

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Desarrollo y caracterización de harina de banano (*Musa cavendish*) y chía (*Salvia hispánica*) como alternativa para elaboración de productos libres de gluten

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por
Miriam Alessandra Catalán Molina para optar al grado académico de
Licenciada en Ingeniería en Ciencias de Alimentos

Guatemala,
2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería




Desarrollo y caracterización de harina de banano (*Musa cavendish*) y chía (*Salvia hispánica*) como alternativa para elaboración de productos libres de gluten

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por
Miriam Alessandra Catalán Molina para optar al grado académico de
Licenciada en Ingeniería en Ciencias de Alimentos


Guatemala,

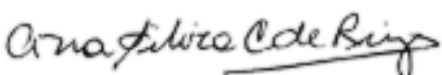
2025


Vo. Bo.:

(f): 
Msc. Ana Alicia Paz Pierri

Tribunal Examinador:

(f): 
Lic. María Patricia Palomo Palacios Recinos

(f): 
Msc. Ana Silvia Colmenares Samayoa

(f): 
Msc. Ana Alicia Paz Pierri

Fecha de aprobación: 10 de enero 2025

INDICE

Lista de cuadros	iv
Lista de figuras	vi
Resumen	ix
Abstract.....	x
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	2
2.1 Producción de banano en Guatemala	2
2.2 Características del banano tipo cavendish	3
2.3 Descarte de banano de materia prima y cantidad de descarte	4
2.4 Aumento de tendencias sin gluten	5
2.5 Beneficios de la salud de productos sin gluten	7
2.6 Estudios previos	8
3. Justificación	11
4. Objetivos.....	14
4.1 General	14
4.2 Específicos	14
5. Marco teórico.....	15
5.1 <i>Design thinking</i>	15
5.2 Metodología de la casa de calidad	17
5.3 Banano y chía como ingredientes	18
5.3.1. Banano.....	18
5.3.2. Chía.....	23
5.3.3. Gluten	27
5.3.4. Reacciones intolerantes al trigo.....	31

5.3.5.	Diversidad de productos libres de gluten y cuáles son los más comunes en el mercado	34
5.3.6.	Retos de sustituir y eliminar el gluten en productos de panificación y repostería	34
5.3.7.	Método de elaboración de harinas vegetales	36
6.	Metodología.....	40
6.1	<i>Design thinking</i>	40
6.1.1.	Empatizar y definición del problema.....	41
6.2	Definición del problema	43
6.3	Idear	44
6.4	Prototipar	45
6.4.1.	Amar casa de calidad.....	45
6.4.2.	Evaluación del valor máximo de maduración del banano	47
6.5	Elaboración de harina	50
6.5.1.	Cortado y pretratamiento	50
6.5.2.	Deshidratación	50
6.5.3.	Molienda.....	51
6.5.4.	Formulaciones de la harina de banano y chía.....	52
6.5.5.	Tamizado	52
6.5.6.	Testear	53
6.6	Evaluación de productos	61
6.6.1.	Evaluación sensorial	61
6.6.2.	Selección de la mejor formulación	62
7.	Resultados y Discusión.....	64
7.1	Empatizar	64
7.1.1.	Entrevistas	64

7.1.2.	Evaluación de productos en el mercado	69
7.2	Identificación del problema	73
7.3	Ideación	74
7.4	Prototipado	77
7.4.1.	Elaboración de casa de calidad.....	77
7.4.2.	Caracterización de materia prima	80
7.4.3.	Elaboración de la harina	83
7.5	Testeo	89
7.5.1.	Capacidad de solubilidad.....	89
7.5.2.	Análisis de retención de solventes.....	91
7.5.3.	Análisis de gelificación	93
7.5.4.	Análisis proximal.....	94
7.5.5.	Prueba de formulación.....	98
7.5.6.	Análisis sensorial	100
8.	Conclusiones.....	107
9.	Recomendaciones	108
10.	Referencias	109
11.	Anexos	112

Lista de cuadros

Cuadro 1. Composición química y bioquímica del banano en estado inmaduro y maduro por cada 100 g de peso.....	19
Cuadro 2. Ejemplo de evaluación de prototipos conceptuales	45
Cuadro 3. Intervalo de grados Brix de banano tipo cavendish.....	49
Cuadro 4. Intervalo de pH de banano tipo cavendish.....	49
Cuadro 5. Formulaciones de la harina de banano y chía	52
Cuadro 6. Motivos de los consumidores para escoger harinas libres de gluten	67
Cuadro 7. Productos comercializados como libres de gluten recolectados en dos cadenas de supermercados	69
Cuadro 8. Resumen de datos principales obtenidos en la etapa de entrevistas	74
Cuadro 9. Elaboración de prototipo conceptual	75
Cuadro 10. Formulación de harina de banano con diferentes proporciones de chía	75
Cuadro 11. Evaluación de color de banano en etapa 3 de maduración	80
Cuadro 12. Promedio de resultados de análisis de pH, °Brix, porcentaje de almidón y actividad de agua en los bananos en etapa 3 de maduración utilizados para elaboración de harina	80
Cuadro 13. Porcentaje de rendimiento de harina de banano verde de rechazo	85
Cuadro 14. Resultados promedio de solubilidad de agua y aceite en las diferentes formulaciones de harina de banano con chía.....	89
Cuadro 15. Promedios de retención de solventes en las formulaciones de harina a base banano y chía	91
Cuadro 16. Promedio de resultados de gelificación en las formulaciones de harina de banano y chía elaboradas	93
Cuadro 17. Promedio de resultados de análisis proximal en los diferentes tipos de formulaciones realizadas con diferentes proporciones de chía	94
Cuadro 18. Resultados de funcionalidad de las formulaciones de harina de banano y chía elaboradas	98
Cuadro 19. Prueba de Tukey en el promedio de aceptación de galletas, panqueques y pan elaborados con diferentes formulaciones de harina de banano con chía.....	104

Cuadro 20. Datos de caracterización de la materia prima (banano tipo Musa Cavendish etapa 3 de maduración)	112
Cuadro 21. Datos originales de análisis de solventes formulaciones de harinas de banano con chía en triplicado	113
Cuadro 22. Datos originales de análisis proximal de humedad en cada formulación de harina de banano con chía en duplicado.....	114
Cuadro 23. Datos originales de análisis proximal de ceniza en cada formulación de harina de banano con chía en duplicado.....	115
Cuadro 24. Datos originales de análisis proximal de grasa en cada formulación de harina de banano con chía en duplicado.....	116
Cuadro 25. Datos originales de análisis proximal de proteína en cada formulación de harina de banano con chía en duplicado.....	117
Cuadro 26. Datos originales de análisis proximal de fibra en cada formulación de harina de banano con chía en duplicado.....	118
Cuadro 27. Imágenes de análisis proximal de las harinas	121
Cuadro 28. Análisis de anova de promedio de solubilidad de agua y aceite en las diferentes formulaciones de harina.....	129
Cuadro 29. Análisis de anova de promedios de retención de solventes en las formulaciones de harina a base de banano y chía	130
Cuadro 30. Resumen de análisis de anova realizado a cada análisis proximal elaborado con las formulaciones de harina de banano y chía	132

Lista de figuras

Figura 1. Distribución de la producción a nivel nacional.....	2
Figura 2. Exportaciones en toneladas métricas	3
Figura 3. Tendencia de productos sin gluten	6
Figura 4. Global Gluten Free Foods and Beverage	6
Figura 5. Design thinking.....	16
Figura 6. Casa de calidad.....	17
Figura 7. Tabla de Madurez del Banano.	20
Figura 8. Estructura de la gliadina.....	29
Figura 9. Estructura de las gluteninas.....	30
Figura 10. Formación de red de gluten.....	30
Figura 11. Cartilla de color de banano.....	48
Figura 12. Deshidratadora Ivation modelo IVFD60RB	51
Figura 13. Deshidratadora Ivation modelo IVFD60RB	55
Figura 14. Diagrama de flujo de proceso de pan francés	59
Figura 15. Diagrama de flujo de proceso de panqueques.....	60
Figura 16. Diagrama de flujo de proceso de galletas	61
Figura 17. Frecuencia de consumo de productos elaborados con harina	65
Figura 18. Categorías de harina que se utilizan los consumidores.....	67
Figura 19. Factores más importantes para el consumidor al escoger una harina de banano	68
Figura 20. Casa de calidad elaborada con los datos obtenido de las encuestas.....	78
Figura 21: Análisis granulométrico para las formulaciones con diferentes proporciones de harina de banano y chía	88
Figura 22. Promedio de resultados de análisis sensorial para la elaboración de panqueques con harina de banano y chía en diferentes proporciones	101
Figura 23. Promedio de resultados de análisis sensorial para la elaboración de galletas con harina de banano y chía en diferentes proporciones.....	102
Figura 24. Promedio de resultados de análisis sensorial para la elaboración de pan con harina de banano y chía en diferentes proporciones.....	103
Figura 25. Promedio de aceptación de galletas, panqueques y pan elaborados con diferentes formulaciones de harina de banano con chía.....	104

Figura 26. Resultados de entrevistas realizados	112
Figura 27. Recepción de materia prima para elección de bananos Musa Cavendish en etapa 3 de maduración.....	119
Figura 28. Proceso de molienda del banano deshidratado.....	119
Figura 29. Tamizado de la harina molida de banano Musa cavendish	120
Figura 30. Prueba de gelificación en un consistómetro marca Bostwick.....	120
Figura 31. Formulario elaborado para realización de panel sensorial	122
Figura 32. Anova realizado para el análisis solubilidad en agua realizados	122
Figura 33. Anova realizado para el análisis solubilidad en aceite realizados.....	123
Figura 34. Anova realizado para el análisis de solventes en agua realizados.....	123
Figura 35. Anova realizado para el análisis de solventes en solución de sacarosa realizados	123
Figura 36. Anova realizado para el análisis de solventes en solución de ácido láctico realizados	124
Figura 37. Anova realizado para el análisis de solventes en solución de carbonato de sodio realizados	124
Figura 38. Anova realizado para el análisis proximal de humedad realizados.....	124
Figura 39. Anova realizado para el análisis proximal de ceniza realizados	125
Figura 40. Anova realizado para el análisis proximal de grasa realizados	125
Figura 41. Anova realizado para el análisis proximal de proteína realizados	125
Figura 42. Anova realizado para el análisis proximal de fibra realizados	126
Figura 43. Análisis granulométrico de formulación 1	126
Figura 44. Distribución de tamaño de formulación 1	126
Figura 45. Análisis granulométrico de formulación 2	127
Figura 46. Distribución de tamaño de formulación 2.....	127
Figura 47. Análisis granulométrico de formulación 3	127
Figura 48. Distribución de tamaño de formulación 3.....	128
Figura 49. Análisis granulométrico de formulación 4	128
Figura 50. Distribución de tamaño de formulación 4.....	128
Figura 51. Prueba tukey para solubilidad en agua.....	129
Figura 52. Prueba tukey para solubilidad en aceite	129

Figura 53. Prueba tukey para prueba de solventes en agua	130
Figura 54. Prueba tukey para prueba de solventes en sacarosa	130
Figura 55. Prueba tukey para prueba de solventes en ácido láctico	131
Figura 56. Prueba tukey para prueba de solventes en carbonato de sodio	131
Figura 57. Prueba tukey para análisis de gelificación	131
Figura 59. Prueba de tukey para análisis proximal de ceniza.....	133
Figura 60. Prueba de tukey para análisis proximal de grasa	133
Figura 61. Prueba de tukey para análisis proximal de fibra	133

Resumen

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo el caracterizar una harina compuesta de banano (*Musa cavendish*) y chía (*Salvia hispánica*), orientada a su uso en productos libres de gluten. Reconociendo el liderazgo de Guatemala en la exportación de banano y la creciente demanda de alimentos sin gluten, el estudio buscó innovar en la industria alimentaria guatemalteca mediante la promoción de la economía circular y la creación de productos de alto valor a partir de descartes de banano que no cumplen con la calidad para ser exportados. Se enfocó en optimizar el proceso de producción de la harina de banano y formular la combinación adecuada con chía para lograr una harina que cuente con propiedades tecnológicas apropiadas para ser utilizada en productos libres de gluten.

Abstract

This graduation project focuses on characterizing a composite flour made from banana (*Musa cavendish*) and chia (*Salvia hispánica*), intended for use in gluten-free products. Considering Guatemala's leadership in banana exports and the increasing demand for gluten-free foods, this study proposes an innovation in the local food industry by utilizing discarded bananas that do not meet export standards. The main goal is to promote a circular economy and generate high-value nutritional and technological products. The production process of banana flour was optimized, and an appropriate mixture with chia was formulated to achieve a flour with the necessary technological properties for use in gluten-free products. This approach not only offers a sustainable solution to agricultural waste but also contributes to diversifying the healthy food options available in the market.

1. Introducción

La presente investigación se centra en el desarrollo y caracterización de una harina compuesta de banano deshidratado tipo *Musa cavendish* y semillas de chía (*Salvia hispánica*), destinada a la elaboración de productos libres de gluten. La importancia de este estudio radica en la creciente prevalencia de la enfermedad celíaca y la sensibilidad al gluten, condiciones que demandan alternativas alimenticias que no solo cumplan con los requerimientos nutricionales, sino que también ofrezcan buenas propiedades tecnológicas para la producción de alimentos de calidad. La elección del banano y la chía como materias primas responde a su disponibilidad local en Guatemala y a sus beneficios tanto nutricionales como funcionales. El banano, uno de los principales productos de exportación del país, es rico en almidón resistente, mientras que la chía se ha posicionado como un superalimento gracias a su contenido en omega-3, fibra y proteínas.

Este trabajo no solo pretende generar una alternativa innovadora dentro del sector alimentario, sino también contribuir a la sostenibilidad al utilizar recursos agrícolas nacionales y subproductos que, de otra manera, podrían ser desaprovechados. La combinación de estas materias primas busca maximizar el valor nutricional de la harina resultante, mientras que los métodos empleados en el proceso de deshidratación y molienda aseguran la preservación de las propiedades organolépticas y tecnológicas de los ingredientes. El control de variables, como el punto de maduración del banano y el porcentaje de chía en las formulaciones, son fundamentales para lograr un producto final apto libre de gluten.

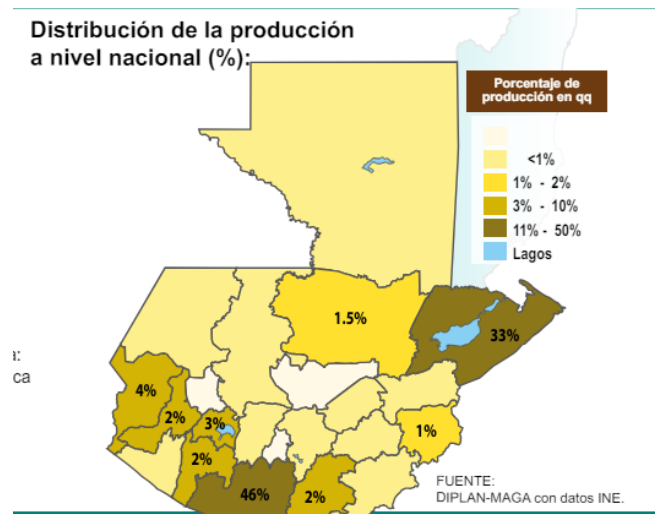
A continuación, se presenta el marco teórico, que cubre los conceptos relacionados con la producción de harinas sin gluten, la tecnología de los alimentos y el uso de metodologías como el *design thinking* y la casa de calidad. Luego, se describe la metodología empleada en la investigación, detallando los procedimientos experimentales y los análisis realizados. Finalmente, se exponen los resultados y su discusión, seguidos por las conclusiones y recomendaciones. Este trabajo ofrece una visión integral del proceso de investigación, desde su planteamiento hasta sus hallazgos, como una solución innovadora y viable para el sector alimentario de Guatemala.

2. Antecedentes

2.1 Producción de banano en Guatemala

Guatemala se destaca como un líder mundial en la exportación de bananos, ocupando el tercer lugar con exportaciones de más de 2.3 millones de toneladas en 2019. En la última década, la producción se ha duplicado notablemente, impulsada por la expansión de las áreas de cultivo y un sistema de producción intensiva. El 84.5% de la superficie cosechada se encuentra concentrada en 6 departamentos, contando en Izabal 34.3%, Escuintla 27.6%, San Marcos 8.1%, Suchitepéquez 6.5%, Sololá 5.5% y Quetzaltenango 2.5% (MAGA, 2006).

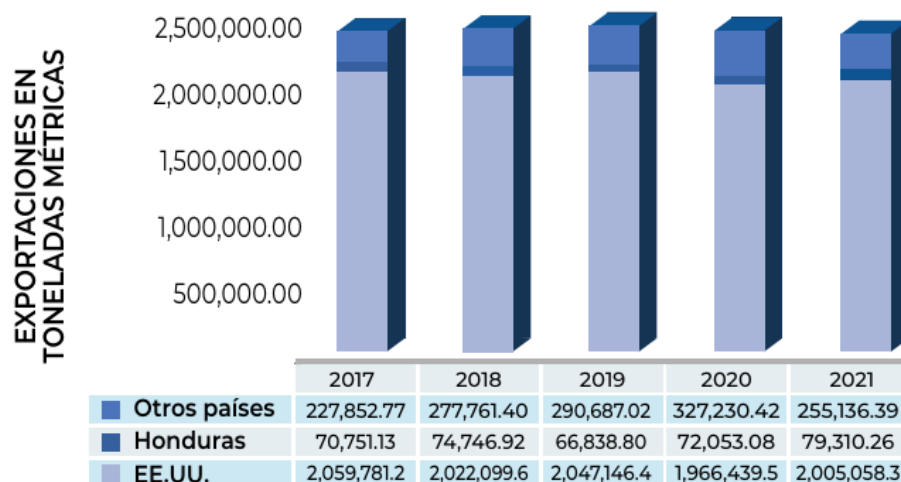
Figura 1. *Distribución de la producción a nivel nacional*



Nota. Adaptada de MAGA (2006).

La industria del banano en Guatemala demuestra su importancia y robustez a través de las cifras de exportación, manteniendo al país como un jugador principal en el mercado internacional. Durante los años recientes, los Estados Unidos han sido el destino más significativo de estas exportaciones, absorbiendo la mayoría de la producción. Las gráficas ilustran que, aunque ha habido fluctuaciones en los volúmenes exportados, el flujo comercial se ha mantenido estable, mostrando la resiliencia del sector frente a los desafíos del mercado global. Las exportaciones a otros países también contribuyen de manera significativa al perfil exportador de Guatemala, diversificando su presencia en el mercado mundial.

Figura 2. *Exportaciones en toneladas métricas*



Nota. Adaptación de MAGA (2006).

Adicionalmente, los datos destacan la contribución de varios departamentos dentro del país a la producción total de banano. Departamentos como Izabal y Suchitepéquez lideran la producción, subrayando la importancia del cultivo de banano para la economía local y la generación de empleo. Estos datos, junto con la información sobre las importaciones y el promedio de precios en el mercado local, ofrecen una visión comprensiva del impacto económico del banano en la economía guatemalteca, resaltando tanto el potencial de crecimiento como los retos a los que se enfrenta el sector en términos de competencia y precios en el mercado.

2.2 Características del banano tipo cavendish

El banano tipo Cavendish es una variedad predilecta tanto en la producción global como en Guatemala debido a su robustez y vida útil extendida post-cosecha, cualidades que facilitan su transporte y comercialización a larga distancia. Esta variedad destaca por sus frutos de consistencia firme y sabor dulce, lo que los hace preferidos para el consumo directo. Los Cavendish maduran de un color verde intenso a un amarillo brillante y pueden alcanzar hasta 25 centímetros de longitud, presentando una curvatura característica y una cáscara de espesor considerable que los protege durante la manipulación y el envío (Burgos y Robinson, 2014).

Desde el punto de vista nutricional, los bananos Cavendish son una fuente excelente de energía rápida debido a su alto contenido de azúcares naturales, particularmente cuando están completamente maduros. Son ricos en vitaminas, especialmente en vitamina C y vitaminas del complejo B como la B6, y proporcionan minerales esenciales como potasio, que contribuye al funcionamiento adecuado del sistema muscular y nervioso. También son una fuente de fibra dietética, importante para la salud digestiva, y contienen antioxidantes como la dopamina y catequina (Singh, 2016).

En el contexto agronómico guatemalteco, el cultivo de bananos Cavendish representa un pilar económico en varias regiones del país. Los productores guatemaltecos han optimizado sus prácticas de cultivo para maximizar la calidad y el rendimiento de esta variedad, aplicando técnicas de manejo integrado que incluyen la optimización del uso de agua y nutrientes, así como el manejo efectivo de plagas y enfermedades. El banano Cavendish es, por lo tanto, un componente vital no solo en términos de comercio y economía sino también en la cultura alimentaria tanto local como internacionalmente (Ortega y Lao, 2020).

2.3 Descarte de banano de materia prima y cantidad de descarte

El descarte de bananos puede ocurrir por diversas razones, incluyendo sobreproducción, estándares estéticos para la exportación, y daños durante la cosecha o el transporte. Aunque los datos específicos sobre la cantidad de descarte no están inmediatamente disponibles, se reconoce que el manejo eficiente de la producción y el aprovechamiento de los descartes para productos como la harina de banano podría contribuir significativamente a la economía local y a la sostenibilidad ambiental (FAO, 2019). Iniciativas que utilicen los bananos descartados para la elaboración de productos alimenticios podrían reducir el desperdicio y generar ingresos adicionales (Pérez, 2021).

En Guatemala, el descarte de banano durante el proceso de exportación es significativo debido a los estrictos estándares de calidad exigidos por los mercados internacionales. Se estima que entre el 10% y el 15% del banano producido no se exporta debido a razones como defectos estéticos, tamaño fuera de los parámetros exigidos o daños en la piel durante la cosecha y el transporte (Open Knowledge FAO, 2021).

En la región de Izabal, que es una de las áreas de mayor producción de banano en el país, estas pérdidas son más visibles, ya que el 34.3% de la superficie cultivada de banano en Guatemala está en esta región (Banana Link, 2024). Además, durante el transporte y distribución, se estima que se pierde entre el 5% y el 7% del banano exportado debido a daños mecánicos y problemas de conservación que afectan la calidad del producto. Estas pérdidas se deben, en gran parte, a la falta de infraestructura adecuada para el manejo post-cosecha y a los largos tiempos de tránsito hacia los mercados de destino (Open Knowledge FAO, 2021).

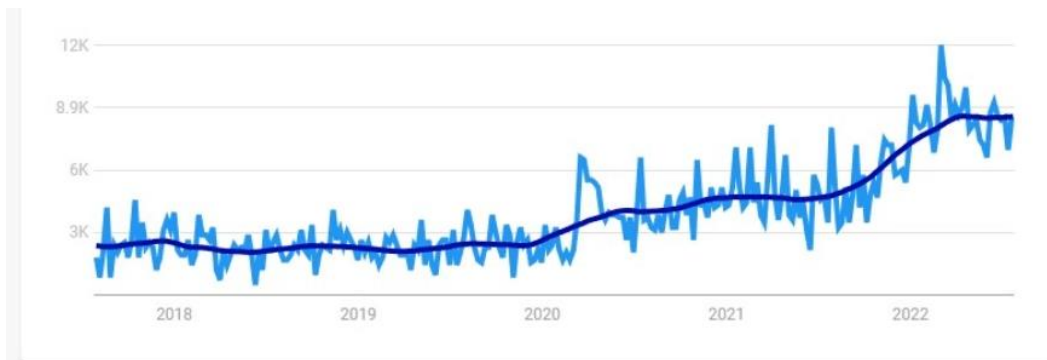
El manejo de estos descartes y pérdidas es crucial para la sostenibilidad del sector bananero en Guatemala, y existen iniciativas que buscan aprovechar estos descartes para la producción de subproductos como la harina de banano, lo que podría reducir el desperdicio y generar ingresos adicionales para los productores.

2.4 Aumento de tendencias sin gluten

A nivel mundial y en Guatemala, la demanda de productos sin gluten ha ido en aumento, impulsada por una mayor conciencia sobre la enfermedad celíaca y la sensibilidad al gluten. Los consumidores buscan cada vez más alimentos que se ajusten a sus necesidades dietéticas específicas, llevando a la innovación en el sector alimentario y el desarrollo de productos como panes, pastas y snacks sin gluten. Este cambio en las preferencias de los consumidores refleja una tendencia más amplia hacia dietas más saludables y conscientes (Godfrey, 2021).

La gráfica 2 muestra una tendencia ascendente clara en el volumen de búsquedas mensuales para productos sin gluten, reflejando un creciente interés a lo largo de los años. Desde 2018, ha habido fluctuaciones, pero la trayectoria general indica un aumento sostenido, con un pico significativo de interés que se manifiesta en el último año, donde las búsquedas aumentaron un 59%. Esto sugiere que la conciencia y la demanda de productos sin gluten están en alza, posiblemente debido a una mayor sensibilización sobre las alergias y sensibilidades al gluten, así como a un interés en estilos de vida y dietas más saludables (Johnson, 2022).

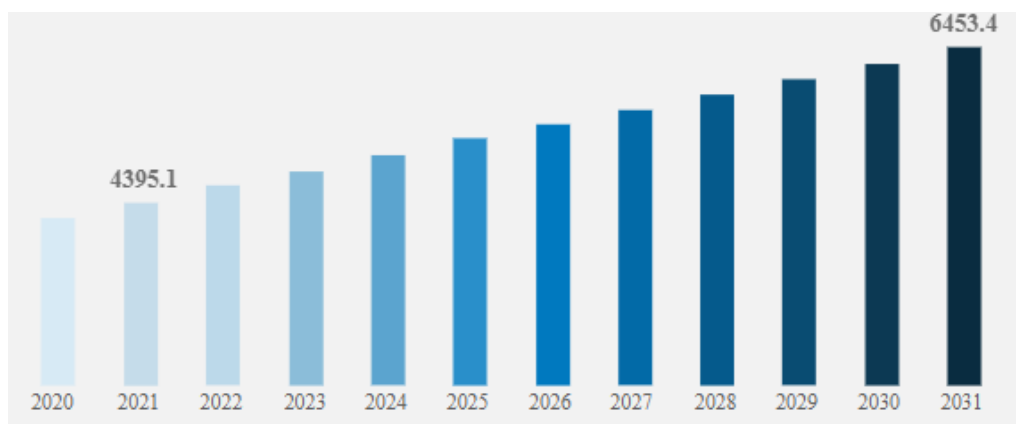
Figura 3. *Tendencia de productos sin gluten*



Nota. Adaptada de Jordi Bosch, (2023).

La gráfica 3 indica un crecimiento constante y robusto en el tamaño del mercado global de alimentos y bebidas sin gluten, desde el año 2020 con una valoración de aproximadamente 4395.1 millones de dólares hasta una proyección para el 2031 de 6453.4 millones de dólares (Business and Research, 2024). Este incremento progresivo refleja una creciente demanda de productos sin gluten, un cambio impulsado por un mayor reconocimiento de las necesidades dietéticas como la enfermedad celíaca y la sensibilidad al gluten, así como por un interés en opciones alimenticias percibidas como más saludables. La tendencia sugiere que la industria de productos sin gluten seguirá expandiéndose, potencialmente ofreciendo una mayor variedad y disponibilidad de productos para los consumidores.

Figura 4. *Global Gluten Free Foods and Beverage*



Nota. Adaptada de Business and Research, (2024).

2.5 Beneficios de la salud de productos sin gluten

Para las personas con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten, el consumo de productos sin gluten es esencial para evitar la respuesta inmunológica dañina provocada por el gluten (Fasano y Catassi, 2012). Además de su necesidad dietética, estos productos pueden ofrecer beneficios como una mejor digestión y una mayor variedad de nutrientes, especialmente cuando están enriquecidos con ingredientes como la chía, que aportan ácidos grasos omega-3, fibra y proteínas (Ulbricht y Windsor, 2011). La inclusión de harinas alternativas también puede ofrecer un perfil nutricional diverso en la dieta (Saturni, Ferretti, y Bacchetti, 2010).

