semrad, C., Kelly, C. P., & Lebwohl, B. (2023). American College of Gastroenterology Guidelines Update: Diagnosis and Management of Celiac Disease. *American Journal of Gastroenterology*, 118(1), 59–76. <https://doi.org/10.14309/ajg.0000000000002075>

- Salvador-Martínez, G., Ortiz-Torres, E., Guerrero-Rodríguez, J. de D., Taboada-Gaytan, O. R., Herrera-Corredor, J. A., Gómez-Aldapa, C. A., Salvador-Martínez, G., Ortiz-Torres, E., Guerrero-Rodríguez, J. de D., Taboada-Gaytan, O. R., Herrera-Corredor, J. A., & Gómez-Aldapa, C. A. (2024). Características composicionales de especies de amaranto utilizadas como verdura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(8). <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V15I8.3094>
- Satán, E. (2022). *Elaboración de pasta alimenticia con incorporación parcial de harina de quinua*.
- Spina, A., Scarangella, M., Candale, M., Sanfilippo, R., Giannone, V., Summo, C., & Pasqualone, A. (2023). Nutritional features of flour blends composed of durum wheat and lupin. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(9), 4812–4819. <https://doi.org/10.1111/IJFS.16592>
- Taco-Taype, N., & Zúñiga-Dávila, D. (2020). Effect of inoculation of Tarwi plants with *Bradyrhizobium* spp. Strains isolated from a wild lupine, under greenhouse conditions. *Revista Peruana de Biología*, 27(1), 35–42. <https://doi.org/10.15381/rpb.v27i1.17577>
- Taype, C. (2015). *Efecto de la sustitución de harina de trigo por harina de quinua y de la temperatura de secado sobre la absorción de agua, pérdida de sólidos, firmeza y aceptabilidad general en fideos tipo fettuccine*. <https://es.scribd.com/document/340722130/Tesis-de-Fideos-de-Harina-de-Trigo>
- McKee, T., & McKee, J. R. (2003). Aminoácidos, péptidos y proteína. En *Bioquímica las bases moleculares de la vida* (3.^a ed., pp. 81–120). McGraw-Hill / Interamericana.
- Vedia, V. S., Gurak, P. D., Espinoza, S. K., & Ruano, J. A. (2016). Calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial de tallarines producidos con sustitución parcial de sémola de trigo por harina de amaranto. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(3), 190–197. <https://doi.org/10.14306/renhyd.20.3.215>
- Villacrés, E., Navarrete, M., Espín, S., & Peralta, E. (2010). *Evaluación del Rendimiento, Características Físico-Químicas y Nutraceúticas del Aceite de Chocho (Lupinus mutabilis sweet)* (Boletín Técnico N.º 141). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Wang, J., Li, Y., Guo, X., Zhu, K., & Wu, Z. (2024). A Review of the Impact of Starch on the Quality of Wheat-Based Noodles and Pasta: From the View of Starch Structural and Functional Properties and Interaction with Gluten. *Foods*, 13(10), 1507. <https://doi.org/10.3390/FOODS13101507>
- Yazar, G. (2023). Wheat Flour Quality Assessment by Fundamental Non-Linear Rheological Methods: A Critical Review. *Foods*, 12(18), 3353. <https://doi.org/10.3390/FOODS12183353>

Zumba, L. (2022). *La comida libre de gluten y certificada escasea en el plato*. Diario Expreso. <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/comida-libre-gluten-certificada-escasea-plato-119955.html>

VII. ANEXOS

Anexo 1. Certificado Abstract



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN
AND NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAMES: Genessis Yessenia Durazno Yandún DATE: Monday, August 31st, 2026 Topic: "Comprehensive Evaluation of Spaghetti-Type Pasta Made from Lupinus mutabilis Flour and Amaranthus spp. Flour"				
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		TOTAL 9		
9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED				



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

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

Autores: Genessis Yessenia Durazno Yandún

Fecha de recepción del abstract: miércoles, 12 de agosto del 2026

Fecha de entrega del informe: lunes, 31 de agosto del 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:

Tras evaluar el resumen presentado, se concluye que la traducción al inglés es adecuada y fiel al contenido. De acuerdo con la rúbrica aplicada para su valoración, se le asigna una calificación de 9, por lo que el trabajo queda aprobado.