Los productos diseñados específicamente para celíacos están formulados sin gluten, una proteína presente en el trigo y otros cereales como la cebada y el centeno. Estos productos son cruciales para personas con enfermedad celíaca, una condición autoinmune en la cual el consumo de gluten provoca daño al intestino delgado (Fasano y Catassi, 2012). Asimismo, son esenciales para individuos con sensibilidad al gluten no celíaca. Entre los sustitutos de harina más utilizados en estos productos se encuentran las harinas de arroz, almendra, coco y garbanzo (Thompson, 2009).

La harina de arroz es apreciada por su ligereza y versatilidad, siendo una de las opciones sin gluten más populares (Kadan, Bryant, y Miller, 2008). Por su parte, la harina de almendra es rica en proteínas y posee un sutil sabor dulce, lo que la hace ideal para repostería (Hager, 2012). La harina de coco, conocida por su bajo contenido en carbohidratos y su distintivo sabor, es excelente para hornear (Tobacman, 2003). En contraste, la harina de garbanzo se caracteriza por su sabor más intenso y su alto contenido de proteínas y fibra (Oomah, 2011).

En lo que respecta a la gama de productos disponibles, los panes sin gluten se ofrecen en diversas variantes como blanco, integral y multigrano, todos elaborados sin trigo ni otros cereales que contengan gluten. Además, existe una amplia selección de productos de pastelería sin gluten, que incluyen muffins, cupcakes y pasteles, todos preparados con alternativas de harina sin gluten. Los productos vienen desde pastas sin gluten, barras de cereales, chips, pretzels, pizzas hasta la sección de condimentos sin gluten (Case, 2005).

2.6 Estudios previos

Un estudio realizado por Garda María Rita, Alvarez María Sofía, Lattanzio María Betania, Ferraro Carolina¹, Colombo María Elena en 2012 investigó el papel de los hidrocoloides de semillas de chía y lino en la optimización de productos panificados libres de gluten. Este estudio apuntó a desarrollar y evaluar panificados enriquecidos con semillas molidas de lino y chía, mejorando sus características reológicas, vida útil y perfil nutricional.

Por otro lado, Valeria Del Castillo y colaboradores en 2009 exploraron la formulación de alimentos sin gluten para celíacos utilizando mezclas de harina de quínoa, arroz y maíz con almidones. Estos alimentos, que incluían panqueques y otros productos horneados, fueron evaluados en términos de composición química, actividad de agua, aceptabilidad y parámetros de textura, encontrando diferencias significativas en comparación con productos comerciales similares y demostrando una alta aceptabilidad. Los productos formulados en general aportan proteínas de buena calidad, poseen buenas características texturales y adecuados porcentajes de aceptabilidad para ser usados en la alimentación de pacientes celíacos.

En la Universidad San Ignacio de Loyola en 2018, se llevó a cabo un proyecto para elaborar tortillas a base de harina de yuca con sabor a espinaca o brócoli, enfocándose en las propiedades saludables de las verduras como valor agregado del producto. Este producto fue diseñado especialmente para personas interesadas en cuidar su salud y que valoran los ingredientes utilizados en los productos que consumen.

Finalmente, Matos Segura en 2013 realizó una investigación sobre la formulación y desarrollo de productos horneados libres de gluten a base de harina de arroz enriquecidos con proteínas. Este estudio abarcó tanto la evaluación de panes y magdalenas libres de gluten comerciales como el diseño de nuevas formulaciones, elaborados utilizando harina de arroz, integrando aspectos tecnológicos, poniendo especial énfasis en el rol de las proteínas sobre las propiedades reológicas de las masas formuladas y las características tecnológicas del producto final. El estudio reológico de las mezclas formuladas para elaborar magdalenas a base de harina de arroz demostró que las propiedades reológicas de las masas batidas estuvieron gobernadas por el tipo de proteína utilizada en cada formulación. En general, la presencia de clara de huevo confiere propiedades viscoelásticas a la masa-batida basada en harina arroz que permitieron obtener magdalenas con mejores características tecnológicas.

El objetivo del trabajo de Claudia Lucia Goebel Ferrari en 2023 fue obtener harina de legumbres utilizando tres variedades diferentes de semillas que fueron Poroto (*Vigna unguiculata*), Arveja (*Pisum sativum*) y Lenteja (*Lens culinaris*); con el fin de desarrollar nuevos productos alimenticios, funcionales y nutritivos. Finalmente, se desarrolló el producto y se realizó la evaluación sensorial del grado de preferencia existente entre los tres tipos de cracker elaborados con las respectivas harinas. Se valoraron atributos como color, sabor y textura. No existió una preferencia importante entre color y sabor; no obstante, sí hubo un cierto grado de preferencia en cuanto a la textura, resaltándose los crackers de harina de lenteja en este atributo.

La investigación que se presenta por Stephany Cayro Ortega en 2018 es un trabajo experimental que se puede definir como un trabajo científico tecnológico en el área de Tecnología de Cereales y de Panificación que consiste en “Elaboración de pan sin gluten en base a harinas de arroz (*oryza sativa*), soya (*glycine max*) y lenteja malteada (*lens culinaris*), diseño y evaluación de un fermentador industrial. La que tiene como finalidad evaluar las características de la harina de lenteja malteada para poder obtener un pan libre de gluten aportando a éste propiedades nutricionales.

Fabián Andrés Orozco Plaza; Kennya María Pereira Ruíz realizaron una investigación de la elaboración de harina de banano fortificada con berro en 2023. La presente investigación tiene como objetivo mejorar los beneficios de la harina de banano, fortificándola con la ayuda del berro. Una vez concluido el proceso de elaboración de la harina, se obtuvo que la harina de banano reforzada con berro presenta un aumento de sus propiedades vitamínicas, siendo mejor para el consumo humano.

En 2019, Maradiegue Yarleque, David Alonso, Rossi Angeles, Andrea Chiara Antuaneth, Salazar Livia, Diego Martin, Baca Rivas, Anne Lea, Bellido Rios y Dante Arturo desarrollaron la idea de negocio de la empresa Perú Agroindustrias S.A.C., la cual se dedica a la producción, comercialización y distribución de pan de molde sin gluten a base de harina de pituca; el producto tendrá la marca “Tantaro”, está creado para satisfacer la demanda y necesidad de personas que buscan una alimentación más saludable y nutritiva como los celíacos que son intolerantes al gluten y para quienes desean tener un pan de fácil digestión como una opción diferente en su dieta diaria.

Investigaciones recientes destacan los beneficios nutricionales tanto de la chía como del banano verde. La chía (*Salvia hispánica*) es reconocida por su alto contenido de ácidos grasos omega-3, fibra dietética, antioxidantes y proteínas, los cuales contribuyen significativamente a la salud cardiovascular, el control glucémico y la función digestiva (Olivos-Lugo, 2021). Por su parte, el banano verde (*Musa spp.*) es una fuente importante de almidón resistente, un compuesto con propiedades prebióticas que favorece la regulación del azúcar en sangre, la salud intestinal y el control del peso corporal (Hernández-Alonso, 2020).

La combinación de estos ingredientes en una harina representa una solución innovadora, no solo para crear productos sin gluten con alto valor nutricional, sino también para promover una economía circular al aprovechar subproductos agrícolas y maximizar sus propiedades funcionales. Este enfoque responde tanto a las necesidades de los consumidores preocupados por la salud como a la creciente demanda de alimentos sostenibles y funcionales.

Basado en la información anterior, se puede observar que existen suficientes indicios para establecer que el desarrollo de una harina a base de banano y chía puede ser una excelente solución para tener una economía circular y también aprovechar los aspectos funcionales de ambos productos.

3. Justificación

Guatemala se ha posicionado como uno de los principales exportadores de banano a nivel mundial, alcanzando la tercera posición. El sector bananero ha duplicado su producción en la última década. Este desarrollo ha sido posible gracias a la expansión de las áreas de cultivo y la implementación de un sistema de producción intensivo. Estos avances se han visto favorecidos por las excepcionales condiciones de microclimas que presenta el país, las cuales han permitido alcanzar algunas de las productividades más altas del mundo con costos de producción competitivos (Cantrelle, 2020). Históricamente, la industria bananera en Guatemala ha sido influenciada por grandes multinacionales, incluyendo la *United Fruit Company*, conocida posteriormente como Chiquita (COHA, 2010).

En cuanto a la localización geográfica de la producción, se concentra en la costa sur de Guatemala. Esta área se beneficia de un clima tropical caracterizado por temperaturas constantes y abundantes precipitaciones, condiciones esenciales para el desarrollo óptimo del banano. En las últimas décadas, las plantaciones bananeras en la región han experimentado una notable expansión, duplicando su superficie en apenas diez años, lo que refleja el dinamismo y la capacidad de adaptación del sector (Helgi Library, 2024).

En 2022, la producción de banano en Guatemala alcanzó su máximo histórico con 4,763 kilotoneladas, lo que subraya el crecimiento sostenido y la relevancia de este sector para la economía del país. Actualmente, Guatemala se clasifica como uno de los más importantes productores de banano a nivel mundial, ocupando el octavo lugar entre 98 en términos de volumen de producción (FAO, 2023).

La integración del banano como ingrediente clave en la producción de harina representa una estrategia significativa para agregar valor comercial a este cultivo. Dada su alta disponibilidad y su perfil nutricional rico en minerales, vitaminas y carbohidratos, el banano ofrece una excelente oportunidad para desarrollar productos alimenticios innovadores y saludables. Al transformar esta fruta en harina, se abre la puerta a su uso en una amplia gama de productos sin gluten, desde panificados hasta repostería, respondiendo así a la creciente demanda de alternativas alimenticias más saludables y diversificadas.

Esta valorización no solo implica un potencial incremento en los márgenes de beneficio para los productores y fabricantes, sino que también fortalece la cadena de valor agrícola, estimulando la economía local y ofreciendo opciones nutricionalmente ricas.

En paralelo, el mercado de productos sin gluten está experimentando un rápido crecimiento, con una tasa anual compuesta estimada de 9.8% hasta 2030 (Grand View Research, 2023). Este dinamismo se ve impulsado por innovaciones significativas, como la mejora en la vida útil de los productos mediante tecnologías de microencapsulación (Sharma, 2022) y una diversificación en la oferta de productos, que ahora incluye panadería, *snacks*, pastas y comidas preparadas (Gluten-Free Products Market Report, 2024).

La creciente demanda de productos sin gluten, que incluye a Guatemala, es un reflejo de la creciente prevalencia de condiciones como la celiaquía, que ha estimulado un cambio hacia dietas sin gluten. En este contexto, las harinas alternativas, como la harina de banano y la chía, no sólo ofrecen soluciones seguras para los afectados por la celiaquía o la sensibilidad al gluten, sino que también contribuyen a enriquecer la dieta general con una mayor diversidad nutricional. Estos productos desempeñan un papel crucial en el fortalecimiento de la industria alimentaria local, al diversificar la oferta de productos basados en recursos endémicos y adaptados a las necesidades nutricionales de la población.

Finalmente, es importante destacar que los productos sin gluten han cobrado una importancia considerable en el mercado global. Esto se debe en parte al aumento en el diagnóstico de enfermedades relacionadas con el gluten, como la enfermedad celíaca y la sensibilidad al gluten, y también por un mayor interés general en opciones saludables de diferentes fuentes (Newberry et al., 2017). A pesar de ser esenciales para las personas con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten, estos productos tienden a ser más costosos que sus equivalentes con gluten, lo que puede limitar su accesibilidad para algunos consumidores.

La chía, conocida científicamente como *Salvia hispánica*, es un superalimento con una serie de beneficios y características tecnológicas que la hacen especialmente valiosa en la industria alimentaria. Nutricionalmente, las semillas de chía son una excelente fuente de ácidos grasos omega-3, fibra dietética, proteínas, antioxidantes y minerales como calcio, magnesio y hierro. Estos componentes las convierten en un ingrediente ideal para productos orientados a la salud y la nutrición. Tecnológicamente, las semillas de chía poseen propiedades únicas de absorción de agua y formación de gel, lo que las hace útiles como agentes espesantes y estabilizantes en una variedad de formulaciones de alimentos, desde bebidas hasta productos de panadería y *snacks*. Además, su capacidad de gelificación puede

ser empleada para crear texturas deseables en alimentos sin necesidad de aditivos artificiales, favoreciendo así la demanda de productos naturales y limpios (Salgado-Cruz, 2013).

La presente investigación tiene como objetivo principal desarrollar y caracterizar harinas elaboradas a partir de banano (*Musa cavendish*) y semillas de chía (*Salvia hispánica*). Estas harinas fueron propuestas como alternativas para la elaboración de productos libres de gluten, con la intención de introducirlas en el mercado guatemalteco. El estudio exploró el potencial de la harina combinada de banano y chía para la creación de una variedad de productos sin gluten, desde atoles hasta productos de panificación. Además, se investigó el nivel óptimo de maduración del banano cavendish para ser utilizado en estos productos, asegurando la máxima calidad y funcionalidad de la harina resultante. Este enfoque no solo buscó ofrecer nuevas opciones para consumidores con restricciones dietéticas, sino también añadir valor a los productos agrícolas locales, promoviendo así la diversificación de la industria alimentaria en Guatemala.

Esta investigación aborda múltiples objetivos de desarrollo sostenible, ofreciendo beneficios económicos al proporcionar nuevas oportunidades de mercado para los productores locales de banano, lo que ayuda a estabilizar sus ingresos mediante el aprovechamiento de productos que de otro modo serían desechados. A nivel ambiental, contribuye a la reducción del desperdicio de alimentos, minimizando el impacto ambiental asociado con la descomposición de los desechos orgánicos que generan gases de efecto invernadero. Además, promueve la salud y el bienestar al desarrollar productos alimenticios seguros y nutritivos para personas con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten, mejorando así su calidad de vida. La investigación también fomenta la innovación y mejora la infraestructura de producción alimentaria en Guatemala, estimulando la inversión en nuevas tecnologías y procesos para la diversificación de la industria. En conjunto, estos esfuerzos fortalecen la cadena de valor agrícola, estimulan la economía local y ofrecen opciones nutricionales, resaltando la relevancia de la investigación para el desarrollo sostenible.

4. Objetivos

4.1 General

- Caracterizar mezclas de harinas de banano (*Musa cavendish*) y chía (*Salvia hispánica*), para su uso en productos libres de gluten.

4.2 Específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de las mezclas de harina de banano (*Musa cavendish*) y chía (*Salvia hispánica*).
- Evaluar la funcionalidad de las mezclas de harinas de banano (*Musa cavendish*) y chía (*Salvia hispánica*) en la formulación de productos libres de gluten.
- Evaluar las características sensoriales y de aceptación de productos elaborados con mezclas de harina de banano (*Musa cavendish*) y chía (*Salvia hispánica*).

5. Marco teórico

5.1 *Design thinking*

Es un enfoque iterativo centrado en el usuario para innovar y resolver problemas de diseño de productos. Implica una serie de etapas que incluyen:

- **La empatía con los usuarios**
 - El objetivo de esta etapa es entender profundamente las necesidades, experiencias y motivaciones de los usuarios. Se realiza a través de investigaciones, como entrevistas, observaciones y análisis de cómo los usuarios interactúan con los productos y servicios. El conocimiento adquirido ayuda a identificar los problemas y necesidades reales de los usuarios (Brown, 2009).
- **La definición de problemas**
 - En esta fase, se sintetizan las observaciones obtenidas durante la etapa de empatía para formular claramente el problema a resolver. Se busca definir un punto de vista centrado en el usuario, estableciendo una declaración clara del problema que refleje las necesidades y los desafíos de los usuarios identificados en la primera etapa (Kelley, 2013).
- **La ideación**
 - Aquí se generan ideas que puedan resolver el problema definido. Se emplean técnicas de *brainstorming* y otras metodologías de generación de ideas para explorar un amplio rango de posibles soluciones. El objetivo es fomentar el pensamiento creativo y libre de restricciones, permitiendo que surjan soluciones innovadoras (Knapp, 2016).
- **La creación de prototipos**
 - Esta etapa implica la creación de prototipos rápidos y experimentales de las ideas seleccionadas. Los prototipos pueden variar en su nivel de detalle, desde simples dibujos o maquetas hasta versiones funcionales del producto. La intención es hacer tangibles las ideas, permitiendo a los diseñadores y usuarios interactuar con ellas y obtener retroalimentación (Kolko, 2015).

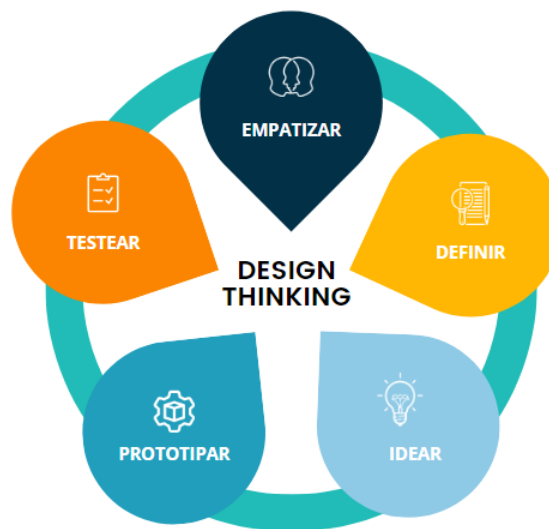
- **Las pruebas**

Se prueban los prototipos con usuarios reales para evaluar su efectividad y recoger *feedback*. Esta retroalimentación es crucial para entender qué aspectos funcionan bien y cuáles necesitan ser mejorados o rediseñados. Dependiendo de los resultados, puede ser necesario volver a cualquiera de las etapas anteriores para iterar y refinar la solución (Brown, 2009).

Este proceso fomenta la colaboración interdisciplinaria y promueve una cultura de experimentación y aprendizaje rápido.

Design thinking puede usarse para asegurarse de que los productos alimenticios no solo sean técnicamente viables y económicamente factibles, sino que también proporcionen una experiencia de usuario excelente y satisfagan necesidades y deseos reales.

Figura 5. *Design thinking*



Nota. Elaboración propia con información de Brown, (2009)

La metodología de *Design thinking* es un enfoque estructurado para la solución creativa de problemas que se puede utilizar para informar la práctica docente o enseñar a los estudiantes como un marco para proyectos del mundo real. Es un proceso iterativo y no lineal que incluye actividades como análisis de contexto, pruebas con usuarios, detección y enmarcado de problemas, ideación y generación de soluciones, pensamiento creativo, bocetos y dibujo, prototipado y evaluación. Las características centrales del *Design thinking*

incluyen la capacidad de manejar diferentes tipos de problemas de diseño y la colaboración interdisciplinaria. Al igual que la Gestión total de calidad (TQM, por sus siglas en inglés), es una tecnología social que combina técnicas prácticas y creatividad, ayudando a los innovadores a liberarse de tendencias contraproducentes que obstruyen la innovación.

5.2 Metodología de la casa de calidad

En el desarrollo de productos alimenticios, el método de la Casa de la calidad es una herramienta de planificación de productos que muestra cómo las necesidades de los clientes se relacionan directamente con los métodos que las empresas pueden utilizar para satisfacer esas necesidades. Este enfoque es parte de la implementación de la función de calidad (QFD, por sus siglas en inglés) y utiliza una serie de matrices para garantizar la calidad durante el desarrollo de productos y servicios. La matriz más importante en QFD es conocida como la Casa de la Calidad, que se asemeja al contorno de una casa con techo y cuerpo. En ella se comienza por separar las necesidades de los clientes de los requisitos técnicos y se evalúan ambos factores independientemente, para luego correlacionarlos y planificar su implementación. Este proceso se construye idealmente en colaboración entre los departamentos de marketing, investigación y producción (ASQ, 2024).

Figura 6. Casa de calidad

		Functional Requirements (How's)						
1: low, 5: high Customer importance rating	Customer Requirements - (What's)						Weighted Score	
5							0	
4							0	
4							0	
3							0	
3							0	

Correlation:

+	-	-
Positive	No correlation	Negative

Relationships:

9	3	1	
Strong	Moderate	Weak	None

Competitive evaluation (1: low, 5: high)

Nota: elaboración propia con información de ASQ, (2024)

Las metodologías de *Design thinking* y la Casa de la calidad emergen como paradigmas complementarios y cruciales en el ámbito de la innovación y el desarrollo de productos alimenticios. El *Design thinking*, con su enfoque iterativo y centrado en el usuario, proporciona un marco flexible para la resolución creativa de problemas, enfatizando la empatía con el consumidor, la experimentación ágil y la colaboración multidisciplinaria (Brown, 2009; Kelley, 2013). Por otro lado, la Casa de la calidad, como componente fundamental del Despliegue de la función de calidad (QFD), ofrece una estructura metodológica rigurosa para alinear las demandas del mercado con las capacidades técnicas de la organización (ASQ, 2024). La sinergia entre estos enfoques facilita la creación de productos que no solo son técnicamente viables y económicamente sostenibles, sino que también responden de manera precisa a las necesidades y expectativas del consumidor. Esta integración metodológica posiciona a las empresas del sector alimentario para navegar eficazmente en un entorno de innovación cada vez más complejo, garantizando que los nuevos productos sean tanto innovadores como alineados con las exigencias del mercado contemporáneo. Futuras investigaciones podrían explorar la eficacia de la implementación conjunta de estas metodologías en diversos segmentos de la industria alimentaria, así como su impacto en la satisfacción del consumidor y el éxito comercial a largo plazo.

5.3 Banano y chía como ingredientes

5.3.1. Banano

Generalidades

El banano (*Musa*) es una fruta tropical perenne que se cultiva ampliamente en regiones ecuatoriales alrededor del mundo. Se destaca por su rápido crecimiento y su capacidad de producir grandes cantidades de nutrientes esenciales en un corto período de tiempo. La fruta es un alimento básico en muchos países y también se utiliza como planta ornamental en jardines y parques (Smith, 2018).

El banano se caracteriza por sus racimos de frutos con un tamaño promedio que oscila entre 20 a 25 centímetros de longitud y un diámetro aproximado de 4 centímetros. Su cáscara es bastante robusta y, cuando alcanza la madurez, la fruta se endulza, lo que la hace apta para ser consumida en crudo o cocida. En cambio, cuando el banano está verde, su sabor no es dulce, por lo cual generalmente se cocina antes de consumirse. En términos de contenido de

azúcar, medido en grados Brix, un banano maduro registra entre 28 y 30 °Brix, mientras que uno verde tiene entre 5 y 8 °Brix, según estudios realizados por Ayala Torres y colaboradores en 2003 y Quiceno y otros en 2014.

El banano orgánico, cuando está verde, es rico en carbohidratos y almidón, los cuales se mantienen incluso después de ser procesados en harina, confiriéndole así un alto valor nutricional a este producto derivado (Colmenares, 2009). Nutricionalmente, el banano es una fuente de compuestos fenólicos como taninos, catequina, epicatequina, lignina y antocianinas, y también es rico en β -caroteno y varias vitaminas entre las que se incluyen A, B, C y E. Además, contiene minerales esenciales como el potasio y el fósforo (Sulaiman, 2011), y otros elementos como azufre, calcio, cloro, hierro, magnesio, silicio, sodio y manganeso (Mostacero León, 2011), tal como se muestra en la tabla 1.

Cuadro 1. *Composición química y bioquímica del banano en estado inmaduro y maduro por cada 100 g de peso*

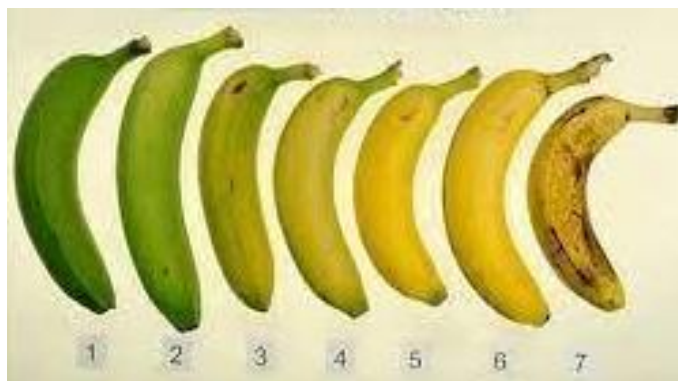
Componentes	Unidad	Banano Inmaduro	Banano maduro
Energía	Kcal	91	122
Agua	G	63	65
Proteína	G	0,8	1,3
Lípidos totales	G	0,1	0,37
Carbohidratos	G	24,3	32
Fibra dietaria	G	5,41	2,0 - 3,4
Na	mg		4
K	mg		500
Ca	mg	7	3,0
Mg	mg	33	35,0
P	mg	35	30,0
Fe	mg	0,5	0,6
Cu	mg	0,16	
Zn	mg	0,1	
Mn	mg	15	
Eq. Betacaroteno		0,03 - 1,20	390 - 1035
Vitamina E	mg		
Vitamina C	mg	20	20

Nota. Adaptación de Casallas (2014).

La figura 7 ilustra una "Tabla de Madurez del Banano" que presenta un espectro visual del proceso de maduración de los bananos, desde el estado completamente verde en el número 1 hasta el completamente maduro y amarillo con manchas marrones en el número 7. Esta secuencia revela no solo el cambio de color característico a medida que los bananos

maduran, sino también sugiere las transformaciones bioquímicas que tienen lugar, como el incremento del contenido de azúcares y la disminución de almidón, lo que impacta directamente tanto en el sabor como en la textura de la fruta. Tal gradación es esencial para agricultores, distribuidores y consumidores para determinar el punto óptimo de consumo o procesamiento en productos derivados como la harina de banano.

Figura 7. *Tabla de Madurez del Banano.*



Nota. Adaptación de Osorio y Ramírez, (s.f)

El cultivo del banano en Guatemala es una de las actividades agrícolas más significativas, contribuyendo notablemente a la economía del país. Guatemala se distingue como uno de los principales exportadores de banano en la región centroamericana, aprovechando sus condiciones climáticas ideales que favorecen el desarrollo de plantaciones bananeras en diversas partes del país, especialmente en la costa sur. El sector bananero no solo impulsa la economía a través de las exportaciones, sino que también genera miles de empleos directos e indirectos, desempeñando un papel crucial en el sustento de muchas comunidades rurales (MAGA, 2023).

La industria bananera guatemalteca ha evolucionado considerablemente desde sus inicios, implementando tecnologías avanzadas en el cultivo y la gestión de plantaciones para mejorar la eficiencia y la productividad. Las prácticas agrícolas modernas, incluyendo el uso de sistemas de riego y técnicas de cultivo sostenible, han permitido a Guatemala mantener altos estándares de calidad en sus productos bananeros, haciéndolos competitivos en el mercado internacional. Además, el país ha trabajado en fortalecer las medidas de

bioseguridad y manejo ambiental para mitigar el impacto de enfermedades y optimizar el uso de recursos naturales (Miranda, J. A. L).

Sin embargo, la industria bananera guatemalteca enfrenta varios desafíos, incluyendo la fluctuación de precios en los mercados internacionales y la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos, los cuales pueden afectar significativamente la producción (FAO, 2022). Estos factores exigen una gestión cuidadosa y estrategias adaptativas por parte de los productores y el gobierno para asegurar la sostenibilidad del sector. Asimismo, la industria ha sido objeto de críticas relacionadas con las condiciones laborales, lo que ha impulsado a varias empresas y cooperativas a implementar políticas de responsabilidad social y certificaciones que promueven prácticas laborales justas y el desarrollo comunitario

En términos de impacto social y económico, el banano es más que un producto de exportación para Guatemala; es una fuente vital de desarrollo y estabilidad para muchas familias. Los programas de apoyo a pequeños productores y la promoción de prácticas agrícolas responsables son esenciales para maximizar los beneficios que la industria puede ofrecer, asegurando que contribuya positivamente tanto a la economía nacional como al bienestar de sus ciudadanos (Gobierno de Guatemala, 2022).

Origen histórico

El banano, uno de los cultivos más antiguos conocidos por el hombre, tiene su origen en el Sudeste Asiático, en regiones como Malasia, Indonesia y Filipinas. Se cree que su domesticación ocurrió hace miles de años, y desde entonces, se ha diseminado a otras partes del mundo. Los registros arqueológicos y genéticos sugieren que el cultivo del banano comenzó a expandirse fuera de Asia hace aproximadamente 4,000 años, llegando a Madagascar y gradualmente a la costa este de África (Ruiz, J. F. M., 2006).

El banano llegó al continente americano con los primeros exploradores y colonizadores europeos en el siglo XV y XVI. Los portugueses y españoles introdujeron el banano en el Caribe y América Central, donde encontró condiciones climáticas ideales para su cultivo. Guatemala, debido a su clima tropical y suelos fértiles, se convirtió en un lugar propicio para el desarrollo de extensas plantaciones bananeras, que comenzaron a florecer en el siglo XIX.

El desarrollo de la industria bananera en Guatemala estuvo estrechamente ligado a la intervención de compañías extranjeras, especialmente la *United Fruit Company*, que jugó un

papel dominante en la expansión de las plantaciones bananeras en América Central. Esta compañía estableció una extensa red de infraestructura, incluyendo ferrocarriles y puertos, que facilitaron la exportación masiva de bananos a los mercados internacionales, especialmente a Estados Unidos (Ruiz, J. F. M., 2006).

A lo largo del siglo XX, el banano se consolidó como uno de los principales productos de exportación de Guatemala, aunque la industria ha enfrentado numerosos desafíos sociales y ambientales. La dependencia económica de este monocultivo también ha llevado a debates sobre la diversificación agrícola y el desarrollo sostenible en las regiones bananeras del país (Voora, 2020).

Presentaciones y variedades

En Guatemala se cultivan diversas variedades de banano, cada una adaptada a las condiciones específicas de clima y suelo del país. Las variedades más comunes incluyen el Cavendish, que domina el mercado internacional debido a su resistencia al transporte y su larga vida útil. Esta variedad es apreciada por su sabor dulce y su pulpa firme, características que la hacen ideal para la exportación (Ciro Velásquez, Montoya López, y Millán Cardona, 2005).

Además del Cavendish, en Guatemala se cultivan variedades como el Gros Michel, que históricamente fue la variedad dominante hasta que fue casi erradicada por la enfermedad de Panamá en la década de 1950. Aunque más susceptible a enfermedades, el Gros Michel sigue siendo cultivado en algunas áreas debido a su sabor y textura superiores. Otras variedades locales incluyen el Apple banana o Manzano, conocido por su sabor a manzana y plátano, y el Red banana, que se distingue por su piel roja y su pulpa cremosa (Ciro Velásquez, Montoya López, y Millán Cardona, 2005).

Composición química y nutricional

El banano es una fuente excepcional de nutrientes esenciales, ofreciendo una combinación única de energía, vitaminas y minerales con varios beneficios para la salud. Químicamente, los bananos son ricos en potasio, un mineral crucial para la regulación de la presión arterial y el correcto funcionamiento muscular y nervioso (Cleveland Clinic, 2024). Además, proporcionan una buena cantidad de vitamina C, que fortalece el sistema inmunológico y mejora la absorción de hierro.

Desde el punto de vista de los macronutrientes, los bananos contienen carbohidratos en forma de azúcares simples, como glucosa, fructosa y sacarosa, especialmente cuando están maduros. Estos azúcares hacen que sea una fuente rápida de energía, ideal para consumir antes o después del ejercicio. También proporcionan fibra de forma moderada, que ayuda a mejorar la digestión y puede contribuir a la prevención de enfermedades cardiovasculares al mantener niveles óptimos de colesterol (Castillo et al., 2011).

Los bananos también contienen varios antioxidantes y fitoquímicos, incluyendo dopamina y catecolaminas. Aunque estos compuestos tienen un impacto mínimo en la química cerebral cuando se consumen en forma de fruta, contribuyen a las propiedades antioxidantes del banano (Pereira y Maraschin, 2015). Además, los bananos tienen un bajo contenido de grasa y proteína, lo que los hace adecuados para dietas que requieren bajo consumo de estos macronutrientes.

En conjunto, el perfil nutricional del banano lo convierte en una fruta valiosa para diversas necesidades dietéticas y un elemento esencial en una dieta equilibrada. Su versatilidad y beneficios para la salud aseguran que siga siendo una opción popular en dietas en todo el mundo.

5.3.2. Chía

Generalidades

La chía (*Salvia hispanica* L.) es reconocida en Guatemala como un cultivo de gran valor nutricional y económico. Originaria de América Central, la chía ha sido cultivada y utilizada en Guatemala por siglos, tanto por su capacidad alimenticia como por sus aplicaciones en medicina tradicional. En la actualidad, su cultivo se ha expandido debido al creciente interés global en alimentos funcionales y superalimento, posicionando a Guatemala como uno de los países líderes en la producción de chía dentro de la región centroamericana (Rovati, A., Escobar, E., y Prado, C., 2012).

El clima y la topografía de Guatemala son ideales para el cultivo de chía, permitiendo producciones de alta calidad que son bien valoradas tanto en el mercado local como internacional. Los agricultores guatemaltecos han adoptado técnicas de cultivo sostenibles para mejorar la calidad de sus semillas y asegurar la sostenibilidad del medio ambiente. Esto ha incluido la adopción de prácticas orgánicas y el uso mínimo de pesticidas, respondiendo

a la demanda de los consumidores por productos más naturales y saludables (Rovati, A., Escobar, E., y Prado, C., 2012).

Además, la chía en Guatemala ha ayudado a diversificar la economía agrícola del país, ofreciendo una alternativa a los cultivos tradicionales como el café y el azúcar. La exportación de chía ha contribuido significativamente a la economía local, generando ingresos importantes para los agricultores y estimulando el desarrollo de infraestructura en áreas rurales. Este cultivo también ha promovido la creación de empleos, especialmente en las regiones donde las opciones laborales son limitadas (Rovati, A., Escobar, E., y Prado, C., 2012).

A nivel comunitario, el cultivo de chía ha tenido un impacto positivo en la nutrición. Su inclusión en la dieta local ha sido promovida por organizaciones de salud y educación, dada su rica composición de nutrientes esenciales. Los programas educativos sobre los beneficios de la chía han incrementado su uso en hogares guatemaltecos, ayudando a mejorar la dieta general de la población y a combatir problemas de salud pública como la malnutrición y enfermedades crónicas relacionadas con la dieta (Muñoz, Cobos, Diaz, y Aguilera, 2012).

Origen histórico

La chía es originaria de Mesoamérica, con una historia de cultivo que data de tiempos precolombinos. Las civilizaciones azteca y maya, en particular, valoraban altamente las semillas de chía por sus propiedades nutricionales y medicinales. Estas civilizaciones utilizaban la chía como un componente esencial de su dieta y la empleaban en una variedad de aplicaciones, desde medicinas hasta en rituales religiosos (López, González Huerta., Cruz Torrez, Sangerman-Jarquín, Orozco de Rosas, y Rubí Arriaga, 2017).

Los registros históricos indican que la chía era tan valiosa que se utilizaba como moneda y ofrenda en rituales religiosos. Los aztecas, por ejemplo, ofrecían semillas de chía a sus dioses durante ceremonias y las utilizaban para pagar tributos a la nobleza y al clero. Este alto valor cultural y económico subraya la importancia de la chía en las sociedades mesoamericanas antiguas (Wellness, 2024).

Después de la conquista española, el cultivo de chía declinó debido a la introducción de cultivos europeos y las restricciones impuestas por los colonizadores a los cultivos indígenas. No fue hasta recientemente, con el resurgimiento global del interés en los superalimentos, que la chía comenzó a recuperar su popularidad y a reintroducirse en la

agricultura moderna, tanto en sus regiones originarias como en otras partes del mundo (Veluz, 2024).

Aunque la chía fue marginada durante muchos siglos, investigaciones recientes y la promoción de su valor nutricional han llevado a un renacimiento en su cultivo y uso. Hoy en día, la chía es valorada mundialmente por sus propiedades saludables, y Guatemala ha jugado un papel importante en su revitalización y comercio global (Wellyme, 2024).

Presentaciones y variedades

Las semillas de chía no presentan una amplia diversidad varietal como otros cultivos, pero existen diferencias principalmente en el color de las semillas, que pueden ser blancas, negras o grises (Deavita, 2023). Estas variaciones son mínimas y no afectan significativamente el perfil nutricional o las aplicaciones culinarias de la semilla. La calidad de la chía se mide más bien por la pureza y la ausencia de impurezas, así como por su capacidad para germinar.

En términos de variedades, la chía se presenta en dos tipos principales según el color de sus semillas: la chía blanca y la chía negra. Aunque ambas variedades son nutricionalmente similares, la chía blanca a menudo es preferida en el mercado por su color, que tiende a ser menos visible cuando se mezcla con otros alimentos. No obstante, la elección entre chía blanca y negra generalmente se basa en preferencias personales o estéticas, más que en diferencias significativas en su composición o beneficios para la salud (López, González, Cruz, Sangerman-Jarquín, Orozco de Rosas, y Rubí Arriaga, 2017).

La diversidad genética entre las plantas de chía es relativamente limitada. Esto se debe a que la chía no ha sido objeto de estos intensos programas de mejoramiento que otros cultivos. Sin embargo, investigaciones en curso están explorando cómo la diversidad genética de la chía podría optimizarse para mejorar su resistencia a enfermedades y su adaptabilidad a diversos entornos agrícolas, lo que podría eventualmente llevar al desarrollo de nuevas variedades (Gupta, 2023).

Las variedades de chía también se pueden clasificar según su adaptabilidad a distintas condiciones ambientales. Por ejemplo, algunas variantes son más tolerantes a la sequía, lo cual es crucial para su cultivo en regiones áridas. Esta adaptabilidad asegura que la chía pueda ser cultivada en una gama más amplia de climas, lo que contribuye a la expansión de su cultivo en áreas no tradicionales.

A nivel comercial, la distinción entre las variedades de chía es menos relevante que en otros cultivos, debido a que las propiedades que los consumidores buscan —alto contenido de omega-3, fibra y proteínas— son comunes a todas las variantes (Reyes-Caudillo, 2008). Esto simplifica la comercialización y la producción, permitiendo a los agricultores concentrarse más en la calidad y pureza del producto final que en la selección de variedades específicas.

Composición química y nutricional

La chía es altamente valorada por su excepcional perfil nutricional. Estas semillas son una fuente rica de ácidos grasos omega-3, específicamente ácido alfa-linolénico (ALA), que es esencial para la salud cardiovascular. Este alto contenido de omega-3 hace de la chía un superalimento especialmente atractivo para quienes buscan mejorar o mantener su salud cardiovascular a través de la dieta (Di Sapio, O., Bueno, M., Busilacchi, H., y Severin, C., 2008).

El mucílago de la chía (*Salvia hispánica* L.) es una sustancia viscosa rica en fibra soluble e insoluble, así como en polisacáridos complejos, que le otorgan propiedades funcionales únicas. La fibra soluble, que constituye la mayor proporción del mucílago, está formada por polisacáridos como arabinosilano y glucanos, los cuales tienen una notable capacidad para formar geles al hidratarse. Esto favorece la retención de agua, mejora la textura y estabiliza emulsiones en alimentos, propiedades fundamentales en la elaboración de productos libres de gluten (Ixtaina et al., 2011; Capitani et al., 2012). Por otro lado, la fibra insoluble, compuesta principalmente por hemicelulosa y celulosa, aporta volumen y mejora el tránsito intestinal, contribuyendo a la funcionalidad digestiva (Hernández-Alonso et al., 2020).

En cuanto a los carbohidratos, el mucílago está compuesto por polisacáridos complejos, como xilosa, glucosa, manosa y galactosa, que forman redes tridimensionales capaces de retener agua y actuar como agentes gelificantes y espesantes, similares a las gomas xantana y guar (Olivos-Lugo et al., 2010). Estos carbohidratos no son digeribles por enzimas humanas, clasificándose como prebióticos que promueven el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino, además de contribuir a un bajo índice glicémico en los alimentos (Fuentes-Zaragoza et al., 2011). Estas características hacen del mucílago de la chía un ingrediente clave para mejorar la estabilidad estructural, la humedad y la textura en

productos horneados sin gluten, además de enriquecerlos nutricionalmente (Capitani et al., 2012; Ullah et al., 2016).

5.3.3. Gluten

Generalidades

En Guatemala, como en muchas partes del mundo, el gluten es un componente integral de la dieta tradicional, predominante en productos derivados del trigo, cebada y centeno. El gluten es una proteína compleja valorada en la industria alimentaria por su capacidad para dar elasticidad y textura a los productos horneados, como el pan y la repostería. Sin embargo, en años recientes, ha aumentado la conciencia sobre los problemas de salud asociados al consumo de gluten, particularmente entre individuos con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten no celíaca (Biesiekierski, 2015).

La percepción del gluten en Guatemala está evolucionando debido a un creciente enfoque en la salud y el bienestar. Los consumidores están cada vez más informados sobre cómo los alimentos afectan su salud, lo que ha llevado a un aumento en la demanda de productos sin gluten. Esta tendencia es apoyada por el aumento de establecimientos que ofrecen opciones sin gluten y la disponibilidad de estos productos en supermercados y tiendas especializadas (Pellegrini, y Agostoni, 2015).

A nivel médico y nutricional, el gluten es objeto de estudios e investigaciones en Guatemala, con profesionales de la salud promoviendo una mayor comprensión de las condiciones relacionadas con el gluten. Este aumento de la conciencia también está impulsando cambios en las prácticas culinarias de los hogares, con más familias optando por integrar alternativas sin gluten en su dieta diaria como una medida de precaución o para mejorar la calidad de vida de sus miembros con sensibilidad al gluten (Lamacchia et al., 2014).

Las iniciativas de educación sobre el gluten y sus efectos han comenzado a surgir, dirigidas tanto a consumidores como a profesionales de la alimentación. Estas iniciativas buscan proporcionar información precisa y prácticas recomendadas para manejar la dieta en entornos tanto domésticos como profesionales, enfatizando la importancia de la manipulación adecuada de alimentos para evitar la contaminación cruzada en cocinas que preparan productos tanto con gluten como sin gluten (Ciclitira et al., 2019).

Origen histórico

El gluten, específicamente en su uso culinario y agrícola, tiene sus orígenes en las antiguas civilizaciones del Creciente Fértil, donde el cultivo de cereales como el trigo comenzó hace más de 10,000 años. Estos cereales, fundamentales para el desarrollo de estas civilizaciones, eran apreciados no solo por su capacidad para ser almacenados durante largos períodos sino también por sus propiedades nutricionales y versatilidad culinaria (Parada, A., y Araya, M. (2010).

Con la expansión de estas civilizaciones y sus prácticas agrícolas, el trigo y otros cereales se diseminaron por Europa y Asia, llevando consigo el gluten como componente esencial para la panificación. La capacidad del gluten para retener gases y proporcionar elasticidad a la masa fue crucial para el desarrollo de diversas formas de pan, que se convirtieron en un pilar de la alimentación en muchas culturas.

En el siglo 19, con la industrialización y la mejora de las técnicas de molienda, el gluten comenzó a ser reconocido y valorado explícitamente por su contribución a la textura y calidad del pan y otros productos horneados. Esta época marcó un aumento significativo en la producción y consumo de alimentos basados en cereales ricos en gluten en la dieta occidental Parada, A., y Araya, M. (2010).

El conocimiento y manejo del gluten alcanzaron un punto significativo en el siglo 20 con el desarrollo de la ciencia de alimentos y la tecnología culinaria, que permitieron un entendimiento más profundo de sus propiedades y la forma de manipularlo para obtener resultados específicos en la cocina y la industria alimentaria.

Composición química y nutricional

El gluten es una mezcla de proteínas que se encuentra principalmente en el trigo, la cebada y el centeno, y está compuesto por gliadinas y gluteninas. Estas proteínas son responsables de la elasticidad y la capacidad de retención de gas de la masa, características esenciales para la producción de pan y otros productos horneados. La estructura molecular del gluten le permite formar una red tridimensional que atrapa el aire durante el proceso de fermentación, contribuyendo a la textura esponjosa y elástica del pan (Flores, R. V., 2014).

Nutricionalmente, el gluten aporta una cantidad significativa de proteínas a la dieta, aunque estas no son completas ya que carecen de algunos aminoácidos esenciales (Flores, R. V., 2014). Sin embargo, en combinación con otras fuentes de proteínas, como las legumbres,

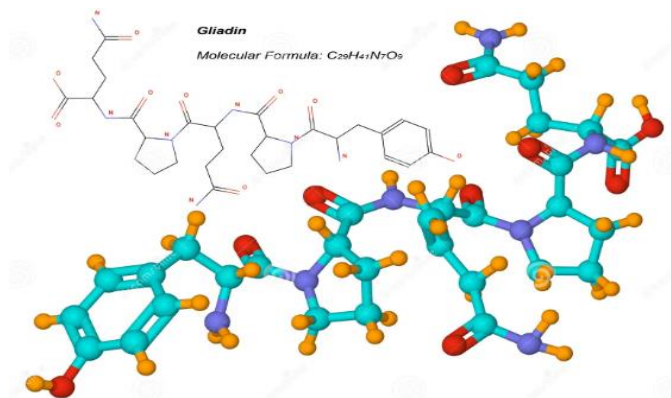
puede formar parte de una dieta balanceada. Además, el gluten en sí mismo no contiene una cantidad significativa de otros nutrientes, como vitaminas o minerales, pero los alimentos que contienen gluten a menudo son ricos en estos nutrientes, especialmente en cereales fortificados.

Para personas con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten no celíaca, el gluten puede causar una variedad de síntomas digestivos y sistémicos, desde dolor abdominal y diarrea hasta efectos más severos como la malabsorción de nutrientes y daño intestinal. Esto ha llevado a un aumento en la demanda de productos sin gluten, impulsando la innovación en la industria alimentaria para crear alternativas sin gluten que imiten las propiedades deseadas del gluten en productos horneados (Flores, R. V., 2014).

Propiedades tecnológicas del gluten

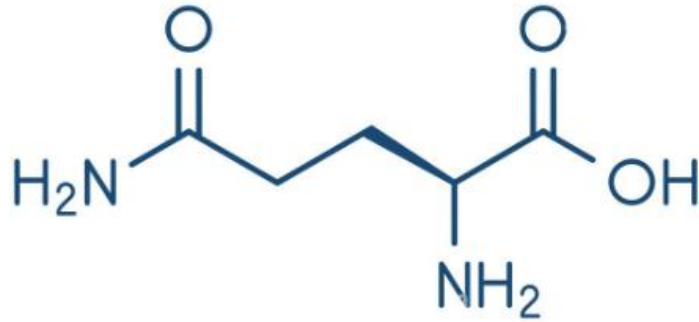
El gluten es una glicoproteína presente principalmente en cereales como el trigo, formada por dos tipos principales de proteínas: las gliadinas y las gluteninas. Estas proteínas son responsables de las propiedades tecnológicas que hacen del gluten un componente esencial en la panificación. Las gliadinas, proteínas monoméricas con masas moleculares entre 30 y 50 kDa, contribuyen a la extensibilidad y fluidez de la masa, permitiendo su expansión durante el proceso de leudado. Por su parte, las gluteninas, proteínas poliméricas, son responsables de la elasticidad y cohesividad de la masa, permitiendo que esta recupere su forma tras ser estirada (Montoya et al., 2015). La interacción de estas proteínas durante el amasado e hidratación da lugar a una red tridimensional continua conocida como gluten, fundamental para las propiedades viscoelásticas de la masa.

Figura 8. Estructura de la gliadina



Nota. Adaptado de Dreamstime, (2025).

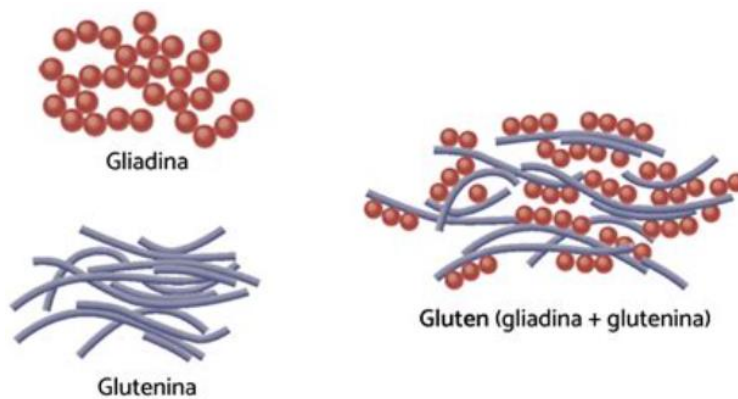
Figura 9. Estructura de las gluteninas



Nota. Adaptado de Alamy, (2017).

Durante la formación del gluten, las gliadinas y las gluteninas interactúan mediante enlaces covalentes, puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas. Este proceso comienza con la hidratación de la harina, donde el agua actúa como medio para la interacción entre las proteínas. Las gliadinas aportan plasticidad a la red, permitiendo que las gluteninas se deslicen unas sobre otras sin formar enlaces rígidos, lo que otorga flexibilidad a la masa. Las gluteninas, al formar enlaces covalentes entre sus cadenas, generan elasticidad y cohesión en la estructura de la masa, permitiendo que esta retenga los gases generados durante la fermentación (Capitani, 2013). Esta red tridimensional de gluten es clave para el desarrollo del volumen y la estructura de productos horneados como panes, galletas y pasteles.

Figura 10. Formación de red de gluten



Nota. Adaptada de Shutterstock, (2022)

La relevancia tecnológica del gluten en la panificación radica en su capacidad para proporcionar a la masa las propiedades viscoelásticas necesarias para su manipulación y horneado. La elasticidad de la red de gluten permite que la masa soporte la presión de los gases producidos por la fermentación, mientras que su viscosidad facilita el estiramiento y la expansión uniforme. Estas propiedades son esenciales para obtener un pan con buena estructura, volumen y una miga esponjosa. Además, el gluten actúa como un aglutinante natural, mejorando la cohesión de los ingredientes y proporcionando estabilidad a la masa durante el horneado. En otros productos como pasteles y galletas, la red de gluten influye en la textura final, aportando suavidad o crocancia según sea necesario (Montoya, 2015).

En productos de panificación, la interacción entre las gliadinas y las gluteninas determina la calidad final de los productos. Por ejemplo, una proporción equilibrada entre estas proteínas es crucial para obtener masas con las propiedades necesarias para productos específicos. Las gliadinas, al ser más extensibles, son ideales para productos como pasteles, mientras que las gluteninas, al aportar mayor elasticidad, son indispensables para panes con buena estructura. Estas interacciones no solo afectan las propiedades físicas de los productos horneados, sino también su calidad sensorial y aceptación por parte de los consumidores (Capitani, 2013).

5.3.4. Reacciones intolerantes al trigo

Enfermedad celíaca

La enfermedad celíaca es una condición autoinmune en la cual el consumo de gluten lleva a una respuesta inflamatoria en el intestino delgado, dañando las vellosidades intestinales y afectando la absorción de nutrientes. Este trastorno afecta aproximadamente al 1% de la población mundial, aunque muchas personas aún están sin diagnosticar. La única terapia efectiva conocida para la enfermedad celíaca es una dieta estrictamente libre de gluten, que debe mantenerse de por vida (Parada, A., y Araya, M., 2010).

La enfermedad celíaca es una respuesta autoinmune al gluten, una proteína presente en el trigo, que provoca inflamación y daño en el intestino delgado. Esto puede resultar en una amplia variedad de síntomas digestivos como diarrea, hinchazón y dolor abdominal, así como síntomas extraintestinales como anemia, dolores articulares y problemas neurológicos como el déficit de atención y la falta de coordinación muscular. Si no se trata, la enfermedad

celíaca puede conducir a complicaciones serias como desnutrición, debilitamiento de los huesos y, en casos raros, enfermedades cancerígenas del intestino. En niños, la enfermedad celíaca puede causar fallo de crecimiento, daño en el esmalte dental y retraso de la pubertad (Rubio-Tapia, 2013).

Otra condición relacionada es la alergia al trigo, que, aunque a menudo se confunde con la enfermedad celíaca, es una reacción alérgica al trigo, no específicamente al gluten. Los síntomas pueden incluir erupciones cutáneas, problemas digestivos e incluso anafilaxia, una reacción alérgica potencialmente mortal. El tratamiento para la alergia al trigo implica evitar todos los alimentos que contienen trigo y, en algunos casos, también puede requerir la evitación del gluten (Sicherer y Sampson, 2018).

Sensibilidad al gluten no celíaca

Además de la enfermedad celíaca, algunas personas experimentan lo que se conoce como sensibilidad al gluten no celíaca. Aunque estos individuos no tienen los marcadores autoinmunes o el daño intestinal característico de la enfermedad celíaca, experimentan síntomas similares, como dolor abdominal, fatiga y dolores de cabeza, al consumir gluten. El manejo de esta condición también implica una restricción de gluten, aunque el nivel de sensibilidad puede variar (Parada, A., y Araya, M., 2010).

La sensibilidad al gluten no celíaca es una condición en la que los individuos experimentan síntomas similares a los de la enfermedad celíaca, como dolor abdominal, fatiga y dolor articular, pero sin la presencia de la respuesta autoinmune o los anticuerpos característicos de la enfermedad celíaca (Celiac Disease Foundation, 2024). Los síntomas de la sensibilidad al gluten pueden incluir también dolores de cabeza, "niebla mental" y erupciones cutáneas. Aunque la causa precisa de la sensibilidad al gluten no está completamente comprendida, se cree que puede estar relacionada con la respuesta del sistema inmunológico a ciertos carbohidratos presentes en los alimentos que contienen gluten.

Alergia al trigo

Otra condición relacionada es la alergia al trigo, que, aunque a menudo se confunde con la enfermedad celíaca, es una reacción alérgica al trigo, no específicamente al gluten. Los síntomas pueden incluir erupciones cutáneas, problemas digestivos e incluso anafilaxia, una reacción alérgica potencialmente mortal. El tratamiento para la alergia al trigo implica

evitar todos los alimentos que contienen trigo y, en algunos casos, también puede requerir la evitación del gluten (Verywell Health, 2023).

La alergia al trigo, por otro lado, es una reacción del sistema inmunológico al consumo de trigo y puede causar síntomas como urticaria, problemas digestivos, congestión nasal y, en casos graves, anafilaxia. La alergia al trigo tiende a ser más común en niños, aunque algunos adultos también la padecen (Cleveland Clinic, 2023).

Tendencias gluten free

En las últimas décadas, ha habido un aumento significativo en la popularidad de las dietas sin gluten, no solo entre aquellos diagnosticados con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten, sino también entre la población general. Muchas personas ahora optan por dietas sin gluten debido a la percepción de que son más saludables, pueden mejorar la digestión, y ayudar en la gestión de diversos síntomas y condiciones de salud, aunque la evidencia científica en algunos de estos beneficios es mixta (Harvard Medical School, 2023).

Las tendencias alimenticias contemporáneas están marcadas por un creciente interés en dietas especializadas, entre las cuales la dieta sin gluten se destaca notablemente. Este interés no se limita solo a quienes padecen de condiciones relacionadas con el gluten, como la enfermedad celíaca o la sensibilidad al gluten, sino que también incluye a individuos que buscan mejorar su bienestar general o reducir molestias gastrointestinales. La percepción de que una dieta sin gluten puede contribuir a un estilo de vida más saludable ha propiciado su adopción por un segmento más amplio de la población (Harvard Medical School, 2023).

El movimiento hacia lo "sin gluten" ha sido impulsado en gran medida por estudios que sugieren beneficios potenciales en la reducción de síntomas inflamatorios y en la mejora de la función gastrointestinal. Aunque la evidencia científica es mixta, el mercado ha respondido con un aumento significativo en la variedad y disponibilidad de productos sin gluten. Los restaurantes y las tiendas de alimentos ahora ofrecen más opciones sin gluten, desde panes y pastas hasta snacks y dulces, facilitando a los consumidores el acceso a estos productos (Harvard Medical School, 2023).