Atentamente



MA. Martha Viveros
RESPONSABLE CIDEN

Anexo 2. Memoria

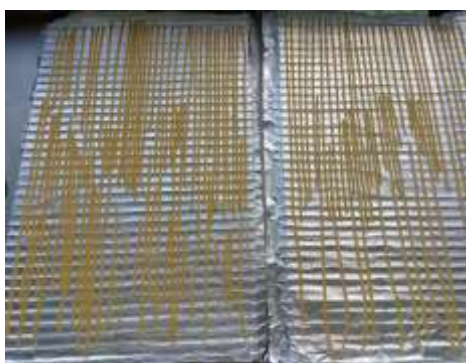


Figura 16. Secado de la pasta



Figura 17. Pasta almacenada



Figura 18. Determinación de proteína de la pasta



Figura 19. Determinación de gluten de la pasta



Figura 20. Análisis sensorial de la pasta



Figura 21. Grasa de la pasta



Figura 22. Ceniza de la pasta



Figura 23. Humedad de la pasta

Anexo 3. Ficha sensorial

 Universidad Politécnica Estatal del Carchi	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES CARREA DE ALIMENTOS FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL	 POLITÉCNICA DEL CARCHI ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA																																										
Producto: Evaluación integral de una pasta tipo spaghetti elaborada a partir de harina de <i>Lupinus mutabilis</i> y harina de <i>Amaranthus spp.</i>																																												
Edad:	Sexo:	Fecha:																																										
Objetivo: Evaluar la aceptabilidad sensorial de una pasta tipo spaghetti formulada con diferentes proporciones de harina de trigo, chocho y amaranto, mediante el análisis de los atributos color, olor, sabor, firmeza, adhesividad y elasticidad.																																												
Definición: ▪ Color: Evaluar el aspecto visual del producto. ▪ Olor: Evaluar el aroma que desprende la muestra ▪ Sabor: Evaluar la percepción que se percibe al probarlo ▪ Firmeza: Evaluar la dureza o la suavidad al morder. ▪ Adhesividad: Evaluar que tanto se pega a los dientes o al paladar ▪ Elasticidad: Evaluar la capacidad de estirarse sin romperse.																																												
Instrucciones: ▪ Se presenta cinco (5) muestras identificadas con códigos aleatorios ▪ Deguste las muestras en el orden indicado (de izquierda a derecha) e indique su nivel de agrado de acuerdo con el puntaje de la escala indicada. ▪ El rango para calificar es:																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Puntaje</th> <th style="width: 50%;">Categoría</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td>Me disgusta muchísimo</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td>Me disgusta mucho</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td>Me disgusta moderadamente</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td>Me disgusta ligeramente</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td>Ni me gusta ni me disgusta</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td>Me gusta ligeramente</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td>Me gusta moderadamente</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td>Me gusta mucho</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">9</td><td>Me gusta muchísimo</td></tr> </tbody> </table>			Puntaje	Categoría	1	Me disgusta muchísimo	2	Me disgusta mucho	3	Me disgusta moderadamente	4	Me disgusta ligeramente	5	Ni me gusta ni me disgusta	6	Me gusta ligeramente	7	Me gusta moderadamente	8	Me gusta mucho	9	Me gusta muchísimo																						
Puntaje	Categoría																																											
1	Me disgusta muchísimo																																											
2	Me disgusta mucho																																											
3	Me disgusta moderadamente																																											
4	Me disgusta ligeramente																																											
5	Ni me gusta ni me disgusta																																											
6	Me gusta ligeramente																																											
7	Me gusta moderadamente																																											
8	Me gusta mucho																																											
9	Me gusta muchísimo																																											
A continuación, se presenta la tabla de calificación para cada tratamiento:																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Código</th> <th style="width: 15%;">Color</th> <th style="width: 15%;">Olor</th> <th style="width: 15%;">Sabor</th> <th style="width: 15%;">Firmeza</th> <th style="width: 15%;">Adhesividad</th> <th style="width: 15%;">Elasticidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">472</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">815</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">309</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">664</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">527</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			Código	Color	Olor	Sabor	Firmeza	Adhesividad	Elasticidad	472							815							309							664							527						
Código	Color	Olor	Sabor	Firmeza	Adhesividad	Elasticidad																																						
472																																												
815																																												
309																																												
664																																												
527																																												
Observaciones: 																																												