5.3.5. Diversidad de productos libres de gluten y cuáles son los más comunes en el mercado

El mercado de productos sin gluten ha experimentado una expansión significativa en los últimos años, reflejando la creciente demanda de alternativas libres de gluten. Los productos sin gluten más comunes incluyen panes, pastas, cereales, y una variedad de productos horneados que tradicionalmente contienen gluten. Estos productos son elaborados utilizando sustitutos como harinas de arroz, maíz, almendra y quinua, que imitan la textura y el sabor de sus contrapartes con gluten (Fortune Business Insights, 2023).

Además de los básicos, el mercado sin gluten ha diversificado para incluir snacks, bebidas, e incluso comidas preparadas que son seguras para personas con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten. Las etiquetas certificadas sin gluten ayudan a los consumidores a identificar productos seguros, una práctica que ha mejorado la confianza del consumidor en estas opciones alimenticias. La innovación en el procesamiento y la formulación de productos sin gluten continúa, con el objetivo de mejorar el sabor y la textura, que a menudo son criticados en comparación con los productos con gluten (Gluten Intolerance Group, 2023).

El desarrollo de productos sin gluten no solo se limita a imitar productos existentes; también se están creando nuevos productos que destacan los ingredientes naturalmente sin gluten como características culinarias en lugar de simplemente ser sustitutos. Esto incluye una gama de productos internacionales que introducen sabores y texturas diversas al paladar de consumidores interesados en dietas sin gluten (Grand View Research, 2023).

El crecimiento del segmento sin gluten en el mercado de alimentos ha sido acompañado por un aumento en la educación y los recursos disponibles para consumidores y profesionales de la salud. Esto incluye desde etiquetado claro y preciso hasta programas de formación en manipulación de alimentos sin gluten, asegurando que la oferta no solo sea variada, sino también segura y de alta calidad. A medida que el mercado evoluciona, se espera que continúe adaptándose a las necesidades y deseos de un grupo demográfico cada vez más amplio y exigente (Gluten Intolerance Group, 2023).

5.3.6. Retos de sustituir y eliminar el gluten en productos de panificación y repostería

La sustitución parcial o total del gluten en productos de panificación y repostería representa un desafío significativo debido a las propiedades únicas que este componente

aporta a las masas. El gluten es esencial para la formación de una red tridimensional que proporciona elasticidad, cohesión y retención de gases, características fundamentales para obtener productos con buena estructura, volumen y textura. La ausencia de gluten dificulta la capacidad de las masas para retener gases, lo que resulta en productos más densos, con menor volumen y, en algunos casos, con texturas no deseadas (Capitani, 2013).

Uno de los principales retos al eliminar el gluten es lograr una viscosidad y elasticidad adecuadas en las masas. Sin la red de gluten, las masas pierden estabilidad, lo que afecta tanto la manipulación como la capacidad de soportar el proceso de horneado. Esto se traduce en panes con menor expansión, migas más compactas y estructuras menos aireadas (Montoya, 2015). Además, la falta de cohesión puede causar desmoronamiento en productos como galletas o pasteles, comprometiendo tanto la calidad sensorial como funcional del producto final.

Para superar estos retos, se han desarrollado estrategias que involucran el uso de sustitutos del gluten. Los ingredientes más utilizados incluyen gomas, almidones modificados, proteínas vegetales y fibras. La goma xantana y la goma guar son dos de los aditivos más comunes debido a su capacidad para emular las propiedades viscoelásticas del gluten al formar redes que retienen agua y estabilizan las masas (Pereira, 2023). Los almidones modificados, especialmente los de maíz y tapioca, aportan viscosidad y ayudan a mejorar la textura y estructura de los productos sin gluten. Las proteínas vegetales, como las de soya, arroz y chícharo, se utilizan para aportar cohesión y mejorar el contenido nutricional de los productos. Las fibras solubles e insolubles, presentes en ingredientes como la chía y el psyllium, también son clave para mejorar la retención de agua y estabilizar las masas.

Otro desafío importante es la adaptación de las formulaciones a los consumidores que requieren productos sin gluten por razones de salud, como los pacientes con enfermedad celíaca. En este caso, es fundamental garantizar que los sustitutos no solo repliquen las propiedades funcionales del gluten, sino que también sean seguros, libres de trazas de gluten y compatibles con las restricciones dietéticas (Goesaert, 2005).

5.3.7. Método de elaboración de harinas vegetales

Deshidrataciones

El método de deshidratación es una técnica esencial en la industria alimentaria y en diversas aplicaciones científicas y domésticas, se fundamenta en la eliminación de agua y otras sustancias mediante la aplicación de calor o la exposición al aire. Solo alarga la vida útil de los alimentos reduciendo su peso y volumen, sino que también concentra sus sabores y nutrientes, haciéndolos más intensos y nutritivos. Por otro lado, inhibe la actividad microbiana y enzimática. A nivel bioquímico, al reducir la actividad del agua (a_w), se previenen reacciones químicas que de otro modo causarían deterioro, como la oxidación lipídica o la reacción de Maillard. Estos procesos afectan tanto la textura como el sabor y el color de los alimentos pueden ser controlados mediante diferentes técnicas de deshidratación.

El proceso puede realizarse utilizando varios métodos, incluyendo el aire caliente, la liofilización y el secado al sol, cada uno adecuado para diferentes tipos de alimentos y requerimientos de calidad. El secado por aire caliente, que utiliza hornos o deshidratadores eléctricos, es el método más debido a su eficiencia y control sobre la temperatura, lo que permite una desecación uniforme y rápida. Es considerado el más eficiente, aunque puede ocasionar pérdidas de algunos nutrientes, como las vitaminas hidrosolubles (Barbosa, 1996). La liofilización, por otro lado, es un método más sofisticado que implica congelar el producto y, luego reducir la presión circundante para permitir que el agua congelada se sublime directamente desde el estado sólido al gaseoso. Mantiene la estructura celular de los alimentos y preserva mejor sus nutrientes y características organolépticas. Es más costoso, pero ideal para productos de alto valor (Ratti, 2001).

Al deshidratar los alimentos, se produce una concentración de componentes sólidos, como azúcares, proteínas y grasas, lo cual puede modificar su sabor y textura. Además, durante el secado por aire caliente o con tecnologías más avanzadas como la liofilización, pueden ocurrir reacciones de degradación que afecten los compuestos volátiles responsables del aroma y sabor, como los terpenos los ésteres en frutas (Ratti, 2001).

Durante la deshidratación del banano, uno de los cambios más significativos es la eliminación del agua. El agua en los alimentos actúa como medio para reacciones químicas, además de ser esencial para la actividad enzimática y microbiana. Al eliminar el agua, disminuye la actividad del agua (a_w), lo que inhibe las reacciones bioquímicas que

normalmente llevan al deterioro de los alimentos, como la oxidación lipídica y las reacciones de Maillard. Estas últimas son responsables de la aparición de pigmentos marrones, lo que influye en el color del producto. Durante la deshidratación por métodos térmicos, como el secado por aire caliente, algunas de estas reacciones pueden acelerarse debido a las altas temperaturas, lo que puede provocar la pérdida de color y sabor (Barbosa, 1996). Además, la deshidratación puede concentrar ciertos nutrientes, como los carbohidratos y las proteínas, dado que la eliminación del agua reduce el peso del producto sin cambiar el contenido absoluto de sólidos. Sin embargo, el calor puede degradar algunos nutrientes sensibles, como las vitaminas C y B6, lo que afecta el valor nutricional del producto deshidratado. La oxidación de compuestos fenólicos también es un efecto común durante la deshidratación de frutas, lo que puede reducir las propiedades antioxidantes del banano (Ratti, 2001).

Molienda y partícula

La molienda de la harina de banano orgánico deshidratado es un paso crucial que se puede realizar con diversos tipos de molinos, como los de cuchilla o martillo. Tras este proceso, la harina puede ser tamizada para obtener una granulometría específica, que influye en las propiedades físicas y bioquímicas de la harina. Se ha observado que las harinas de banano con partículas más pequeñas tienden a ser más claras y presentar un mayor índice de blancura. Sin embargo, el tamaño de las partículas parece tener poca influencia en el pH y no afecta el contenido de humedad. Por ejemplo, se ha visto que la actividad del agua de la harina de banano verde puede variar dependiendo del tamaño de las partículas, aunque en todos los casos estudiados, los valores se mantuvieron dentro de los límites seguros para el almacenamiento. La textura deseada de la harina de banano se logra mediante un cuidadoso proceso de molienda, que puede variar según el uso previsto de la harina, ya sea para hornear, espesar o como suplemento. Después de la molienda, la harina se empaca en envases herméticos para mantener su frescura y prevenir la absorción de humedad. Durante todo el proceso de producción, se llevan a cabo medidas de control de calidad para asegurar que la harina de banano cumpla con ciertos estándares, incluyendo pruebas para el contenido de humedad, textura y color, así como el cumplimiento de las normativas de seguridad y de higiene alimentaria.

La reducción del tamaño de partícula después de la deshidratación del banano implica varios cambios importantes tanto a nivel físico como bioquímico. Durante el proceso de

molienda, los componentes internos de la fruta, como los carbohidratos, las proteínas y las fibras, quedan expuestos al romperse la matriz celular. Este proceso es clave para modificar la textura, la apariencia y la funcionalidad de la harina de banano, especialmente en términos de absorción de agua, formación de geles y estabilidad durante el almacenamiento. A nivel bioquímico, al igual que con otros productos deshidratados, la molienda de partículas más pequeñas puede aumentar la biodisponibilidad de algunos nutrientes. Esto sucede porque al romper la estructura celular, los nutrientes como el almidón, las fibras solubles e insolubles, y los antioxidantes quedan más accesibles para su digestión y absorción (Aurore, 2009). En particular, en el caso del banano, la harina que se obtiene de partículas más pequeñas tiende a ser más homogénea en su capacidad para absorber agua, lo que influye en su capacidad de espesar o mejorar la textura en productos horneados (Falade y Omojola, 2010).

Además, las harinas con partículas más finas de banano tienden a mostrar un mayor índice de blancura, lo que es deseable en muchas aplicaciones alimentarias, aunque este cambio visual no afecta de manera significativa el contenido de nutrientes como el pH o el contenido de humedad. Sin embargo, un menor tamaño de partícula puede aumentar la exposición a reacciones de oxidación y degradación en presencia de oxígeno y luz, lo que puede comprometer la estabilidad de ciertos compuestos bioactivos si no se almacenan adecuadamente (Aurore et al., 2009). En cuanto a la actividad del agua (a_w), aunque la molienda no cambia drásticamente este parámetro, sí puede afectar la velocidad a la que las partículas más pequeñas reabsorben agua si se exponen al aire o a ambientes húmedos. Esto tiene implicaciones directas para la conservación de la harina, ya que una mayor exposición de la superficie de las partículas puede aumentar la susceptibilidad al deterioro microbiano si no se controla el ambiente de almacenamiento (Falade y Omojola, 2010).

En cuanto a la reducción del tamaño de partícula, la molienda es un proceso que afecta directamente la textura y las propiedades funcionales de las harinas obtenidas. Por ejemplo, al moler semillas de chía, ricas en ácidos grasos omega-3 y antioxidantes, se liberan sus componentes bioactivos, mejorando la biodisponibilidad de los nutrientes. Sin embargo, la exposición de estos componentes al aire durante la molienda puede aumentar el riesgo de oxidación lipídica (Ixtaina, 2011). La molienda de la semilla de chía después de su deshidratación tiene efectos profundos a nivel bioquímico, ya que rompe la estructura de la semilla y expone componentes internos, como los aceites y proteínas, a factores externos

como el oxígeno y la luz. Esto puede aumentar el riesgo de oxidación lipídica, dado que los ácidos grasos, especialmente los omega-3, son altamente reactivos cuando se liberan de su matriz celular protectora. Además, la molienda aumenta la superficie de contacto de las partículas con el ambiente, lo que acelera las reacciones de oxidación y puede reducir la vida útil del producto (Ixtaina, 2011).

Por otro lado, la reducción del tamaño de partícula mejora la biodisponibilidad de los nutrientes, ya que, al romper la estructura celular, los nutrientes como las proteínas, los ácidos grasos y los antioxidantes se vuelven más accesibles para su absorción en el tracto digestivo (Ixtaina y Tomás, 2008). La molienda también afecta las propiedades funcionales de la chía, como su capacidad para formar geles y absorber agua, lo que es fundamental para su uso en productos alimentarios como espesantes o estabilizantes.

6. Metodología

La metodología de este estudio se estructuró en diversas etapas, comenzando con la aplicación del enfoque de *design thinking*, que incluyó la empatía, definición del problema, ideación y prototipado. Posteriormente, se llevaron a cabo la evaluación de las materias primas, la elaboración de la harina, los análisis fisicoquímicos y funcionales, así como el desarrollo de productos. Finalmente, se realizó la evaluación sensorial y técnica de las formulaciones obtenidas, garantizando un enfoque integral en el desarrollo de las harinas de banano y chíá.

6.1 *Design thinking*

El proceso de *design thinking* siguió las cinco fases clave: empatizar, definir, idear, prototipar y testear, desarrollándose de manera interconectada y fluida.

Se comenzó con la fase de empatía, en donde se adentró en el entorno del usuario objetivo mediante entrevistas, observación directa y recopilación de información relevante sobre sus experiencias y necesidades. Esta fase permitió identificar sus problemas y expectativas de forma profunda, asegurando que nuestras soluciones fueran fundamentadas en una comprensión clara de su realidad.

Posteriormente, pasamos a la fase de definición, donde se sintetizaron los datos recopilados en un problema claro y concreto, conocido como el problema del usuario. Esta etapa fue esencial para establecer el enfoque de todo el proceso creativo, garantizando que las soluciones se alinearan con los desafíos reales de los usuarios.

La siguiente fue la fase de ideación, en la que se exploró múltiples posibles soluciones mediante lluvias de ideas y asociación de ideas, fomentando la generación de propuestas innovadoras sin restricciones. Durante esta etapa, no se descartó ninguna idea inicialmente, priorizando la cantidad sobre la calidad.

Luego, en la fase de prototipado, se crearon versiones simples y tangibles de las ideas seleccionadas. Esto permitió experimentar y visualizar cómo podrían funcionar en el mundo real, facilitando ajustes y mejoras basadas en los primeros resultados obtenidos.

Finalmente, llegamos a la fase de prueba, donde los prototipos fueron presentados a los usuarios para obtener retroalimentación directa. Este paso fue crucial para identificar aspectos a mejorar y validar las soluciones propuestas. A lo largo del proceso, se mantuvo

un enfoque iterativo, lo que significa que los aprendizajes de las fases de prueba retroalimentaron las fases anteriores, permitiendo mejoras continuas hasta llegar a una solución final viable y centrada en el usuario.

6.1.1. Empatizar y definición del problema

A continuación, se definió el problema central con claridad, el cual se utilizó para determinar puntos de mejora en el producto a realizar en comparación con los productos ya existentes. En este paso se integró la comprensión adquirida sobre los usuarios para identificar el desafío de diseño más pertinente. Para poder obtener la definición del problema se realizó lo siguiente:

Entrevistas

Se llevaron a cabo una serie de entrevistas detalladas a 35 consumidores de rango de edad de 20 a 40 años, de estratificación media alta, de harinas libres de gluten para recabar información acerca de las problemáticas actuales y las necesidades relacionadas con el consumo de productos de harina. Las respuestas obtenidas ayudaron a identificar oportunidades de innovación y mejora en la formulación y oferta de productos de harina.

La serie de preguntas que se realizaron luego de obtener la información personal de cada entrevistado fueron las siguientes:

1. ¿Con qué frecuencia consume productos elaborados con harina?
2. ¿Qué tipos de harina suele utilizar en su alimentación (por ejemplo, maíz, arroz, almendra)?
3. ¿Cuál es el motivo de consumir harinas libres de gluten?
4. ¿Cuándo compra harina o productos de harina libres de gluten, ¿qué características busca principalmente?
5. ¿Considera importante que las harinas sean fortificadas o enriquecidas con algún nutriente específico?
6. ¿Está satisfecho con la variedad de harinas disponibles en el mercado actualmente? ¿Qué le gustaría ver mejorado o cambiado?
7. ¿Tiene alguna preferencia o aversión específica hacia ciertas marcas o tipos de harina? Si es así, ¿por qué?

8. ¿Está interesado en probar harinas alternativas (como harina de chía o de banano)?
¿Qué le motivaría a cambiar a estas harinas?
9. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una harina que cumpla con todas sus expectativas de calidad, salud y sabor?
10. ¿Qué factores considera más importantes al elegir una harina: el precio, la marca, los beneficios para la salud, ¿el sabor o la textura del producto final?

Las transcripciones de las entrevistas fueron analizadas para identificar patrones y puntos de sorpresa, estableciendo así los elementos de entrada para el diseño de la harina a elaborar. Se buscaron características de funcionalidad, aplicación, sensoriales, disponibilidad y de empaque.

Revisión de productos en el mercado

a. Definición de criterios de inclusión y exclusión

Se buscaron productos que cumplieran con los siguientes criterios:

- Contenido de gluten:
 - Se revisó que en el empaque tuviera la declaración “libre de gluten”.
- Ingredientes:
 - Se revisó el listado de ingredientes declarados en la etiqueta.
- Etiquetado nutricional:
 - Se revisó el etiquetado nutricional.

b. Búsqueda de productos

Se llevó a cabo una búsqueda en las dos cadenas de supermercados más importantes de Guatemala y dos supermercados de especialidades. Se realizó una lista de los productos encontrados y en qué secciones de los pasillos se encontraban.

c. Recolección de datos

Se realizó una tabla que contenía todos los productos encontrados en los supermercados, y se anotó lo siguiente:

- Los ingredientes
- Información nutricional
- Presencia de alérgenos
- Precio

- Disponibilidad geográfica.

Además, se revisaron las reseñas de consumidores para obtención de datos sobre la aceptación del producto y cualquier problema de calidad reportado por medio de estudio en redes sociales.

d. Análisis de datos

Se llevó a cabo un análisis cualitativo detallado que incluyó la recopilación y organización de datos provenientes de entrevistas, encuestas y revisión de productos en el mercado. Los datos obtenidos fueron tabulados meticulosamente para identificar tendencias clave en el sector de harinas sin gluten. Este proceso incluyó la cuantificación de la frecuencia con la que se repetían ingredientes específicos en las formulaciones analizadas, permitiendo identificar los ingredientes más utilizados en las harinas sin gluten. Además, los productos fueron clasificados en categorías según sus características principales, tales como contenido nutricional, funcionalidad y aplicaciones específicas en panificación y repostería. Este enfoque permitió detectar patrones relevantes en las formulaciones existentes, evaluar las preferencias del mercado y establecer una base sólida para el diseño de una harina funcional, optimizando su aceptación entre los consumidores objetivo.

6.2 Definición del problema

Con la información recopilada en la etapa de empatía, se identificaron los problemas clave que enfrentan los consumidores de harinas libres de gluten en Guatemala. Estos problemas surgieron de un análisis exhaustivo basado en 10 preguntas estructuradas realizadas en entrevistas con consumidores, expertos en el sector alimenticio y nutricionistas, así como del estudio detallado de productos disponibles en el mercado. Este enfoque permitió reconocer las principales limitaciones de las harinas sin gluten actualmente disponibles, como su limitada funcionalidad en panificación, altos costos y baja accesibilidad. Con base en esta información, se desarrolló un perfil de consumidor detallado que incluyó sus requerimientos específicos en términos de textura, valor nutricional y facilidad de uso, sentando las bases para la formulación de una harina optimizada que responda a estas necesidades.

6.3 Idear

En la fase de "Idear" del proceso de Design Thinking, aplicada al desarrollo de una harina adaptada a las necesidades del mercado, se enfocó en generar ideas creativas para definir las características que debía poseer la harina y los diversos usos que se le podrían dar.

Las etapas llevadas a cabo fueron las siguientes:

a. Sesiones de lluvia de ideas

Se organizaron sesiones creativas donde se exploraron posibles características innovadoras para la harina. Estas características incluyeron la composición nutricional, como la inclusión de vitaminas, minerales, y altos niveles de fibra.

b. Prototipado conceptual

Se diseñaron varios prototipos conceptuales de harina con chía para diferentes usos, tales como panificación, repostería, y uso general en la cocina. Se realizó una evaluación de cada prototipo conceptual según los requerimientos identificados para establecer cuál sería el prototipo a desarrollar.

Los requerimientos para el desarrollo de las formulaciones de harina con chía se obtuvieron a partir de dos fuentes principales: las entrevistas realizadas en la etapa de empatía y el análisis de productos disponibles en el mercado. Durante las entrevistas, se formularon preguntas específicas para identificar las necesidades y preferencias de los consumidores de harinas libres de gluten, abordando aspectos como textura, sabor, facilidad de uso, propiedades funcionales (como la absorción de agua) y expectativas sobre el rendimiento en productos horneados. Paralelamente, el análisis de mercado permitió determinar las características principales de los productos líderes en esta categoría, evaluando ingredientes comunes, propiedades tecnológicas, presentación y precio.

Con esta información, se estableció un conjunto de requerimientos iniciales que fueron organizados y ponderados utilizando un sistema basado en criterios específicos de importancia y relevancia. Estos criterios incluyeron la capacidad de retención de agua, la cohesión de masas, la facilidad de manejo en diversas recetas y propiedades sensoriales como textura y sabor. A partir de estos requerimientos ponderados, se diseñaron varios prototipos conceptuales enfocados en diferentes usos: panificación, repostería y aplicaciones generales en la cocina. Cada prototipo presentó variaciones en el porcentaje de chía y ajustes en su composición para maximizar su desempeño según su propósito específico.

Se colocó una X cuando el prototipo cumplía con el requerimiento:

Cuadro 2. *Ejemplo de evaluación de prototipos conceptuales*

Requerimiento del producto	Cumplimiento
Requerimiento 1	X
Requerimiento 2	X
Requerimiento 3	X

Nota: elaboración propia

6.4 Prototipar

Al tener los requerimientos del prototipo conceptual elegido, se inició con la etapa de prototipado funcional.

6.4.1. Armar casa de calidad

Para armar la Casa de Calidad, un componente clave del desarrollo de productos basado en el método QFD (Despliegue de la Función de Calidad), se siguieron una serie de pasos estructurados para traducir las necesidades y deseos del consumidor en especificaciones técnicas del producto. Se detallan a continuación los pasos que se llevaron a cabo, aprovechando la información obtenida de entrevistas, encuestas y grupos focales:

a. Identificación de necesidades del cliente (VOC):

Se recopilaron y analizaron las opiniones y necesidades expresadas por los consumidores durante las entrevistas, encuestas y grupos focales. Estas necesidades se listaron de manera clara y concisa como "Qué querían los clientes".

b. Jerarquización de necesidades:

Las necesidades recopiladas se priorizaron según su importancia para los consumidores, utilizando métodos como la ponderación basada en frecuencia de menciones y relevancia expresada por los participantes.

c. Desarrollo de requisitos técnicos (HOWs):

Basándose en las necesidades identificadas, se desarrollaron requisitos técnicos específicos que el producto debía cumplir para satisfacer dichas necesidades. Estos requisitos se expresaron como respuestas a la pregunta "¿Cómo vamos a satisfacer estas necesidades?".

d. Relación entre VOC y requisitos técnicos:

Se creó una matriz para mapear la relación entre lo que los clientes deseaban y los aspectos técnicos que lo posibilitaron. Esta matriz ayudó a visualizar cómo cada requerimiento técnico influía en cada necesidad del cliente.

e. Análisis competitivo:

Se evaluaron los productos de la competencia para determinar cómo estaban satisfaciendo estas necesidades y requisitos. Esta evaluación se incorporó en la Casa de Calidad para identificar áreas de oportunidad y diferenciación.

f. Priorización de requisitos técnicos:

Los requisitos técnicos fueron priorizados en función de su impacto en las necesidades del cliente y su viabilidad técnica y económica. Se utilizaron técnicas de decisión multicriterio como AHP (Analytic Hierarchy Process) para esta priorización.

g. Desarrollo de Especificaciones de Diseño:

Basado en los requisitos técnicos priorizados, se especificaron las características detalladas del diseño del producto. Estas especificaciones fueron las metas de diseño que el equipo de desarrollo debía alcanzar.

h. Plan de implementación:

En esta etapa, se definieron las acciones específicas para el desarrollo del producto, considerando las proporciones de banano y chía en las formulaciones y su relevancia funcional. Las formulaciones se desarrollaron con porcentajes de chía que varían entre el 2.5% y el 10%, equilibrando su contenido con la cantidad de banano deshidratado en estado verde. La elección del banano verde (maduración tipo 3) es clave debido a su alto contenido de almidón resistente, una macromolécula que, durante el proceso de horneado, gelatiniza y contribuye a mejorar la textura y cohesión del producto.

Por otro lado, los mucílagos presentes en la chía, ricos en fibras solubles, complementan el almidón del banano al formar geles que mejoran la retención de agua y la estabilidad de la masa. La interacción entre las macromoléculas de ambos ingredientes— almidón del banano y mucílagos de la chía—se consideró esencial para diseñar un producto con propiedades funcionales y nutricionales adecuadas para productos horneados libres de gluten.

El plan de implementación incluyó:

- Asignación de recursos y materiales: Se establecieron cantidades específicas de cada ingrediente según las proporciones definidas en las formulaciones.
- Desarrollo de cronogramas: Las etapas de deshidratación, molienda, y mezcla fueron programadas para garantizar la uniformidad y calidad del producto.
- Puntos de revisión: Se incluyeron análisis de actividad de agua, capacidad de retención de solventes y pruebas sensoriales como hitos críticos para evaluar el progreso y ajustar las formulaciones.

Se establecieron acciones específicas para el desarrollo del producto, asignando recursos y definiendo cronogramas. Este plan también incluyó puntos de revisión para evaluar el progreso en relación con las especificaciones de diseño.

A partir de esta información, se pudo asociar con los resultados obtenidos en la "Casa de Calidad", que fue elaborada para evaluar y priorizar las características clave que los consumidores valoran en las harinas libres de gluten. La "Casa de Calidad" permitió establecer la relación entre los atributos de calidad esperados por los usuarios y las características de los ingredientes seleccionados, como la textura, capacidad de retención de humedad, y sabor, elementos cruciales para el diseño de la harina de banano con chí. Esta herramienta facilitó el proceso de decisión, ayudando a asegurar que el producto final cumpliera con las expectativas del mercado y las necesidades nutricionales de los consumidores.

6.4.2. Evaluación del valor máximo de maduración del banano

Para esta evaluación se obtuvieron bananos tipo Cavendish de la zona de Izabal, que se trasladaron por medio de paquetería desde la planta ubicada en la zona de Morales, Izabal, hasta la ciudad capital. Posteriormente, los bananos fueron llevados a la Universidad del Valle de Guatemala para comenzar con la caracterización del producto.

Los bananos se transportaron en cajas de cartón a temperatura ambiente y protegidos de la exposición directa al sol.

Estandarización de la materia prima

Todos los bananos que se utilizaron para la elaboración de la harina debían estar en un nivel 3 de maduración. Para asegurar que se encontraran en ese nivel, se utilizó una cartilla

de coloración, y se eliminaron todos los bananos que estuvieran dañados y/o con la pulpa expuesta.

Figura 11. *Cartilla de color de banano*



Nota. Adaptada de Ecuadorian Export Company (s.f)

Este paso fue vital, ya que el color es un indicador directo de los cambios internos de la fruta, incluyendo la concentración de azúcares, fue un factor decisivo en la aceptación del producto por parte de los consumidores. La correlación entre la cartilla de color y las etapas de maduración brindó un marco visual para determinar el punto óptimo de procesamiento.

Se realizaron análisis hasta un nivel de maduración 3 para obtener una harina óptima, debido a que, al utilizar un nivel de maduración avanzado, no se brindaban las características deseables de una harina por su alto contenido de azúcares simples y la degradación de almidón que se gelatiniza.

Para corroborar el grado de maduración de los bananos, se tomó una muestra al azar de 5 en cada lote de harina que se produjo y se evaluó, además del color, los grados Brix, pH y contenido de almidón.

Evaluación de grados °Brix

Los grados Brix, que reflejan el contenido de azúcar en el banano, se midieron directamente a partir del puré utilizando un refractómetro de la marca Hanna Instruments (modelo HI 96801). Esta medición fue fundamental para determinar cómo el contenido de azúcar influye en el perfil de sabor de la harina, considerando un rango desde el estado de maduración inicial (tipo 1) hasta una etapa donde aún se presentan tonos verdes en el fruto.

Este análisis permitió definir un intervalo de grados Brix adecuado para el tipo de banano Cavendish utilizado.

Cuadro 3. *Intervalo de grados Brix de banano tipo cavendish*

Fruto	°Brix
Banana	<=8

Nota. Adaptado de Sonia I (1987).

Evaluación de pH

La acidez y el pH del banano también se midieron directamente a partir del puré utilizando un potenciómetro Hanna Instruments modelo HI 981034. Este análisis fue crucial para caracterizar químicamente la harina de banano y chíá. Los valores obtenidos, junto con la acidez titulable evaluada en triplicado, proporcionaron una comprensión integral de las propiedades organolépticas y funcionales del producto, elementos esenciales para garantizar la calidad y estabilidad en aplicaciones alimenticias.

Cuadro 4. *Intervalo de pH de banano tipo cavendish.*

Fruto	pH
Banana	5.5-4.8

Nota. Adaptado de Sonia I (1987).

Análisis de almidón

El contenido de almidón, un componente crítico en la funcionalidad de la harina, fue analizado en triplicado, empleando solventes seleccionados por su eficacia en la extracción de almidón de la matriz del banano. La información derivada de estos análisis fue crucial para predecir el comportamiento de la harina en procesos como la panificación y su capacidad de retener agua y estructura.

El proceso para el análisis mencionado se realizó de la siguiente manera:

- a. La pulpa se mezcló con una solución de agua destilada y un solvente, como etanol o isopropanol, para facilitar la liberación del almidón. Las

concentraciones de estos solventes fueron las adecuadas para evitar la degradación del almidón.

- b. La mezcla se dejó en reposo para permitir que el almidón se asentara en el fondo.
- c. Luego, el líquido sobrenadante se descartó y el almidón precipitado se lavó repetidamente con la solución alcohólica para eliminar impurezas como azúcares y proteínas.
- d. Para separar el almidón del resto de la solución, se utilizó una centrifugación, donde el almidón se concentró en el fondo del recipiente.
- e. Se obtuvo un porcentaje de almidón mayor al 10%.
- f. Los resultados de los análisis anteriores sirvieron para establecer la ficha técnica de la materia prima de banano (FAO, 2001).

6.5 Elaboración de harina

6.5.1. Cortado y pretratamiento

Para la elaboración de la harina, los bananos seleccionados fueron primero pelados y luego cortados en rodajas uniformes. Se dejaron en una solución de 0.92% de ácido cítrico durante 10 minutos para evitar el pardeamiento, siguiendo la metodología publicada en Dussán Sarria, 2017.

Estas rodajas se escurren y luego fueron colocadas en bandejas de deshidratadores, asegurando que estuvieran separadas entre sí para permitir una circulación óptima del aire.

Los deshidratadores utilizados fueron de la marca Hamilton Beach y deshidratadores de la marca Ivation.

6.5.2. Deshidratación

El deshidratado se realizó en las deshidratadoras Ivation modelo IVFD60RB y deshidratadora Hamilton Beach a una temperatura controlada de 60°C durante aproximadamente 8 horas, un método que demostró ser eficaz para preservar las propiedades nutricionales mientras se reducía el contenido de humedad (Davis y Morris, 2019). Antes de sacar el producto del deshidratador, se comprobó que el producto tuviera una humedad menor al 10% utilizando 2 gramos de muestra en la balanza de humedad marca Ohaus. Si la

humedad era del 10% o más, se dejó más tiempo en el deshidratador hasta obtener la humedad deseada.

Figura 12. *Deshidratadora Ivation modelo IVFD60RB*



Nota: elaboración propia

6.5.3. Molienda

Las rodajas secas fueron deshidratadas y posteriormente molidas para convertirlas en un polvo fino. Este proceso se llevó a cabo utilizando un macro molino marca Tecnal, que garantizó una granulometría homogénea y adecuada para la aplicación en productos alimenticios.

Para evaluar el rendimiento de la harina de banano se determinó mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Fórmula de rendimiento.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \left(\frac{\text{Peso final de la harina}}{\text{Peso inicial del banano fresco}} \right) * 100$$

La chía fue comprada en el mercado local y revisada visualmente para asegurarse de que no tuviera daños ni plagas. Posteriormente, se molió hasta alcanzar una textura fina, para luego pasar por un tamiz obteniendo textura similar a la de la harina, para luego ser agregada en diferentes proporciones a la harina de banano.

La uniformidad de la mezcla entre la harina de banano y la chía se obtuvo utilizando una KitchenAid equipada con un batidor plano. Durante el proceso, primero se incorporó la chía molida a la harina de banano deshidratada en las proporciones adecuadas. Posteriormente, la mezcla fue trabajada a una velocidad baja-media para asegurar que las partículas se distribuyeran de manera homogénea.

6.5.4. Formulaciones de la harina de banano y chía

La chía se integró en la harina de banano en diferentes proporciones en peso, como se muestra en la siguiente tabla.

Cuadro 5. *Formulaciones de la harina de banano y chía*

Harina	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3	Formulación 4
Chía	2.5%	5%	8%	10%
Banano	97.5%	95%	92%	90%

Nota: elaboración propia

6.5.5. Tamizado

La harina obtenida se pasó por un proceso de tamizado se utilizó una torre de tamiz de la serie Cole Parner. El análisis de granulometría se realizó utilizando tamices estándar ASTM con aperturas de malla de 25, 40, 60, 80 y 100, correspondientes a tamaños de partícula de 707 μm , 420 μm , 250 μm , 177 μm y 149 μm , respectivamente.

Para el análisis, se tomaron 100 gramos de muestra de harina, los cuales se tamizaron de forma secuencial durante un periodo de 10 minutos en un tamizador mecánico. Los pesos retenidos en cada tamiz fueron registrados para calcular la distribución porcentual del tamaño de partículas. Este procedimiento permitió evaluar la homogeneidad y el rango de tamaños presentes en la harina, parámetros que influyen directamente en la funcionalidad y características de los productos alimenticios elaborados con esta materia prima. Adicionalmente, los datos obtenidos se utilizaron para generar una curva granulométrica, proporcionando una representación visual de la distribución de tamaños de partícula en la muestra analizada.

6.5.6. Testear

Se evaluaron las diferentes formulaciones de harina de banano para establecer sus características. Para esto, se realizaron los siguientes análisis que se ejecutaron en triplicado.

Humedad

Se comprobó la humedad de la harina utilizando una muestra en la balanza de humedad marca Ohaus MB90.

Actividad de agua

Se utilizó el equipo AquaLab Pre para establecer la actividad de agua.

Solubilidad en agua y en aceite

Esta prueba se realizó de la siguiente manera:

- a. Se tomó una muestra de 10 gramos de cada formulación de la harina obtenida del banano y, por medio de goteo en una bureta, se agregó agua para establecer la capacidad que tiene de absorción de agua y de solubilización. Se midieron los mililitros que la harina fue capaz de retener y visualmente se estableció si la harina se disolvía o no en el agua.
- b. Se tomó una muestra de 10 gramos de cada formulación de la harina obtenida del banano y, por medio de goteo en una bureta, se agregó aceite para establecer la capacidad que tiene de absorción de aceite y de solubilización. Se midieron los mililitros que la harina fue capaz de retener y visualmente se estableció si la harina se disolvía o no en el aceite. Para la prueba de aceite se utilizó un aceite vegetal.

Capacidad de gelificación

Esta prueba se realizó de la siguiente manera:

- a. Se preparó una solución de 100 mL al 10% en agua en un beaker de 150 mL.
- b. Se tomó una pequeña muestra de la solución y se observó en el microscopio.
- c. Se calentó la solución poco a poco a temperatura baja por 15 minutos hasta que la solución se volvió viscosa.
- d. Se evaluaron cada etapa de la gelatinización del almidón en el microscopio a 50°, 60°, 65°, 70° y 75°C.
- e. Se tomaron fotos de la muestra a cada temperatura. Se anotó la apariencia (color, opacidad, firmeza) de la solución a cada temperatura.

- f. Se tomó en cuenta la temperatura a la cual se iniciaron los cambios de consistencia.
- g. Se cubrió y enfrió el beaker por 1 hora para la formación del gel.
- h. Usando el consistómetro, se midió la consistencia en 30 segundos de medición (Sánchez, T., 2007)

Retención de solventes

Esta prueba se realizó de la siguiente manera:

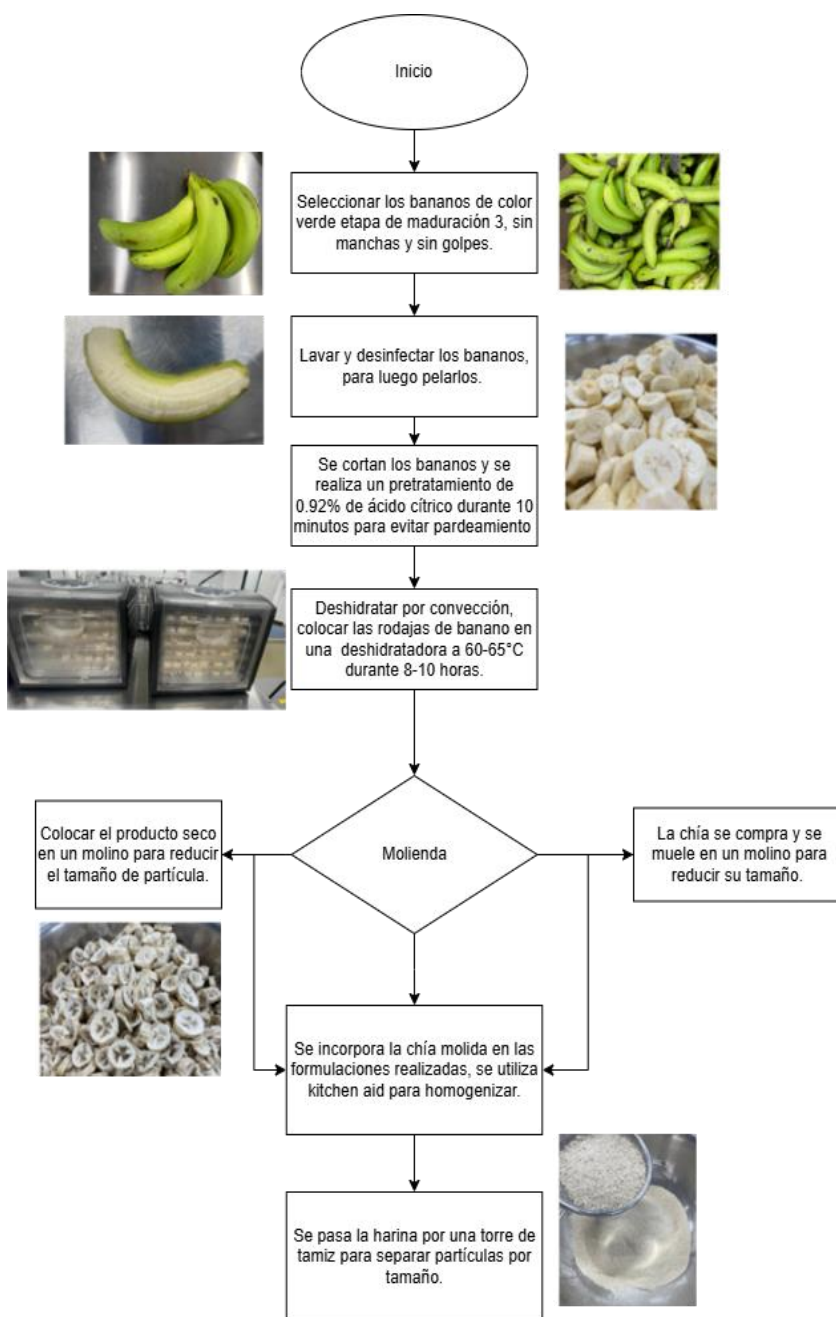
- Dedales para centrífuga
- Solución ácido láctico 5% (p/p),
- Solución sacarosa 50% (p/p) y
- Solución carbonato de sodio 5% (p/p).
- Balanza
- Centrifugadora marca Garver Electrífuga modelo 208

Procedimiento:

- Se tomaron cuatro porciones individuales de 5,0 g de harina y se colocaron en tubos de centrífuga previamente tarados.
- Se hidrataron por separado con 25 g de las siguientes soluciones:
 - Agua destilada
 - Ácido láctico 5% (p/p)
 - Sacarosa 50% (p/p)
 - Carbonato de sodio 5% (p/p).
- Se agitaron vigorosamente por 3 minutos.
- Se centrifugaron por 5 minutos y se descartó el sobrenadante.
- Se obtuvo la masa de cada porción hidratada y se calculó el porcentaje de SRC (Rivera García, 2017).

Diagrama de flujo de proceso

Figura 13. Deshidratadora Ivation modelo IVFD60RB



Nota: elaboración propia

Análisis proximal

Se realizó el análisis proximal a las muestras de harina de banano y chíá en sus diferentes formulaciones, evaluando las siguientes propiedades utilizando los métodos estándar de la AOAC:

- Contenido de humedad a base del método AOAC 925.03
- Contenido de grasa AOAC 920.09
- Contenido de proteínas a base del método AOAC 979.09
- Contenido de cenizas a base del método AOAC 923.03
- Contenido de fibra cruda a base del método AOAC 985.29

Prueba de funcionalidad de la harina

Se realizaron pruebas de funcionalidad de la harina, utilizándose en formulaciones de pan francés, pastel, panqueques y galletas. Además de estas pruebas, se obtuvieron posibles pruebas a partir de la información recopilada de la encuesta de consumidores.

Tras obtener los resultados de estas pruebas, se elaboró un lote con la mejor formulación de la harina y se creó una etiqueta con las instrucciones de uso, basadas en los resultados obtenidos de la prueba de productos. Cada formulación se realizó tanto con harina de trigo como con cada formulación de la harina de banano con chíá.

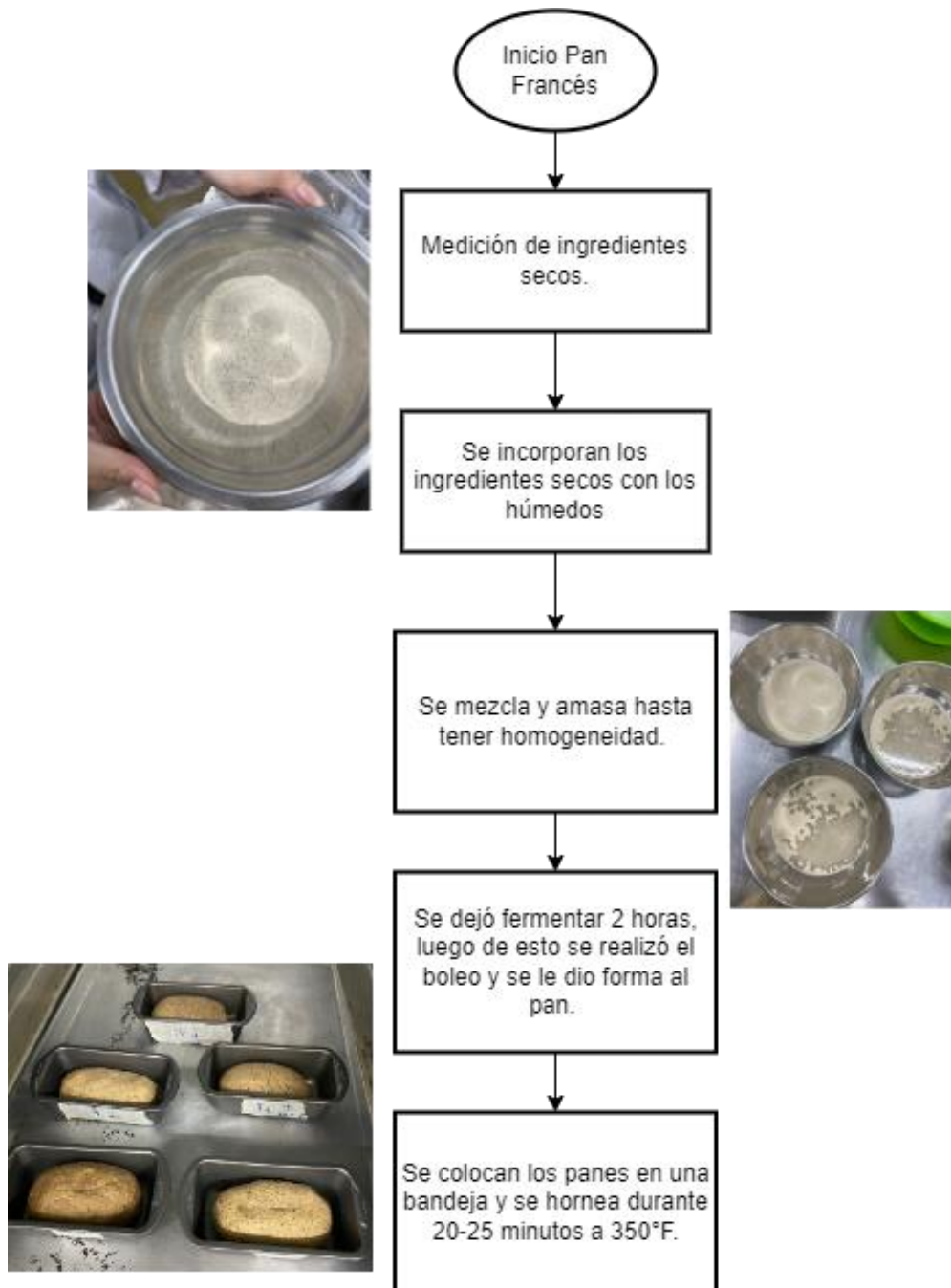
- Receta de pan francés
 - Ingredientes:
 - Agua pura (270g)
 - Levadura instantánea (5g)
 - Azúcar (8g)
 - Harina (450g)
 - Sal fina (8g)
 - Margarina o manteca (15g)
 - Margarina y harina extra para la forma
- Elaboración de pan francés:
 - Se agregó toda el agua en un bowl para poder disolver la levadura
 - Se agregó el azúcar, la harina, la sal y la margarina o manteca

- Se mezcló hasta incorporar todos los ingredientes.
- Una vez incorporados los ingredientes, se empezó con el amasado.
- Se dejó fermentar la masa por 2 horas.
- Una vez fermentada la masa, se realizó el boleado y se le dio forma al pan.
- Se colocaron los panes en una bandeja y se dejaron reposar por 1 hora, tapados con una manta o plástico.
- Se hornearon por 20 a 25 minutos a 350°F.
- Receta de panqueques
 - Ingredientes:
 - 2 tazas de harina
 - 2 cucharaditas de polvo de hornear
 - ½ cucharadita de sal
 - 4 cucharadas de azúcar
 - 1 cucharadita de vainilla
 - 1½ taza de leche
 - 4 cucharadas de mantequilla derretida
 - 3 huevos
- Elaboración de panqueques
 - En un tazón se mezcló todos los ingredientes secos.
 - Se agregó la vainilla, leche y mantequilla derretida mezclada con las yemas de huevo.
 - Se agregaron las claras de huevo batidas a punto de nieve y se mezcló cuidadosamente.
 - Se calentó un sartén a temperatura media
 - Se le agregó al sartén una cucharada de mantequilla para luego formar los panqueques.
- Receta de galleta
 - Ingredientes:
 - Margarina 115g (1 1/2 barra)

- Azúcar 150g (3/4 taza)
- Esencia de vainilla 4g (1 cucharadita)
- Huevo 1 unidad
- Harina 169g (1 taza + 4 cucharaditas)
- Bicarbonato de sodio 2g (1/2 cucharadita)
- Sal fina 1 g (1/4 cucharadita)
- Elaboración de galletas:
 - Se utilizó una batidora para mezclar la margarina con el azúcar. Luego se añadió el huevo y vainilla y se mezcló hasta incorporar.
 - Se le agregó la mezcla de polvos a la mezcla húmeda, se mezcló hasta obtener una masa homogénea.
 - Se le dio forma circular a la masa y se colocó en bandeja para luego hornear a 350°F por 12-15 minutos.

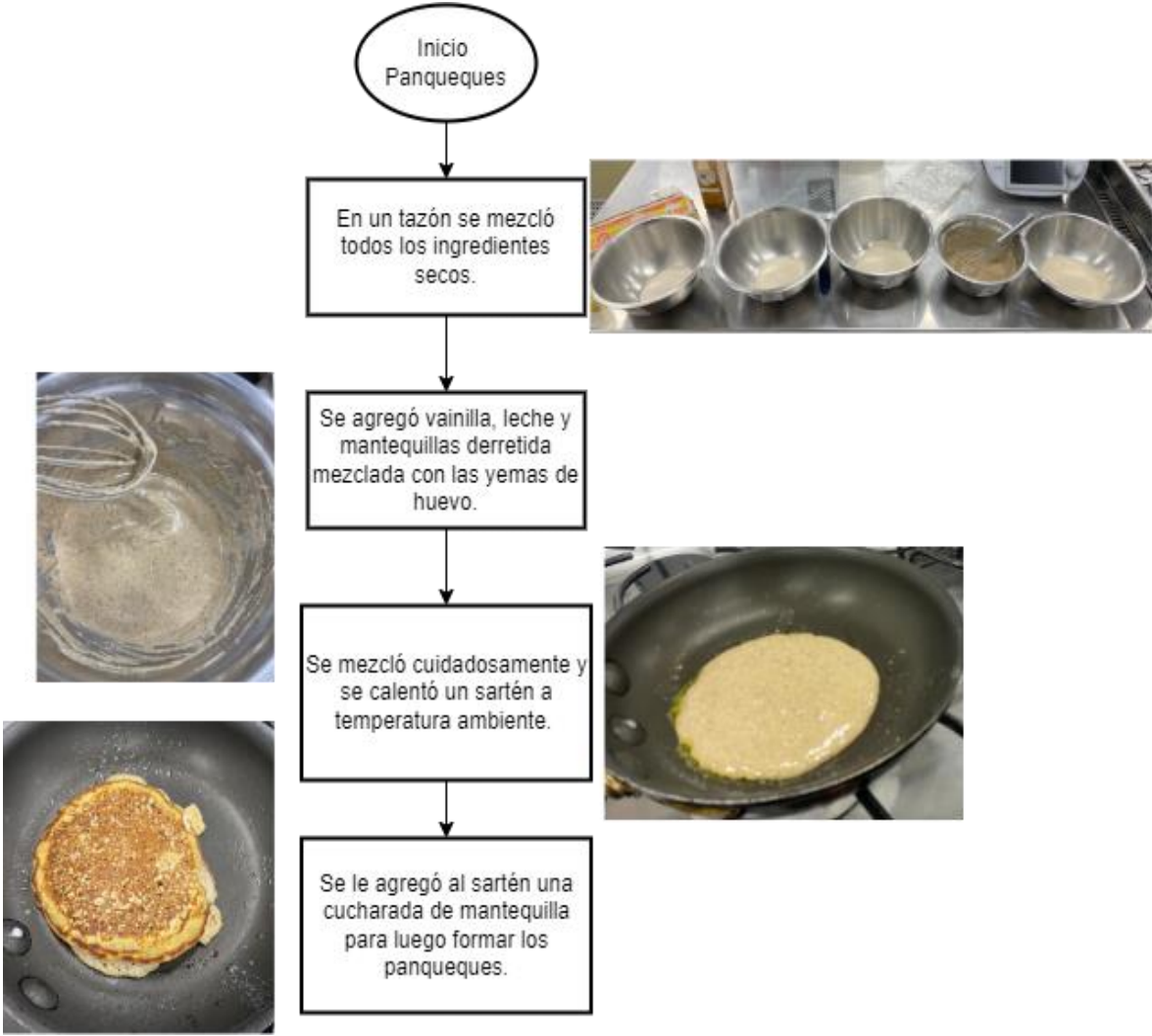
Diagrama de flujo de proceso de producto

Figura 14. Diagrama de flujo de proceso de pan francés



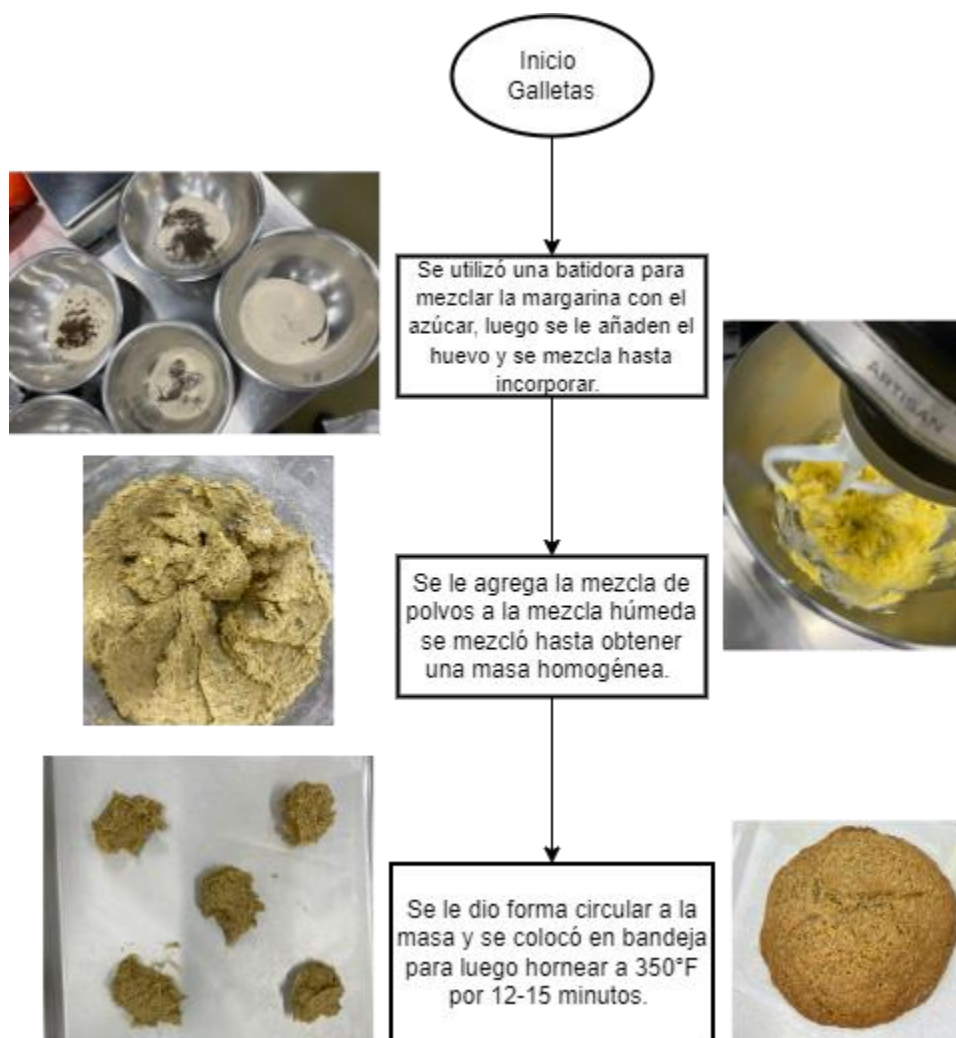
Nota: elaboración propia

Figura 15. Diagrama de flujo de proceso de panqueques



Nota: elaboración propia

Figura 16. Diagrama de flujo de proceso de galletas



Nota: elaboración propia

6.6 Evaluación de productos

6.6.1. Evaluación sensorial

Se llevó a cabo un panel sensorial para evaluar productos elaborados con harina de banano y diferentes proporciones de harina de chíá.

El panel, compuesto por 60 panelistas no entrenados, se dividió en tres fases. En la primera, se evaluaron panqueques elaborados con harina de banano, mientras que en la segunda se probaron galletas con distintas concentraciones de harina de chíá. En la tercera

fase, se llevó a cabo la evaluación de pan francés, elaborado con diferentes proporciones de harina de banano y chía

Los panelistas calificaron los productos en términos de sabor, textura, olor y apariencia, utilizando una escala de 1 a 9, donde 1 representaba "no me gusta nada" y 9 "me gusta mucho". Esta metodología permitió recopilar datos cuantitativos sobre la aceptación general de los productos y analizar cómo las proporciones de chía influyeron en las preferencias de los consumidores para cada atributo evaluado. Las preguntas fueron las siguientes:

- Sabor: ¿Qué tan agradable es el sabor de la harina utilizada en este producto?
- Textura: ¿Qué tan adecuada es la textura de este producto con la harina?
- Olor: ¿Qué tan atractivo es el olor del producto con esta harina?
- Apariencia: ¿Qué tan atractiva es la apariencia del producto elaborado con la harina?

Se utilizó una escala 1 a 9: (1) No me gusta nada – (9) Me gusta mucho.

Los puntajes para la escala fueron los siguientes:

- Puntajes entre 1-3: Rechazo
- Puntajes entre 4-6: Aceptación neutra.
- Puntajes entre 7-9: Alta aceptación

6.6.2. Selección de la mejor formulación

Luego de haber realizado las pruebas en las diferentes formulaciones, se determinó la mejor formulación basada las pruebas sensoriales, siendo considerado aceptable cualquier valor promedio que superara los 7 puntos en los diferentes atributos evaluados. Este rango indicaba un nivel satisfactorio de aceptación por parte de los consumidores, garantizando que la formulación cumpliera con las expectativas sensoriales del mercado. También se definieron los usos que puede tener esta harina.

a. Análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis de varianza estadístico de 1 factor (ANOVA) para determinar si existe diferencia significativa entre los resultados de los atributos obtenidos de las 3 muestras estudiadas en el análisis sensorial. Para esto, se realizó el análisis con nivel de significancia del 5%, utilizando la herramienta de Excel para el cálculo del valor-p.

Para todos los resultados se calculó la incertidumbre, tomando en cuenta la incertidumbre de las herramientas y equipos utilizados para las mediciones y recopilación de datos. Las incertidumbres se calcularon con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1. Incertidumbre de suma y resta

$$S_y = \sqrt{S_a^2 + S_b^2 + S_c^2 + \dots}$$

Ecuación 2. Incertidumbre de multiplicación y división

$$S_y = yx \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{S_c}{c}\right)^2 \dots}$$

7. Resultados y Discusión

En esta sección se presentan los hallazgos obtenidos durante el desarrollo de la harina de banano y chía, así como su caracterización y evaluación. Los resultados incluyen análisis fisicoquímicos, sensoriales y funcionales, los cuales se compararon con estándares establecidos y productos de referencia disponibles en el mercado. Además, se discuten las implicaciones de estos hallazgos en relación con la calidad y las propiedades tecnológicas de las formulaciones desarrolladas, destacando las ventajas nutricionales y funcionales de combinar banano deshidratado y chía en productos libres de gluten. La discusión se basa en la interpretación detallada de los datos obtenidos y su relevancia para el diseño de harinas innovadoras destinadas a consumidores con requerimientos dietéticos específicos.

7.1 Empatizar

Empatizar, en el contexto del desarrollo de productos, es el proceso de comprender profundamente las necesidades, expectativas y problemas de los usuarios para diseñar soluciones que realmente resuelvan sus inquietudes. En este caso, se aplicaron dos metodologías complementarias: Design Thinking y la Casa de Calidad. La fase de empatización en Design Thinking incluyó entrevistas con usuarios, lo que permitió recolectar información directa sobre sus preferencias, hábitos de consumo y expectativas emocionales hacia los productos (Brown, 2009). Por otro lado, la metodología de la Casa de Calidad complementó este enfoque al analizar opciones disponibles en el supermercado, permitiendo identificar atributos clave de los productos competidores y traduciéndolos en especificaciones técnicas y funcionales (Hauser y Clausing, 1988). Este enfoque combinado, que abarca tanto la perspectiva del consumidor como el análisis técnico del mercado, proporciona una visión integral que garantiza el desarrollo de productos alineados con las expectativas del usuario final, reforzando el compromiso con soluciones personalizadas y competitivas.

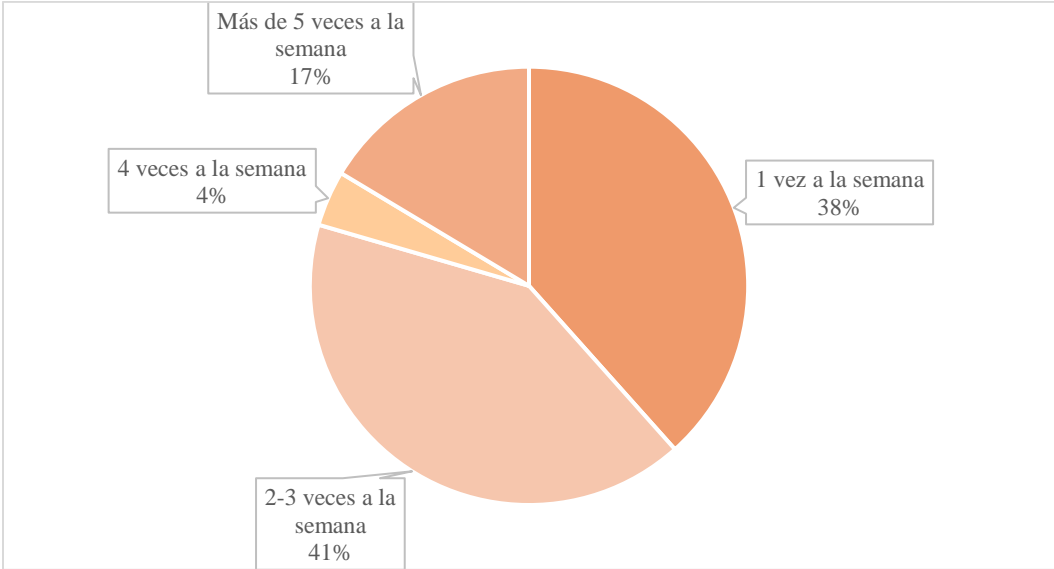
7.1.1. Entrevistas

Las entrevistas fueron realizadas con un enfoque cualitativo, buscando recopilar información detallada y subjetiva sobre los hábitos, preferencias y necesidades de los consumidores respecto a harinas, especialmente las libres de gluten. Se llevaron a cabo con

un grupo diverso de personas, asegurando que incluyeran consumidores regulares de productos de panificación, personas con restricciones dietéticas como la intolerancia al gluten, y usuarios interesados en alternativas más saludables o innovadoras. La entrevista consistió en una serie de preguntas abiertas, diseñadas para explorar tanto el comportamiento de consumo como las expectativas hacia las harinas libres de gluten y sus características.

Se preguntó con qué frecuencia consumen productos elaborados con harina y qué tipos de harina suelen utilizar, para entender la relevancia de las harinas libres de gluten en su dieta diaria. Además, se indagó sobre las características más valoradas en estos productos, como el sabor, la textura, los beneficios para la salud y el precio, con el objetivo de identificar los factores de decisión al momento de compra. Asimismo, se buscó comprender las percepciones de los participantes sobre las alternativas, como la harina de banano o chía, y los motivos que podrían incentivarlos a probarlas. Las preguntas fueron diseñadas para obtener una comprensión profunda de las necesidades de los consumidores.

Figura 17. Frecuencia de consumo de productos elaborados con harina



Nota: elaboración propia

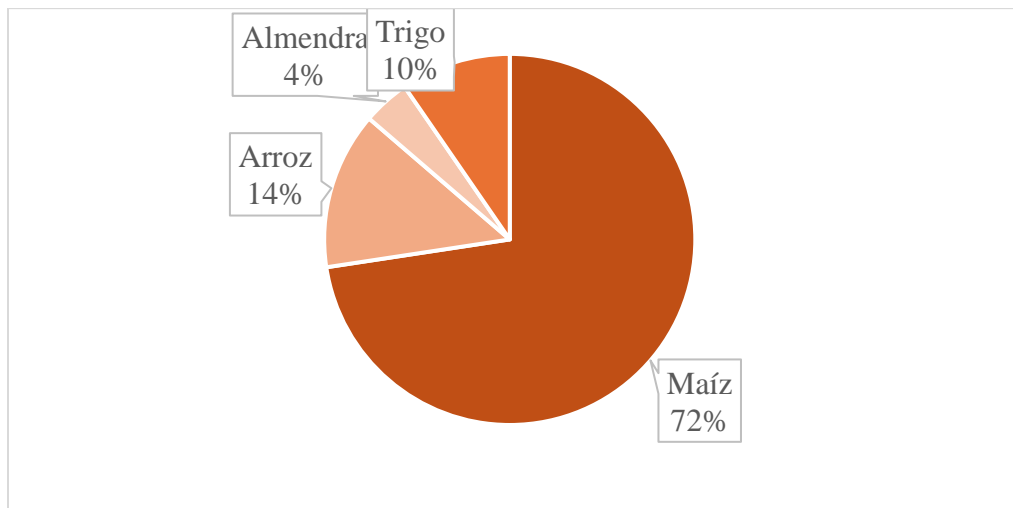
La figura 17 refleja la frecuencia con la que los consumidores ingieren productos elaborados con harina. Los resultados muestran que un 41.1% de los encuestados consume productos con harina 2-3 veces por semana, lo que indica una presencia significativa de estos productos en la dieta regular de los consumidores.

Además, un 38.4% de los encuestados reporta consumirlos una vez por semana, lo que sugiere que una proporción considerable de la población incluye estos productos de manera constante en su alimentación, aunque con menor frecuencia. Estos datos son consistentes con estudios previos que afirman que los productos derivados de harinas, como el pan, las tortillas y otros productos horneados, constituyen una parte fundamental de las dietas tradicionales en varias culturas, especialmente en América Latina (Castañeda-González, 2017).

Un 16.4% de los participantes reportó consumir productos elaborados con harina más de cinco veces por semana, evidenciando un segmento de alto consumo en la población encuestada. Este grupo representa un mercado potencialmente atractivo para las harinas alternativas, como aquellas sin gluten, ya que su frecuencia de consumo podría generar una demanda constante. Sin embargo, este segmento también plantea un desafío: al ser consumidores habituales, es más probable que tengan preferencias consolidadas y muestren mayor resistencia a cambiar a nuevas opciones, incluso si estas ofrecen beneficios adicionales. Estudios como el de Arendt y Dal Bello (2008) destacan que, aunque el interés en productos sin gluten ha crecido debido a preocupaciones por intolerancias alimentarias y dietas especializadas, la aceptación de estos productos depende en gran medida de su capacidad para igualar o superar las propiedades sensoriales y funcionales de las harinas tradicionales.

En contraste, el 4.1% de los encuestados que consume productos con harina solo cuatro veces por semana representa un segmento con menor dependencia de estos alimentos. Este grupo podría estar más abierto a explorar alternativas, motivado por intereses de salud o curiosidad hacia nuevos productos. Esto sugiere que, mientras los consumidores de alto consumo requieren estrategias enfocadas en destacar atributos como sabor y textura, los consumidores menos frecuentes podrían ser más receptivos a mensajes relacionados con los beneficios funcionales o diferenciadores de las harinas alternativas. Identificar y adaptar estrategias para estos segmentos resulta crucial para maximizar la aceptación y éxito de los productos en el mercado.

Figura 18. *Categorías de harina que se utilizan los consumidores*



Nota: elaboración propia

El análisis de los resultados en la figura 18 revela que la harina de maíz es la más consumida, con un 72.6% de los encuestados que la incorporan regularmente en su dieta, lo que refleja la relevancia cultural y alimentaria del maíz en América Latina, especialmente en productos como las tortillas. En comparación, la harina de arroz, con un 13.7% de uso, está ganando popularidad, principalmente debido a la creciente demanda de productos sin gluten. Las harinas de almendra y trigo muestran una menor prevalencia, con 4.1% y 9.6% respectivamente, siendo la primera preferida por consumidores de dietas bajas en carbohidratos y la segunda perdiendo aceptación debido a preocupaciones sobre el gluten. Estos datos sugieren que el mercado de harinas tiene potencial de crecimiento, especialmente en productos innovadores que ofrezcan beneficios nutricionales y funcionales.

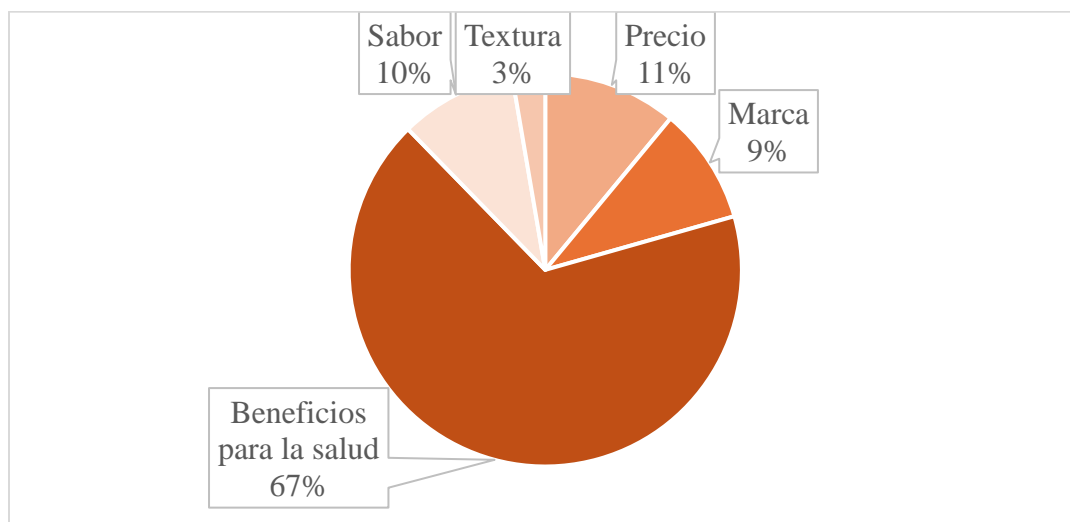
Cuadro 6. *Motivos de los consumidores para escoger harinas libres de gluten*

Pregunta	Razones
¿Cuál es el motivo de consumir harinas libres de gluten?	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la salud • Alergias • Celiaquía • Intolerancias al gluten

Nota: elaboración propia





El cuadro 6 refleja los principales motivos por los cuales los consumidores optan por harinas libres de gluten, destacando razones como la mejora de la salud, alergias, celiacía e intolerancias al gluten. Estos resultados son consistentes con la tendencia creciente hacia el consumo de productos libres de gluten, no solo entre personas con celiacía, sino también entre aquellos que buscan mejorar su bienestar general y evitar posibles reacciones adversas al gluten (Arendt y Dal Bello, 2008). La celiacía y las intolerancias al gluten son motivos claros y documentados para la elección de estos productos, sin embargo, la búsqueda de una alimentación más saludable también se posiciona como un factor relevante, lo que sugiere que el mercado de productos sin gluten tiene un atractivo más amplio, incluso para personas sin condiciones médicas relacionadas (Pasqualone, 2020). Estos datos indican un crecimiento potencial en la demanda de harinas libres de gluten, impulsado por preocupaciones de salud y bienestar general.

Figura 19. Factores más importantes para el consumidor al escoger una harina de banano



Nota: Elaboración propia

Los datos de la figura 19 revelan que el beneficio para la salud es el factor más importante para los consumidores al elegir una harina de banano, con un 67.1% priorizando este aspecto. Este hallazgo es muy positivo, ya que refleja que los consumidores están dispuestos a sacrificar ciertos atributos sensoriales, como el sabor (9.6%) y la textura (2.7%), si los beneficios para la salud son mayores. Asimismo, factores como el precio (11%) y la

	<p>Si cumple</p>	<p>Harina de arroz, almidón de tapioca, manteca, polvo para hornear, sal yodada, carboximetilcelulosa.</p>
	<p>Si cumple</p>	<p>Almidón de maíz, agua, masa madre 19% (harina de arroz, agua), harina de arroz, fibras vegetales, aceite de girasol alto oleico, proteína espesante: hidroxipropilmetilcelulosa, almidón de arroz, germen de maíz, vinagre de manzana, levadura, jarabe de arroz, sal yodada, trazas de atramuz y mostaza.</p>
	<p>Si cumple</p>	<p>Almidón de maíz, fructuosa, manzana deshidratada, harina de maíz, levaduras químicas: fosfato monocálcico, bicarbonato de sodio, carbonato de calcio; canela, almidón de papa, harina de guisante amarillo, almidón de tapioca, gomas vegetales: goma guar, metilcelulosa; ácido cítrico.</p>
	<p>Si cumple</p>	<p>Almidón de maíz, harina de arroz, almidón de tapioca, goma guar.</p>

Nota: elaboración propia

La revisión de productos recolectados en dos cadenas de supermercados reveló una variedad de opciones de harinas y mezclas sin gluten. Predominaron ingredientes como la harina de arroz, presente en la mayoría de los productos, junto con otros como fécula de tapioca, almidón de papa y goma xantana, los cuales son conocidos por sus propiedades funcionales en la producción de productos sin gluten. La harina de arroz es valorada por su textura fina y sabor neutro, lo que la convierte en una base versátil para productos sin gluten; además, su capacidad de absorción de líquidos y de formar masas ligeras contribuye a mejorar la textura de panes y repostería (Zhou, 2021). Por su parte, la fécula de tapioca y el almidón de papa actúan como mejoradores de estructura, ya que incrementan la viscosidad y ayudan a retener humedad, propiedades esenciales en la ausencia de gluten (Matos y Rosell, 2015). La goma xantana, ampliamente utilizada como estabilizante y espesante, emula las propiedades viscoelásticas del gluten al formar redes que mejoran la cohesión y elasticidad de las masas, permitiendo obtener productos con características sensoriales más cercanas a las versiones tradicionales con gluten (Arendt y Dal Bello, 2008). Estos ingredientes, en combinación, son fundamentales para garantizar que los productos sin gluten tengan una textura, estructura y calidad sensorial aceptable para los consumidores.

En términos de formulación, la harina de arroz se posiciona como un componente clave debido a su textura fina y versatilidad, que le permite actuar como base principal en mezclas de panificación y repostería. Otros ingredientes, como la goma xantana, desempeñan un papel esencial en la estructura y cohesión de las masas, reemplazando en parte las propiedades del gluten.

En términos de formulación, la harina de arroz se posiciona como un componente clave en productos libres de gluten debido a sus características fisicoquímicas y composición única que la hacen adecuada para replicar algunas propiedades funcionales del gluten. La harina de arroz está compuesta principalmente por almidón (75-80%), proteínas (6-8%), lípidos (2-3%) y una pequeña proporción de fibra dietética (1-2%) (Zhou et al., 2021). Este alto contenido de almidón, predominantemente amilosa y amilopectina, es crucial para proporcionar estructura y volumen en masas libres de gluten, ya que el almidón gelatiniza al calentarse, formando una matriz que ayuda a estabilizar la miga y retener la humedad en los productos horneados.

El almidón de la harina de arroz es especialmente valorado por su bajo tamaño de partícula y textura fina, lo que contribuye a una masa suave y homogénea. Además, su sabor neutro y color claro lo convierten en una base versátil para mezclar con otros ingredientes sin alterar las propiedades sensoriales del producto final. Sin embargo, al no contener gluten, la harina de arroz por sí sola no puede proporcionar las propiedades viscoelásticas necesarias para retener gases y permitir el leudado en productos como panes o pasteles. Por esta razón, se combina frecuentemente con otros ingredientes funcionales para mejorar su desempeño.

Uno de los ingredientes más utilizados en combinación con la harina de arroz es la goma xantana, un polisacárido de alto peso molecular derivado de la fermentación bacteriana. La goma xantana actúa como un sustituto del gluten al formar una red tridimensional que otorga elasticidad y cohesión a las masas. Esta red mejora la capacidad de retención de gases durante la fermentación y horneado, resultando en productos con mayor volumen y una textura más aireada (Arendt y Dal Bello, 2008). Además, la goma xantana contribuye a la estabilidad de la masa durante el horneado, evitando el colapso de las burbujas de aire y asegurando una miga uniforme.

Otro ingrediente complementario es la fécula de tapioca, que se utiliza para mejorar la textura y proporcionar una sensación más suave en el paladar. La fécula de tapioca, rica en amilopectina, mejora la elasticidad de las masas y actúa como agente espesante, ayudando a retener la humedad en productos horneados, lo cual es crucial en la ausencia de gluten. Asimismo, el almidón de papa, con características similares, se incorpora para mejorar la viscosidad y extender la vida útil al reducir la retrogradación del almidón en los productos terminados (Matos y Rosell, 2015).

En términos de proteínas, aunque la harina de arroz contiene un bajo contenido proteico, sus proteínas (principalmente globulinas y albúminas) tienen propiedades emulsificantes que ayudan a estabilizar las masas. Sin embargo, no poseen la capacidad de formar una red elástica como el gluten, por lo que se complementan con otras proteínas vegetales, como las de soya, chícharo o almendra, para mejorar la cohesión y densidad de la masa.

Los productos analizados también destacaron por su enfoque en mezclas específicas para galletas y panqueques, mostrando la adaptabilidad de las harinas sin gluten a diversas aplicaciones. Esto refleja una clara tendencia del mercado hacia la diversificación y

especialización de productos para satisfacer las necesidades de consumidores con restricciones dietéticas.

La etapa de empatía permitió identificar de manera integral las necesidades, las preferencias y las motivaciones de los consumidores en relación con productos a base de harinas alternativas, como las libres de gluten. Mediante entrevistas con usuarios y análisis de productos en supermercados, se destacó que los beneficios para la salud son el factor determinante en las decisiones de compra, por encima de atributos como precio, sabor y textura. Además, se observó que los consumidores más dispuestos a adoptar estas alternativas valoran las propiedades funcionales y nutricionales, incluso cuando implican sacrificar ciertos atributos sensoriales. Por otro lado, se detectó que los consumidores con patrones de alto consumo de harinas tradicionales pueden requerir estrategias diferenciadas debido a su resistencia al cambio.

7.2 Identificación del problema

El problema identificado es la falta de opciones adecuadas y saludables de harinas alternativas libres de gluten que ofrezcan características funcionales y sensoriales comparables a las harinas tradicionales, destinadas a personas que padecen enfermedad celíaca o que siguen dietas sin gluten. Actualmente, las harinas alternativas disponibles en el mercado suelen carecer de cohesión y propiedades estructurales debido a la ausencia de gluten, lo que limita su desempeño en la formulación de productos de panificación y repostería. Las harinas de banano y chía presentan un potencial significativo como ingredientes innovadores para abordar esta necesidad, gracias a sus propiedades funcionales como la riqueza en almidón resistente, fibra, ácidos grasos omega-3 y proteínas. Sin embargo, estas harinas no están completamente caracterizadas, ni se ha evaluado de manera integral su desempeño conjunto en la formulación de productos libres de gluten.

El desarrollo de una harina a base de banano y chía se fundamentó en las necesidades identificadas durante la etapa de entrevistas, las cuales reflejaron una demanda específica de los consumidores por alternativas más saludables y funcionales en el mercado de productos libres de gluten. Según los resultados obtenidos, el 72.6% de los consumidores utiliza harinas a base de maíz, y el motivo principal para consumir harinas libres de gluten está relacionado con la mejora de la salud (67.1%). Esto evidencia una oportunidad para introducir un

producto que combine beneficios nutricionales, como los aportados por la chía, con las características funcionales del banano verde. Además, la frecuencia de consumo de productos elaborados con harina (2-3 veces por semana) indica que los consumidores están interesados en alternativas que puedan integrarse fácilmente a su dieta habitual. Este escenario refuerza la relevancia de ofrecer una harina que no solo sea libre de gluten, sino que también aporte beneficios adicionales, como mejor digestión, textura y funcionalidad en productos horneados.

Cuadro 8. *Resumen de datos principales obtenidos en la etapa de entrevistas*

	Frecuencia de consumo de productos elaborados con harina	Categorías de harina utilizadas por los consumidores	Motivos para consumir harinas libres de gluten	Factores importantes al escoger una harina de banano
Resultados	2-3 veces por semana	72.6%	Mejorar la salud	67.1%

Nota: elaboración propia

7.3 Ideación

El diseño de los prototipos conceptuales se fundamentó en la necesidad de abordar los retos específicos de los productos libres de gluten, teniendo en cuenta las propiedades funcionales y nutricionales del banano y la chía. Cada prototipo fue desarrollado para satisfacer requerimientos específicos según su aplicación alimenticia, asegurando un balance entre funcionalidad, estabilidad y características sensoriales.

Cuadro 9. *Elaboración de prototipo conceptual*

Requerimientos del Producto	Cumplimiento
Capacidad de retención de agua	X
Capacidad de retención de aceite	X
Capacidad de gelificación	X
Incremento de contenido de fibra	X
Versatilidad en aplicaciones (pan, galletas y panqueques)	X
Aceptación sensorial (sabor y olor) X	X

Nota: elaboración propia

Cuadro 10. *Formulación de harina de banano con diferentes proporciones de chía*

Ingredientes	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3	Formulación 4
Chía	2.5%	5%	8%	10%
Banano	97.5%	95%	92%	90%

Nota: elaboración propia

Las diferentes proporciones de chía en las formulaciones de harina de banano (2.5%, 5%, 8% y 10%) fueron seleccionadas con base en fundamentos teóricos que consideran las propiedades químicas y funcionales complementarias de ambas harinas. Estas proporciones tienen como objetivo evaluar cómo la fibra dietética y los carbohidratos complejos, como los polisacáridos no almidonados y los oligosacáridos presentes en la chía, interactúan con el almidón resistente y las propiedades texturizantes de la harina de banano. Este enfoque busca optimizar la cohesión, la retención de agua y el perfil nutricional de las harinas para su aplicación en productos libres de gluten.

En la formulación 1 (2.5% de chía), se eligió un porcentaje bajo para explorar un aporte moderado en la capacidad de retención de agua, permitiendo una mejora ligera en la textura sin alterar de manera significativa las características organolépticas de los productos. Este nivel incrementa sutilmente el contenido de fibra y omega-3, manteniendo la ligereza de los productos. Según Ixtaina et al. (2011), pequeñas cantidades de chía son capaces de mejorar la funcionalidad en productos horneados al proporcionar cohesión y estabilidad sin comprometer la textura ni el sabor.

Por su parte, la formulación 2 (5% de chía) incrementa notablemente la cohesión de las masas y mejora la capacidad gelificante, lo que resulta en una textura más firme y estable. Este porcentaje permite un aumento significativo en fibra y proteínas, lo que la hace particularmente adecuada para productos como panqueques y galletas, donde se requiere una textura uniforme y consistente. Según Capitani et al. (2012), estas proporciones de chía favorecen la retención de agua y la estabilidad estructural de las masas, características fundamentales para formulaciones libres de gluten.

La formulación 3 (8% de chía) fue seleccionada como un punto intermedio que representa un equilibrio entre funcionalidad y valor nutricional. Este porcentaje maximiza la capacidad de formar geles y retener agua, generando texturas más densas y bien estructuradas, adecuadas para productos como galletas crocantes o panqueques con mayor cohesión. Además, su alto contenido de fibra, omega-3 y proteínas la posiciona como una opción funcional y nutritiva, ideal para consumidores con requerimientos específicos. Olivos-Lugo et al. (2010) destacan que este nivel de chía puede contribuir significativamente a mejorar la funcionalidad nutricional de los productos sin gluten.

Finalmente, la formulación 4 (10% de chía) se incluyó para evaluar el máximo potencial nutricional que la chía puede aportar. Este porcentaje ofrece el mayor contenido de fibra, omega-3 y proteínas, lo que maximiza los beneficios funcionales y nutricionales de la harina. Sin embargo, se reconoce que este nivel puede generar masas más densas y menos elásticas, lo que podría no ser ideal para productos como panes, pero sería adecuado para aplicaciones como galletas integrales o barras energéticas, donde la densidad es menos crítica para la calidad sensorial (Coelho y Salas-Mellado, 2018).

7.4 Prototipado

7.4.1. Elaboración de casa de calidad

El prototipado es una etapa clave en el desarrollo de productos innovadores, ya que permite materializar las ideas conceptuales en soluciones concretas que puedan ser evaluadas y mejoradas. En esta fase, se diseñaron y probaron las diferentes formulaciones de harina de banano y chía diseñadas en la etapa anterior. Este proceso se enfocó en garantizar que las harinas cumplieran con los requisitos establecidos, como la ausencia de gluten, la capacidad de retención de agua, y las propiedades nutricionales y sensoriales deseadas. A través de iteraciones y evaluaciones, el prototipado permitió refinar las formulaciones para satisfacer las necesidades de los consumidores y las demandas técnicas del mercado, marcando un paso fundamental hacia la obtención de un producto competitivo y funcional.

Figura 20. Casa de calidad elaborada con los datos obtenido de las encuestas

Customer importance rating	Functional Requirements (How's) → Customer Requirements - (What's) ↓	Proceso de certificación sin gluten	Desarrollo de fórmula nutricional	Optimización de sabor y textura	Diseño de empaque	Estrategias de etiquetado	Weighted Score	Competitive evaluation (1: low, 5: high)		
								Tinita	Ogran	Bob's Red Mill
5	Seguridad Alimentaria-Garantizar 100% un producto libre de gluten	9	9	6	1	9	170			
4	Nutrición	9	9	5	1	1	100			
4	Sabor y textura-Agradable al paladar, versátil para diversas recetas	1	5	9	1	1	68			
3	Facilidad de uso- fácil integración en recetas existentes	5	5	7	1	1	57			
3	Empaque y etiquetado-Protección e información clara	9	7	1	9	9	105			

Correlation:	
+	Positive
.	No correlation
-	Negative

Relationships:		
9	3	1
Strong	Moderate	Weak
None		

Competitive evaluation (1: low, 5: high)

La competencia contiene características importantes que busca el consumidor, pero no tiene la versatilidad de una harina, debido a que venden harinas para específicos productos sin gluten.

Nota. elaboración propia

La Casa de Calidad presentada en la Figura 20 destaca las prioridades fundamentales para el desarrollo de una harina de banano y chía, alineadas con las necesidades y expectativas de los consumidores. Entre los atributos clave identificados se encuentran el sabor y textura agradables, y la facilidad de uso, características que están directamente relacionadas con factores técnicos como la humedad, la granulometría y la proporción de componentes en la mezcla.

La humedad es un factor crítico, ya que impacta la estabilidad y vida útil del producto. Un contenido bajo de humedad reduce significativamente el riesgo de crecimiento microbiano, mejorando la conservación y facilitando su almacenamiento prolongado, características esenciales para garantizar la seguridad alimentaria en productos sin gluten (Codex Alimentarius, 1995).

La granulometría influye directamente en la funcionalidad y percepción sensorial del producto. Según estudios previos, una distribución homogénea de partículas favorece la absorción de agua y facilita la integración de la harina en diversas preparaciones, garantizando una textura uniforme y agradable (Gómez, 2020). Además, la granulometría afecta las propiedades reológicas, lo que resulta crucial para el desarrollo de productos horneados como galletas y panes, donde el tamaño de partícula incide en la cohesión de la masa y el perfil final del producto.

La proporción de componentes en la mezcla de banano y chía es clave para equilibrar propiedades funcionales y nutricionales. El banano aporta almidón resistente, el cual gelatiniza durante el horneado, proporcionando estructura y estabilidad al producto (Agama-Acevedo, 2012). Por su parte, la chía mejora la capacidad de retención de agua y aporta fibra, proteínas y ácidos grasos esenciales como omega-3, contribuyendo al perfil saludable del producto (Ullah, 2016). Este balance permite satisfacer las demandas de consumidores que buscan alimentos con beneficios funcionales y nutricionales.

7.4.2. Caracterización de materia prima

Cuadro 11. Evaluación de color de banano en etapa 3 de maduración



Nota: elaboración propia

La evaluación del color de los bananos en la etapa 3 de maduración, comparada con la cartilla estándar, confirma que los frutos presentan las características visuales propias de esta fase, descrita como verde con leves tonalidades amarillas. Esta etapa es óptima para aplicaciones industriales debido a su elevado contenido de almidón resistente, que aún no se ha convertido significativamente en azúcares simples. El almidón resistente es un componente funcional clave en productos sin gluten, ya que mejora la textura, contribuye a la capacidad de gelificación y favorece la estructura en productos horneados (Juarez-Garcia, 2006).

Cuadro 12. Promedio de resultados de análisis de pH, °Brix, porcentaje de almidón y actividad de agua en los bananos en etapa 3 de maduración utilizados para elaboración de harina

pH	°Brix %	% de almidón	Aw
5.49±0.01	1.33±0.20	18.9 ±0.3	0.76±0.03

Nota: elaboración propia

La formulación de harinas de banano y chía se realizó utilizando bananos en etapa de maduración tipo 3, seleccionados por su composición específica y características funcionales. En esta etapa de maduración, el banano contiene un alto porcentaje de almidón, cuya fracción

resistente, definida como aquella que no se digiere en el estómago ni en el intestino delgado y que llega al colon para ser fermentada por el microbiota intestinal, es particularmente relevante. Estas propiedades lo hacen un componente clave en la formulación de harinas sin gluten, ya que contribuye a la retención de humedad y la estabilidad estructural durante el horneado, optimizando la calidad del producto final (Fuentes-Zaragoza, 2011). La elección del banano en estado verde (maduración tipo 3) para la formulación de harina de banano y chíá se basó en las características específicas de su composición, particularmente el alto contenido de almidón.

El almidón es uno de los principales componentes del banano verde y tiene un rol fundamental en sus propiedades funcionales. En esta etapa de maduración, el almidón aún no se ha descompuesto en azúcares simples, lo que permite aprovechar sus capacidades para retener agua y gelificar al calentarse. Estas características son esenciales para mejorar la textura y la estructura de productos horneados, especialmente en formulaciones sin gluten, donde el almidón debe compensar la ausencia de la red estructural que normalmente proporciona el gluten (Mohapatra, 2010). Además, el banano en esta etapa equilibra la presencia de azúcares naturales, contribuyendo a un perfil de sabor suave y equilibrado. Esta composición permite que la harina elaborada a partir de banano verde sea versátil, adecuada tanto para productos dulces como salados, ampliando su aplicabilidad en diferentes preparaciones alimenticias y aumentando su valor funcional y comercial.

Estudios previos han señalado que esta etapa de maduración es ideal para aplicaciones industriales, ya que el banano aún conserva un alto contenido de almidón, representando hasta el 70-80% de su peso seco (Mohapatra, 2010). Este contenido elevado de almidón contribuye a la firmeza característica del banano verde y su resistencia a descomponerse rápidamente.

Además, estos niveles de maduración inicial presentan sabores astringentes y notas de frutas verdes que pueden ser percibidos como desagradables en ciertos productos. En contraste, la maduración tipo 3 equilibra el contenido de almidón y azúcares naturales, favoreciendo un perfil de sabor más suave y neutro, lo que permite que la harina elaborada sea versátil, adecuada para productos tanto dulces como salados, ampliando su aplicabilidad en diferentes preparaciones alimenticias.

El Cuadro 12 presenta datos característicos de los bananos verdes *Musa Cavendish* en etapa de maduración 3, que corresponden a un pH promedio de 5.49. Este valor de pH es consistente con lo reportado en otros estudios sobre bananos en etapa de madurez inicial, donde la acidez se atribuye a la presencia de ácidos orgánicos como el ácido cítrico y málico, componentes primarios de los bananos verdes (Aurore, 2009). La ligera acidez en esta etapa de maduración juega un rol importante en la estabilidad inicial del fruto al limitar, aunque no inhibir por completo, el crecimiento de ciertos microorganismos.

La actividad de agua (a_w) de 0.76 refleja un nivel adecuado para restringir el crecimiento de la mayoría de los microorganismos patógenos y deteriorantes, lo cual es esencial para prolongar la vida útil del banano verde.

El pH y grados Brix están correlacionados con el perfil sensorial del banano verde. En esta etapa, el sabor tiende a ser astringente y se perciben notas de frutas verdes, características que se atribuyen a la concentración de compuestos fenólicos y al bajo nivel de azúcares simples en comparación con etapas más avanzadas de maduración (Cordenunsi, 2003). Estas propiedades hacen que los bananos verdes sean menos atractivos para el consumo directo, pero muy adecuados para aplicaciones industriales donde se busca aprovechar su composición química, como en la producción de derivados alimenticios. Los grados Brix encontrados, muestran un valor bajo, el cual es característico de los bananos en etapa de maduración tipo 3, donde el almidón aún no se ha transformado significativamente en azúcares simples. Este bajo contenido de azúcares es beneficioso para consumidores que buscan productos con bajo índice glicémico (Cordenunsi, 2003).

En este estudio, se determinó que el porcentaje de almidón fue de 18.9%, un valor consistente con lo reportado para bananos verdes, donde el contenido de almidón puede alcanzar entre 18% y 22% en base fresca, dependiendo de la variedad y las condiciones de cultivo (Aurore, 2009). El almidón en esta etapa de maduración es particularmente útil para aplicaciones tecnológicas y funcionales, como espesantes o mejoradores de textura en productos horneados.

Este contenido de almidón es significativamente mayor que el de bananos en etapas más maduras, en las cuales el almidón se degrada a azúcares simples como glucosa y sacarosa por acción de enzimas como la amilasa. En bananos completamente maduros, el contenido

de almidón puede descender a valores tan bajos como el 1% (Mohapatra, 2010). Es por eso que un banano maduro no es adecuado para la harina que se desea desarrollar.

El valor de 18.9% indica que los bananos en esta etapa aún poseen un almidón suficiente para contribuir a la estructura y funcionalidad en aplicaciones alimenticias, pero también están en una fase en la que se comienza a observar una transición hacia mayores niveles de azúcares. Este balance permite que el banano tipo 3 sea versátil para diferentes usos, tanto en productos dulces como salados, ya que aporta tantas características texturales como un perfil de sabor neutro que no domina en las formulaciones (Aurore, 2009).

En comparación con estudios previos, los resultados de este análisis destacan la importancia de elegir cuidadosamente el nivel de maduración para maximizar las propiedades funcionales del banano. Los bananos en nivel de maduración tipo 3, con un contenido de almidón intermedio, ofrecen un equilibrio ideal entre funcionalidad tecnológica y aceptabilidad sensorial (Cordenunsi, 2003).

7.4.3. Elaboración de la harina

Selección de banano

Se seleccionaron bananos verdes en la etapa de maduración 3 porque en esta fase presentan un alto contenido de almidón resistente, un carbohidrato que aporta funcionalidad en productos libres de gluten al actuar como un agente estructurante. Este almidón resistente se degrada progresivamente en glucosa y fructosa durante la maduración, lo que hace crucial trabajar con bananos en esta etapa específica para asegurar un producto con bajo índice glucémico y alta capacidad funcional (Zhou, 2021). Además, seleccionar bananos sin manchas ni golpes evita defectos que podrían comprometer la calidad visual y microbiológica del producto final.

Lavado, desinfección y pelado

Este paso es esencial para garantizar la inocuidad de los ingredientes. Durante el cultivo, los bananos pueden estar expuestos a contaminantes químicos o biológicos, lo que hace necesario un lavado y desinfección cuidadosos. El pelado elimina la cáscara, que no aporta valor funcional o nutricional al producto final y podría introducir sabores no deseados o texturas ásperas. Este paso asegura que solo la pulpa, rica en almidón resistente y otros nutrientes clave, sea utilizada en el proceso.

Corte y pretratamiento

El corte en rodajas uniformes facilita la deshidratación eficiente al incrementar la superficie de contacto y garantizar un secado homogéneo. El tratamiento con ácido cítrico previene el pardeamiento enzimático, causado por la oxidación de polifenoles en presencia de oxígeno. Este pardeamiento no solo afecta el color de la harina, haciéndola menos atractiva, sino que también puede degradar algunos nutrientes. La concentración de ácido cítrico (0.92%) fue seleccionada por su efectividad demostrada para estabilizar el color y prevenir reacciones oxidativas en frutas tropicales (Sanchez-Castillo, 2018).

Deshidratación por convección

La deshidratación se realizó a temperaturas moderadas para evitar la degradación de compuestos termo-sensibles como el almidón resistente, la fibra dietética y los carbohidratos complejos, por ejemplo: los polisacáridos no almidonados (como celulosa y hemicelulosa) y los oligosacáridos (presentes en la chía). Temperaturas más altas podrían ocasionar caramelización no deseada o pérdida de nutrientes mientras que temperaturas más bajas prolongarían el proceso y aumentarían los costos.

Molienda

El banano deshidratado fue molido en un polvo fino, lo que mejora la textura y funcionalidad de la harina en aplicaciones como panes y galletas. Una molienda uniforme garantiza que las partículas tengan un tamaño adecuado para mezclarse homogéneamente con otros ingredientes, mejorando la estabilidad de la masa. Esto es importante en productos libres de gluten, donde las propiedades físicas de la harina son críticas para su desempeño.

Molienda de la chía

La chía se molió para liberar sus mucílagos, responsables de la de retención de agua y la cohesión en la masa. Estas fibras junto con los carbohidratos complejos, como los polisacáridos no almidonados, celulosa y hemicelulosa, actúan como un sustituto del gluten, aportando estabilidad y elasticidad.

Homogenización

La mezcla de la harina de banano con la chía molida se realizó con una mezcladora (KitchenAid) para asegurar una distribución uniforme de ambos ingredientes. Este paso crucial para garantizar que las propiedades funcionales, como la capacidad gelificante de la

chía y el soporte estructural del banano, se combinaran de manera eficiente. Una mezcla homogénea asegura que los productos finales tengan una calidad constante y predecible.

Tamizado

El tamizado elimina partículas más gruesas, garantizando un tamaño de partícula uniforme en la harina final. Esto es importante para mejorar la textura y funcionalidad en productos como panes, galletas y panqueques. Además, un tamaño de partícula homogéneo facilita la integración de la harina en las formulaciones y mejora las propiedades reológicas de las masas.

Rendimiento

Cuadro 13. *Porcentaje de rendimiento de harina de banano verde de rechazo*

	Rendimiento (%)
Harina de banano	24.08 ± 0.05

Nota: elaboración propia

El rendimiento obtenido de $24.08 \pm 0.05\%$ para la harina de banano verde de rechazo es consistente con los valores reportados en la literatura, que oscilan generalmente entre el 20% y el 30% dependiendo de factores como la humedad inicial del banano y la eficiencia de los procesos de deshidratación y molienda (Waliszewski et al., 2003; Aurore et al., 2009). Este rendimiento refleja las características propias del banano verde, cuyo contenido inicial de humedad puede superar el 70%, lo que limita la cantidad de materia seca que puede convertirse en harina después del procesamiento.

El resultado obtenido demuestra que el proceso de deshidratación y molienda aplicado fue eficiente para conservar los compuestos funcionales del banano, como el almidón resistente, que es clave en formulaciones sin gluten. Comparado con otras materias primas para harinas, como el trigo o el arroz, que presentan rendimientos mayores debido a su menor contenido de agua inicial, el banano verde requiere un control riguroso de las condiciones de deshidratación para maximizar el rendimiento sin comprometer la calidad del producto final.

Además, este rendimiento destaca la viabilidad del uso de banano verde como insumo en productos alternativos, dado su bajo costo y disponibilidad, especialmente cuando se emplea banano de rechazo que no cumple con los estándares de exportación. Este enfoque

también contribuye a reducir el desperdicio alimentario, alineándose con prácticas sostenibles.

La integración de chía en las formulaciones de harina de banano complementa este rendimiento al aportar funcionalidad adicional, como la capacidad de retención de agua y la cohesión en masas. Si bien el rendimiento de la chía es significativamente mayor debido a su bajo contenido de humedad inicial, su incorporación en pequeñas proporciones (2.5%, 5%, 8%, y 10%) permite equilibrar el aporte nutricional y funcional sin afectar negativamente la textura o la densidad de los productos finales. Estos datos subrayan la importancia de seleccionar las proporciones adecuadas para maximizar tanto el rendimiento como las propiedades funcionales de la mezcla.

La incorporación de chía en la formulación de harina de banano se debe por sus beneficios nutricionales y funcionales. La chía es una excelente fuente de ácidos grasos omega-3, fibras y proteínas, lo que aporta una serie de ventajas en productos de panificación y repostería. Estos nutrientes son especialmente atractivos en productos sin gluten, ya que la fibra de la chía ayuda a mejorar la textura, la retención de agua y la capacidad de formación de geles, lo que puede compensar la falta de gluten y mejorar la estructura de los productos horneados (Ixtaina, 2011). Además, la chía tiene propiedades antioxidantes que contribuyen a la estabilidad del producto durante el almacenamiento, extendiendo su vida útil (Reyes-Caudillo, 2008).

El uso de diferentes niveles de sustitución de chía en las formulaciones de productos horneados sin gluten se fundamenta en las propiedades funcionales de los polisacáridos presentes en esta semilla, que son responsables de su capacidad para formar geles al hidratarse. Entre los principales polisacáridos de la chía se encuentran la arabinoxilana, el ácido galacturónico y la xilosa, los cuales desempeñan un papel crucial en la mejora de la cohesión, retención de agua y estabilidad estructural de las masas. Estas propiedades permiten compensar la ausencia de gluten, un elemento esencial en productos tradicionales que proporciona elasticidad y extensibilidad a las masas (Ixtaina, 2011).

La arabinoxilana, un polisacárido compuesto por arabinosa y xilosa, destaca por su capacidad de retener agua, lo que incrementa la viscosidad de las masas y mejora su estabilidad. En productos sin gluten, este polisacárido facilita la formación de una matriz cohesiva que reemplaza parcialmente las propiedades estructurales del gluten. Su interacción

con otros componentes, como el almidón resistente presente en la harina de banano, contribuye a generar una textura más uniforme y manejable en las masas, mejorando tanto las propiedades reológicas como el rendimiento del producto final (Ixtaina, 2011).

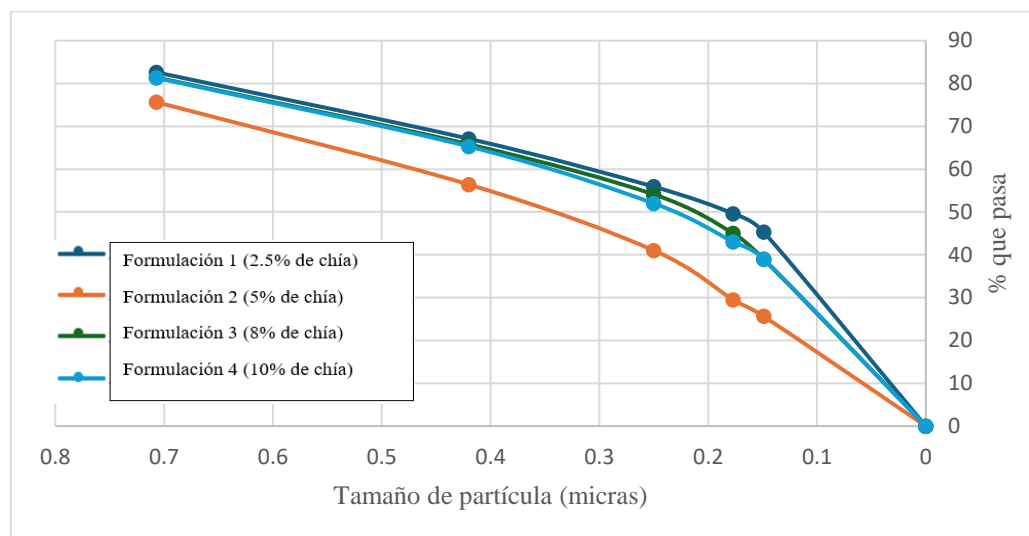
Por otro lado, el ácido galacturónico, presente en las pectinas de la chía, es fundamental para la formación de geles debido a su capacidad para establecer redes tridimensionales en presencia de iones como el calcio. Estas redes no solo encapsulan agua, mejorando la textura de los productos horneados, sino que también ayudan a prolongar la frescura al reducir la pérdida de humedad durante el almacenamiento. Este polisacárido es especialmente relevante en formulaciones con porcentajes altos de chía, como el 8% y el 10%, donde se requiere una mayor retención de agua para estabilizar productos densos como panes o barras energéticas (Olivos-Lugo, 2010).

La xilosa, otro polisacárido presente en la fracción soluble de la chía, complementa estas funciones al interactuar con proteínas y almidones para formar una matriz cohesiva y estable. Este compuesto contribuye a la resistencia térmica de las masas, evitando colapsos estructurales durante el horneado. En productos como galletas o panqueques, donde la textura es un atributo clave, la xilosa desempeña un papel esencial para mantener la integridad del producto final (Reyes-Caudillo, 2008).

En este contexto, las proporciones de chía seleccionadas (2.5%, 5%, 8% y 10%) se basaron en un equilibrio teórico entre las propiedades funcionales de los polisacáridos de la chía y las características sensoriales de los productos finales. En niveles bajos, como 2.5%, la chía aporta una mejora ligera en cohesión y retención de agua sin afectar significativamente el sabor o la textura, lo que es ideal para productos más ligeros. En niveles altos, como 10%, las propiedades gelificantes y estabilizantes de los polisacáridos se maximizan, aunque esto puede dar lugar a masas más densas, adecuadas para productos como panes integrales y barras energéticas, donde la estabilidad estructural es prioritaria (Coelho y Salas-Mellado, 2018).

Los polisacáridos presentes en la chía no solo contribuyen a la funcionalidad tecnológica de las harinas libres de gluten, sino que también mejoran el perfil nutricional de los productos al incrementar el contenido de fibra y ácidos grasos esenciales, como el omega-3. Estas características hacen de la chía un ingrediente clave en la formulación de productos saludables y funcionales para consumidores con necesidades dietéticas específicas.

Figura 21: Análisis granulométrico para las formulaciones con diferentes proporciones de harina de banano y chía



Nota: elaboración propia

El análisis granulométrico de las formulaciones de harina de banano con diferentes proporciones de chía muestra patrones consistentes, destacando que la mayoría de las partículas se encuentran entre 0.7 y 0.3 micras. Este rango sugiere que las harinas obtenidas tienen un tamaño de partícula uniforme, lo cual es esencial para prevenir la aparición de grumos al mezclar y mejorar la funcionalidad en productos de panificación y confitería. Según estudios previos, un tamaño de partícula fino facilita la dispersión uniforme de los ingredientes, lo que contribuye a una textura homogénea en los productos finales (Zhang, 2015). Además, estas harinas podrían clasificarse como finas o ultrafinas, categorías que favorecen la integración con otros ingredientes durante el procesamiento (Capitani, 2012).

La formulación marcada en color naranja (5% de chía) presenta una leve variación respecto a las otras, pero mantiene el mismo patrón general. Esto puede atribuirse a la consistencia en la metodología de molienda y el uso de molinos similares. Este pequeño desvío no parece influir significativamente en las propiedades finales de la harina, ya que sigue dentro del rango óptimo para productos horneados (Ixtaina, 2011).

Un tamaño de partícula uniforme, como el observado, tiene una relevancia considerable en el contexto de la panificación y confitería. Harinas con partículas finas facilitan la incorporación de ingredientes líquidos, reducen la formación de grumos y mejoran

la cohesión de las masas (Zhang et al., 2015). Además, este tamaño de partícula optimiza la absorción de agua, un factor clave en productos horneados como panes, pasteles y galletas. Por otro lado, partículas demasiado finas pueden resultar en masas pegajosas o estructuras densas y propensas al colapso, lo que debe tenerse en cuenta al desarrollar formulaciones (Arendt y Dal Bello, 2008).

7.5 Testeo

7.5.1. Capacidad de solubilidad

Cuadro 14. *Resultados promedio de solubilidad de agua y aceite en las diferentes formulaciones de harina de banano con chía*

Proporción de formulaciones	% Agua (mL/g)	% Aceite (mL/g)
2.5% de chía	16.4 ± 0.09 ^a	11.1 ± 0.09 ^a
5% de chía	14.3 ± 0.14 ^b	11.1 ± 0.17 ^a
8% de chía	14.1 ± 0.09 ^b	10.0 ± 0.09 ^b
10% de chía	13.7 ± 0.07 ^c	10.8 ± 0.19 ^b

* Las letras representan la diferencia múltiple de la prueba de Tukey

Nota: elaboración propia

Los resultados de solubilidad de agua y aceite presentados en el Cuadro 14 y en el diagrama de caja y bigotes revelan cómo las proporciones crecientes de chía (2.5%, 5%, 8% y 10%) afectan las propiedades funcionales de la harina de banano. Los superíndices incluidos en la tabla, resultado de la prueba de Tukey, son claves para identificar diferencias significativas entre las formulaciones. Superíndices iguales indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones evaluadas para un parámetro específico, mientras que superíndices diferentes reflejan que las formulaciones tienen variaciones estadísticamente significativas.

En el caso de la solubilidad en agua, la formulación con 2.5% de chía presentó el valor promedio más alto (16.4 ± 0.09^a mL/g), significativamente mayor que las demás formulaciones, como lo demuestran los superíndices diferentes (^b y ^c) de las otras proporciones. Este resultado sugiere que, en formulaciones con menor proporción de chía, el

almidón del banano tiene un rol predominante en la retención de agua. Por otro lado, las formulaciones con mayores proporciones de chía (8% y 10%) mostraron una disminución significativa en la capacidad de retención de agua (14.1 ± 0.09^b y 13.7 ± 0.07^c mL/g, respectivamente). Esto podría deberse a que la fibra y carbohidratos complejos presentes en la chía, compuestos principalmente por polisacáridos como xilanos y glucanos, requieren tiempos de hidratación prolongados para formar geles efectivos, lo que limita su capacidad de retención en análisis rápidos (Ixtaina et al., 2011). La competencia por el agua entre las fibras solubles de la chía y el almidón del banano también podría explicar esta tendencia (Capitani, 2012).

En cuanto a la solubilidad en aceite, los valores fueron más homogéneos, y los superíndices iguales (^a) en las formulaciones de 2.5% y 5% de chía (11.1 ± 0.09^a y 11.1 ± 0.17^a mL/g) indican que no hay diferencias significativas entre ellas. En contraste, las formulaciones de 8% y 10% de chía presentan valores ligeramente inferiores (10.0 ± 0.09^b y 10.8 ± 0.19^b mL/g), marcados por superíndices diferentes, lo que evidencia una disminución significativa en la interacción con lípidos a medida que se incrementa la proporción de chía. Este comportamiento puede explicarse por la mayor proporción de fibra soluble en las formulaciones con mayor contenido de chía, que favorece la retención de agua sobre la interacción con lípidos (Coelho y Salas-Mellado, 2018). En comparación, las fibras insolubles del banano parecen desempeñar un rol más relevante en la interacción con lípidos, como se ha reportado en estudios previos sobre harinas sin gluten (Capitani., 2012).

7.5.2. Análisis de retención de solventes

Cuadro 15. *Promedios de retención de solventes en las formulaciones de harina a base de banana y chía*

Proporción de formulaciones	% Agua	% Solución Sacarosa	% Solución ácido láctico	% Solución carbonato de sodio
2.5% de chía	22.78 \pm 0.07 ^a	49.75 \pm 0.09 ^a	23.60 \pm 0.13 ^a	19.82 \pm 0.09 ^a
5% de chía	23.42 \pm 0.13 ^a	18.94 \pm 0.13 ^b	23.68 \pm 0.14 ^a	16.34 \pm 0.13 ^b
8% de chía	14.63 \pm 0.09 ^b	19.07 \pm 0.14 ^b	20.99 \pm 0.30 ^b	16.27 \pm 0.07 ^b
10% de chía	7.49 \pm 0.14 ^c	20.40 \pm 0.07 ^b	24.39 \pm 0.09 ^a	17.78 \pm 0.08 ^b

* Las letras representan la diferencia múltiple de la prueba de Tukey

Nota: elaboración propia

En el análisis de retención de solventes presentado en el Cuadro 14, se observa una tendencia clara en cómo las proporciones de chía afectan significativamente las propiedades funcionales de las formulaciones de harina de banana. Esto se evidencia en los resultados del análisis de Tukey, donde los superíndices asociados a cada formulación indican diferencias estadísticas significativas en varios casos (Ixtaina, 2011; Capitani, 2012).

La retención de agua mostró diferencias significativas entre las formulaciones, destacándose que la formulación con 5% de chía presentó la mayor capacidad de retención de agua (23.43 \pm 0.13 mL/g, superíndice "a"), mientras que la formulación con 10% de chía tuvo el valor más bajo (7.49 \pm 0.14 mL/g, superíndice "c"). Este comportamiento sugiere que el incremento de chía reduce la retención de agua, probablemente debido a la competencia entre el almidón y las fibras de chía por el agua disponible. El menor rendimiento en la formulación con 10% de chía indica que, aunque la chía aporta funcionalidad, el exceso de

fibra puede limitar la capacidad del almidón del banano para interactuar de manera efectiva con el agua (Arendt y Dal Bello, 2008).

En la retención de sacarosa, los valores también mostraron diferencias significativas. La formulación con 2.5% de chía presentó el valor más alto (49.75 ± 0.09 mL/g, superíndice "a"), lo que podría estar relacionado con la mayor disponibilidad de almidón dañado que facilita la interacción con la solución de sacarosa. En contraste, la formulación con 10% de chía mostró un valor significativamente menor (20.40 ± 0.07 mL/g, superíndice "b"), indicando que el incremento de chía disminuye la disponibilidad de almidón para interactuar con este solvente. Este hallazgo sugiere que formulaciones con menor contenido de chía pueden ser más adecuadas para productos panificados que dependen de la retención de sacarosa para mejorar la textura y cohesión (Waliszewski, 2003).

Por otro lado, la retención de ácido láctico mostró su valor más alto en la formulación con 10% de chía (24.39 ± 0.09 mL/g, superíndice "a"), lo que sugiere una mayor interacción entre las proteínas del banano y el ácido láctico en presencia de mayor cantidad de chía. Este comportamiento es relevante, ya que podría replicar parcialmente las propiedades estabilizadoras del gluten en productos sin gluten. Las formulaciones con menor contenido de chía (2.5% y 5%) mostraron valores similares y más bajos (23.60 ± 0.13 y 23.68 ± 0.14 mL/g, respectivamente, ambos con superíndice "a"), lo que indica que estas proporciones tienen un efecto moderado en esta interacción. Este resultado es prometedor para el desarrollo de productos panificados libres de gluten, donde la retención de ácido láctico puede mejorar la estabilidad y elasticidad de las masas (Reyes-Caudillo, 2008).

Finalmente, la retención de carbonato de sodio mostró resultados homogéneos entre las formulaciones, con valores más altos en la formulación con 2.5% de chía (19.82 ± 0.09 mL/g, superíndice "a") y más bajos en la formulación con 10% de chía (17.78 ± 0.08 mL/g, superíndice "b"). Este solvente interactúa principalmente con hemicelulosas y pentosanas, y los resultados sugieren que las fibras de chía en altas concentraciones podrían limitar esta interacción. Sin embargo, estas diferencias, aunque significativas, son menos marcadas en comparación con otros solventes, lo que refleja la compleja interacción entre la chía y los componentes de la harina de banano en la retención de diferentes tipos de solventes (Olivos-Lugo, 2010).

7.5.3. Análisis de gelificación

Cuadro 16. Promedio de resultados de gelificación en las formulaciones de harina de banano y chía elaboradas

Proporción de formulaciones	Capacidad gelificante (cm/s)
2.5% de chía	0.00 ±0.05 ^a
5% de chía	0.00 ±0.05 ^a
8% de chía	4.99 ±0.06 ^b
10% de chía	6.12 ±0.07 ^c

* Las letras representan la diferencia múltiple de la prueba de Tukey

Nota: elaboración propia

En el análisis de capacidad de gelificación presentado en el Cuadro 16, se evidencia que la capacidad de gelificación incrementa significativamente con el aumento en la proporción de chía, alcanzando su valor máximo en la formulación con 10% de chía (6.12 ± 0.07 cm/s, superíndice "c"). Las formulaciones con 2.5% y 5% de chía no mostraron capacidad de gelificación (0.00 ± 0.05 cm/s, superíndice "a"), lo que sugiere una insuficiencia de componentes funcionales, como los polisacáridos presentes en la chía, para formar redes gelificantes. Este comportamiento indica que, a concentraciones bajas de chía, la interacción con el almidón resistente del banano no es suficiente para desarrollar geles estables.

A partir del 8% de chía, se observa una capacidad de gelificación significativa (4.99 ± 0.06 cm/s, superíndice "b"), lo que puede atribuirse al incremento en los polisacáridos, como los arabinosilanos y glucomanos, que tienen alta afinidad por el agua y contribuyen a la formación de redes gelificadas en conjunto con el almidón del banano. Estos polisacáridos forman estructuras tridimensionales que permiten una mayor retención de agua, estabilizando la masa y mejorando la cohesión (Ixtaina, 2011; Capitani, 2012). En la formulación con 10% de chía, la alta proporción de estos componentes potencia la formación de geles, haciendo que esta harina sea adecuada para productos donde la humedad y la estabilidad estructural son esenciales.

Comparativamente, las harinas de trigo, ricas en gluten, forman redes proteicas que estabilizan la masa a través de la elasticidad, mientras que, en harinas sin gluten, la gelificación depende enteramente de la interacción entre almidones y polisacáridos

funcionales (Sibakov, 2020). En este contexto, la chía desempeña un rol crucial al proporcionar polisacáridos que replican parcialmente la función del gluten. Esto hace que las formulaciones con alto contenido de chía sean ideales para productos como panes y pasteles sin gluten, que requieren una textura suave y húmeda, así como para galletas donde la gelificación contribuye a controlar la friabilidad y estabilidad estructural.

Estos resultados también destacan la importancia de optimizar las proporciones de chía en función del tipo de producto final. Por ejemplo, formulaciones con 8% o 10% de chía pueden ser ideales para productos donde la estructura y la retención de humedad son prioritarias, mientras que formulaciones con menores proporciones pueden ser más adecuadas para aplicaciones donde la gelificación no es crítica. Esto demuestra el potencial de las harinas de banano y chía como una alternativa viable en productos de panificación libres de gluten, ofreciendo propiedades funcionales comparables a las harinas convencionales (Waliszewski, 2003; Sibakov, 2020).

7.5.4. Análisis proximal

Cuadro 17. Promedio de resultados de análisis proximal en los diferentes tipos de formulaciones realizadas con diferentes proporciones de chía

Proporción de formulaciones	% Humedad	% Cenizas	% Fibra	% Grasa	% Proteína	% Carbohidratos disponibles
2.5% de chía	7.72 ±0.1003 ^a	1.94 ±0.56 ^a	2.71 ±0.12 ^a	1.02±0.1 5 ^a	5.92±0.4 8 ^a	80.69 ±1.19 ^a
5% de chía	7.62±0.100 5 ^a	2.96 ±0.51 ^b	3.66 ±0.27 ^a	1.55±0.2 5 ^a	6.25±0.0 4 ^a	77.96 ±1.08 ^{a,b}
8% de chía	7.70±0.1019 9 ^a	3.16 ±0.38 ^b	5.27±0.1 7 ^b	2.69±0.8 0 ^b	7.43±0.2 4 ^b	73.75 ±1.30 ^{b,c}
10% de chía	7.69±0.101 1 ^a	3.39 ±0.07 ^c	6.11 ±0.27 ^b	3.13±0.4 1 ^b	6.06±0.7 2 ^a	73.62 ±1.25 ^c
Gold Medal	11.49±0.102 8	0.55±0.0 3	1.75 ±0.12	1.15±0.05	12.90±0.4 5	72.16 ±0.85

* Las letras representan la diferencia múltiple de la prueba de Tukey

Nota: elaboración propia

El análisis proximal de las formulaciones de harina de banano y chía con diferentes proporciones (2.5%, 5%, 8% y 10% de chía) mostró mejoras nutricionales significativas al compararlas con la harina de banano Gros Michel evaluada por Montoya et al. (2015).

En cuanto a la humedad, las formulaciones con chía presentaron valores relativamente constantes, oscilando entre 7.62% y 7.72%, mientras que la harina Gold Medal mostró un contenido significativamente más elevado (11.49%). Según la prueba de Tukey, no se observaron diferencias significativas entre las formulaciones con chía (un único grupo homogéneo con superíndice "a"). Este resultado sugiere que el contenido de humedad en estas formulaciones no está directamente influenciado por el porcentaje de chía añadido, sino más bien por la interacción balanceada entre el almidón resistente del banano y los compuestos de la chía, como las fibras solubles y las proteínas. Según Pereira et al. (2023), el comportamiento observado puede atribuirse al balance entre el almidón resistente del banano, que posee una capacidad moderada de retención de agua, y la fibra y carbohidratos complejos de la chía, que estabilizan el contenido de humedad debido a su capacidad de formar geles.

El menor contenido de humedad en las formulaciones con chía en comparación con la harina Gold Medal podría deberse a la ausencia de gluten, que en la harina de trigo contribuye a la retención de agua y a la cohesión de las masas. Además, la capacidad de gelificación de la chía, aunque efectiva, no iguala la eficiencia del gluten para formar una red tridimensional que encapsule agua de manera más efectiva (Capitani, 2012). Desde el punto de vista funcional, el contenido moderado de humedad en las formulaciones con chía es beneficioso para extender la vida útil de los productos horneados, reduciendo el riesgo de desarrollo microbiano y mejorando la estabilidad en almacenamiento (Mohapatra, 2010). Sin embargo, podría ser necesario ajustar el manejo del agua en la formulación de masas para evitar una textura seca o desmoronable en productos finales, especialmente en panes y pasteles libres de gluten.

En cuanto al contenido de cenizas, el análisis de la prueba de Tukey muestra que existe una diferencia significativa entre las formulaciones de 2.5% de chía y las demás (superíndice "a" para 2.5% y "b" para las demás). Este resultado indica que las formulaciones con mayor contenido de chía presentan una mayor cantidad de minerales esenciales, como calcio, hierro y potasio, que son fundamentales para el desarrollo óseo y la salud

cardiovascular (Capitani, 2013). En comparación, Montoya et al. (2015) reportaron un contenido de cenizas de 1.92% en la harina Gros Michel, un valor inferior al observado en las formulaciones enriquecidas con chía.

Este incremento refleja la contribución de la chía como fuente rica en calcio, hierro y potasio, lo que resalta su papel en el enriquecimiento nutricional de las harinas. Este aumento se debe a la riqueza mineral de la chía, conocida por su alto contenido de calcio, hierro y potasio, como señala Capitani et al. (2013). Las formulaciones con chía superan significativamente a la harina Gold Medal, que tiene un contenido de cenizas mucho más bajo (0.55%), lo que resalta el valor de estas harinas para aplicaciones que buscan un mayor aporte mineral. Este incremento, además de su impacto nutricional, puede influir en la funcionalidad de las masas, mejorando su estabilidad iónica y resistencia durante el horneado.

El contenido de fibra muestra un patrón ascendente con el incremento de chía, de 2.71% en 2.5% de chía hasta 6.11% en 10%. Según la prueba de Tukey, las formulaciones de 2.5% y 5% de chía forman un grupo homogéneo ("a"), mientras que las de 8% y 10% están en un grupo significativamente diferente ("b"). Esto sugiere que las formulaciones con mayor contenido de chía aportan fibras solubles e insolubles que no solo mejoran la retención de agua en las masas, sino que también potencian la estabilidad estructural de los productos panificados (Montoya, 2015). Sin embargo, la harina de banano Gros Michel reportó un contenido de fibra significativamente mayor, de 18.82% (Montoya, 2015). Esto sugiere que, aunque las formulaciones con chía presentan un contenido menor de fibra total, la combinación de chía y banano aporta fibras solubles e insolubles que mejoran la funcionalidad intestinal y la retención de agua en productos panificados, balanceando las propiedades nutricionales.

La fibra dietética y los carbohidratos complejos, como los polisacáridos no almidonados y los oligosacáridos presentes en la chía no solo mejoran la funcionalidad intestinal, sino que también contribuyen a la estabilidad de los productos horneados al formar redes gelificantes que retienen agua. Esto subraya el potencial de estas formulaciones para productos diseñados con objetivos de salud digestiva. En comparación, la harina Gold Medal presenta un contenido de fibra significativamente más bajo (1.75%), lo que destaca la funcionalidad adicional que ofrece la chía en términos de estructura y cohesión en productos

sin gluten. Desde un punto de vista nutricional, el alto contenido de fibra en las formulaciones con chía contribuye a mejorar la salud digestiva, regulando el tránsito intestinal y promoviendo un índice glicémico más bajo.

El contenido de grasa también se incrementa notablemente con el aumento de chía, de 1.02% en 2.5% de chía a 3.13% en 10%. La prueba de Tukey confirma que las formulaciones con 8% y 10% de chía presentan diferencias significativas frente a las de 2.5% y 5%, formando grupos distintos ("a" para 2.5% y 5%; "b" para 8% y 10%). Este aumento refleja la incorporación de ácidos grasos poliinsaturados, como omega-3 y omega-6, que son esenciales para la salud cardiovascular y cerebral (Capitani, 2012). Aunque la harina Gold Medal tiene un contenido de grasa similar al de las formulaciones con menor porcentaje de chía, la composición de las grasas es diferente, destacándose los lípidos saludables de la chía. En panificación, este aumento de grasa contribuye a mejorar la suavidad, humedad y sabor de los productos horneados.

En cuanto al contenido proteico, aunque no se encontraron diferencias significativas según la prueba de Tukey (un único grupo homogéneo para todas las formulaciones), se observa un incremento de 5.92% en 2.5% de chía a 7.43% en 10%. Sin embargo, estos valores son inferiores al contenido proteico de la harina Gold Medal (12.90%), que cuenta con una mayor concentración de proteínas, incluyendo gluten, esencial para la elasticidad y cohesión de las masas (Capitani, 2013). Este incremento en las formulaciones con chía se debe a que la semilla de chía es una fuente rica en proteínas de alta calidad, con un perfil de aminoácidos esenciales que complementa la funcionalidad de la harina de banano. De acuerdo con Capitani et al. (2013), la chía es una fuente de proteínas de alta calidad con un perfil completo de aminoácidos esenciales, lo que complementa nutricionalmente al banano en estas formulaciones. Esto posiciona a estas harinas como opciones equilibradas para dietas sin gluten, donde la funcionalidad proteica es clave.







El análisis de carbohidratos disponibles muestra una disminución progresiva con el incremento de chía, desde 80.69% con 2.5% de chía hasta 73.62% con 10%. Según la prueba de Tukey, la formulación con 2.5% de chía pertenece a un grupo homogéneo diferente ("a") al de las formulaciones con 8% y 10% ("c"), lo que refleja una disminución significativa en carbohidratos conforme aumenta la proporción de chía. En comparación, la harina Gold Medal tiene un contenido de carbohidratos similar al de las formulaciones con mayor

contenido de chíá (73.59%). Esta disminución se debe al reemplazo parcial de almidones y azúcares del banano por los nutrientes presentes en la chíá, como proteínas, grasas y fibra. Este perfil nutricional modificado resulta ventajoso para consumidores que buscan productos con menor índice glicémico, aunque también puede influir en la funcionalidad de las masas, reduciendo su capacidad de retención de agua y estructura.

7.5.5. Prueba de formulación

El uso de harina de banano enriquecida con chíá en productos horneados presenta una alternativa interesante para el mercado libre de gluten. Las proporciones de chíá impactan significativamente las características sensoriales y estructurales de panqueques, galletas y panes, por ejemplo, textura, color y cohesión. Estos efectos se deben a la interacción entre el almidón del banano y la fibra con los carbohidratos complejos de la chíá, los cuales afectan procesos clave como la retención de agua y la formación de redes estructurales.

Cuadro 18. Resultados de funcionalidad de las formulaciones de harina de banano y chíá elaboradas

Proporción de formulaciones	Panqueques	Galletas	Pan francés
2.5% de chíá			
5% de chíá			

8% de chía			
10% de chía			

Nota: elaboración propia

En las formulaciones de panqueques, se observa una estructura homogénea en las formulaciones 1 y 2, con un color dorado uniforme. Esto podría deberse a la menor proporción de chía, lo que permite que el almidón del banano gelatinice correctamente. En las formulaciones de panqueques, las proporciones menores de chía (2.5% y 5%) muestran una estructura homogénea y un color dorado uniforme. Esto puede atribuirse a la menor interferencia de la fibra y carbohidratos complejos de la chía en la gelatinización del almidón de banano, permitiendo una textura suave y bien formada. En comparación, Fernández (2023) reportó resultados similares en galletas con bajo contenido de chía, donde se observó una mejor estructura y características sensoriales debido al predominio del almidón y las proteínas disponibles que favorecen una textura homogénea y visualmente atractiva.

Por otro lado, en las formulaciones de panqueques con 8% y 10% de chía, se observa un color más oscuro y una superficie menos uniforme. Este comportamiento es coherente con lo reportado por Fernández (2023), quien encontró que, al incrementar la proporción de chía en las galletas, estas adquirieron una textura más densa y colores menos brillantes debido a la interacción de los mucílagos con el agua. Esta interacción aumenta la retención de humedad, lo que dificulta la expansión de burbujas de aire durante la cocción, afectando la estructura final del producto.

En el caso de las galletas, las formulaciones con 2.5% y 5% de chía presentaron una textura crujiente y un color uniforme, lo que indica una mejor estabilidad de la masa y

distribución del calor. Fernández (2023) también reportó que formulaciones con proporciones moderadas de chía lograron un buen equilibrio entre cohesión y textura crujiente, presentando un diámetro adecuado. En contraste, las galletas con 8% y 10% de chía exhibieron una textura más densa y un color opaco, resultados que Fernández (2023) atribuye a la formación de geles por los mucílagos, los cuales interfieren con la evaporación del agua durante el horneado y alteran las características finales del producto.

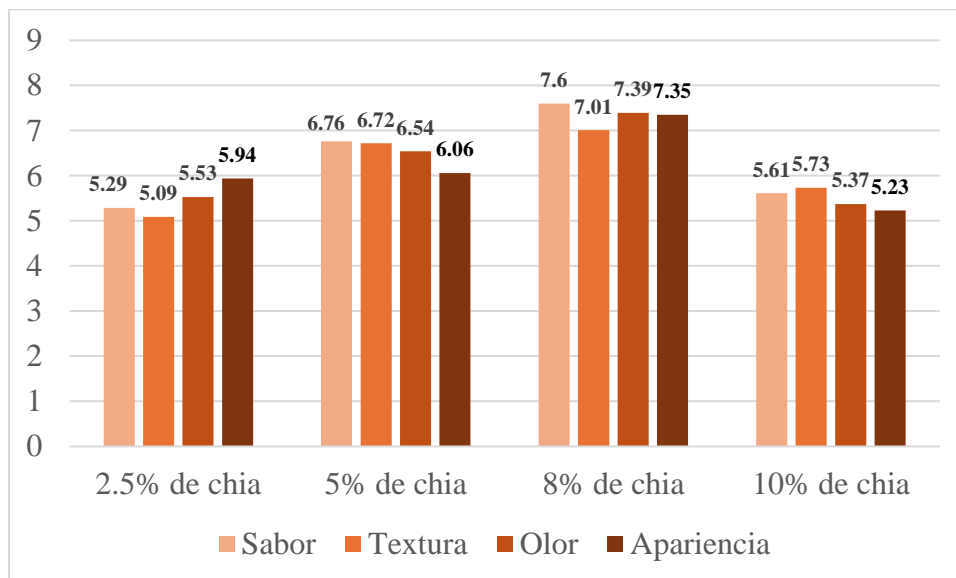
En cuanto a los panes, todas las formulaciones presentan una miga densa y apelmazada, reflejo de la ausencia de una red elástica capaz de retener los gases de fermentación debido a la falta de gluten. Las formulaciones con 2.5% y 5% de chía mostraron intentos de expansión, posiblemente gracias a la mayor proporción de almidón de banano, que aporta cohesión a la masa. Sin embargo, en las formulaciones con 8% y 10% de chía, la alta retención de agua por la fibra y carbohidratos complejos incrementó la densidad de la masa, dificultando el desarrollo de una miga ligera. Esto es consistente con los hallazgos de Fernández (2023), quien señaló que un contenido superior al 10% de chía limitaba el desarrollo de la estructura debido a la interferencia de las fibras en la cohesión de la masa.

Los resultados obtenidos muestran patrones similares a los reportados por Fernández (2023). Las formulaciones con menor proporción de chía presentan características sensoriales y estructurales más favorables, mientras que las formulaciones con mayor contenido de chía enfrentan desafíos en la textura y cohesión. Para mejorar las propiedades funcionales de productos con alto contenido de chía, se recomienda incorporar agentes estructurantes como goma xantana o goma guar, tal como lo sugiere Fernández (2023), para simular las propiedades del gluten y mejorar la retención de gases y la estructura durante el horneado.

7.5.6. Análisis sensorial

La evaluación sensorial realizada para panqueques, galletas y pan elaborados con harina de banano y chía permitió identificar diferencias significativas en los niveles de aceptación según las categorías evaluadas: sabor, textura, olor y apariencia. Los resultados reflejan cómo las distintas proporciones de chía y banano influyen en la percepción sensorial de los consumidores.

Figura 22. Promedio de resultados de análisis sensorial para la elaboración de panqueques con harina de banano y chía en diferentes proporciones

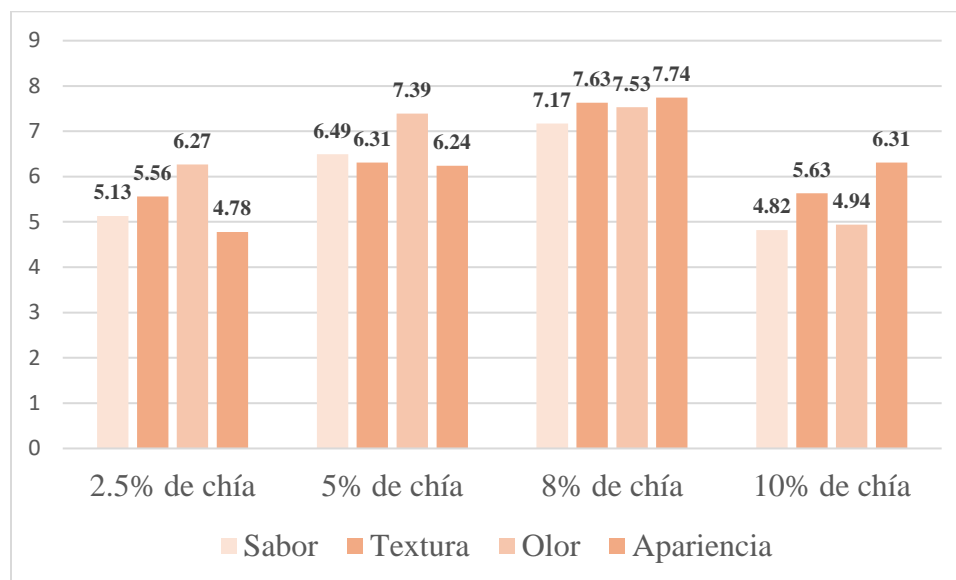


*Se utilizó una escala de 1 a 9: (1) No me gusta nada- (9) Me gusta mucho.

Nota: elaboración propia

En el caso de los panqueques, la formulación con proporción de 8% de chía se posicionó como la más aceptada, alcanzando puntajes destacados en todas las categorías sensoriales. Su sabor (7.60), textura (7.71), olor (5.73) y apariencia (7.35) fueron evaluados positivamente, lo que indica que esta formulación ofrece un equilibrio adecuado entre los ingredientes, logrando una textura y un sabor agradables para los panelistas. En contraste, la formulación con 2.5% de chía obtuvo los puntajes más bajos en sabor (5.29) y textura (5.09), sugiriendo que una menor proporción de chía podría haber limitado su atractivo sensorial, particularmente en estas dos categorías críticas. El análisis estadístico indica que no hay diferencias significativas entre las formulaciones debido al valor de probabilidad ($p = 0.9926$), que es mayor al nivel de significancia establecido (0.05).

Figura 23. Promedio de resultados de análisis sensorial para la elaboración de galletas con harina de banana y chía en diferentes proporciones

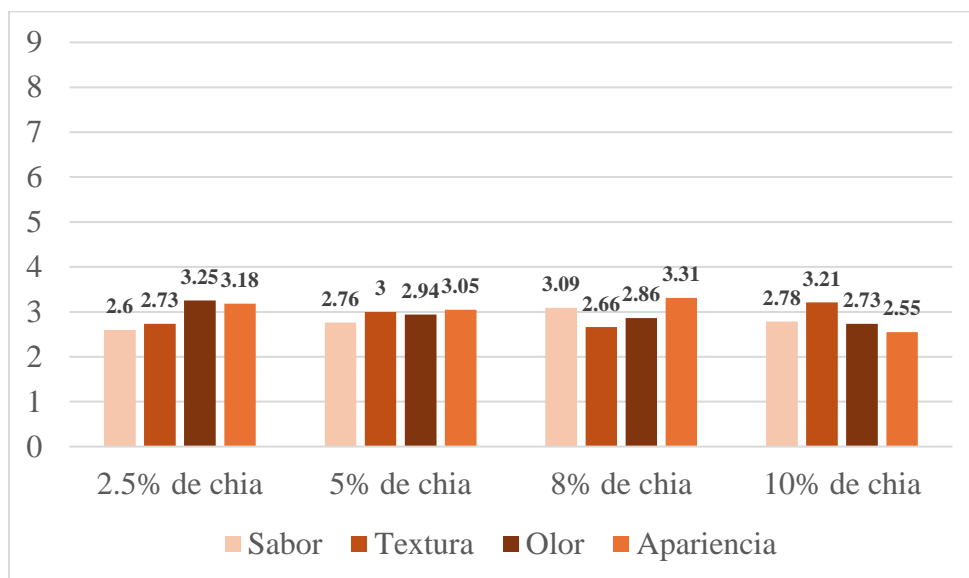


*Se utilizó una escala de 1 a 9: (1) No me gusta nada- (9) Me gusta mucho

Nota: elaboración propia

Para las galletas, la formulación con 8% de chía nuevamente destacó, obteniendo los mejores resultados en sabor (7.17), textura (7.63), olor (7.53) y apariencia (7.74). Esto resalta su potencial para aplicaciones en productos horneados, donde la textura y apariencia son factores determinantes para la aceptación del consumidor. Por otro lado, la formulación con 10% de chía mostró una menor aceptación, especialmente en sabor (4.82), lo que sugiere que un contenido elevado de chía puede influir negativamente en ciertos atributos, particularmente el sabor, lo que podría ser un área de mejora para este tipo de formulaciones. El análisis estadístico indica que no hay diferencias significativas entre las formulaciones debido al valor de probabilidad ($p = 0.8858$), que es mayor al nivel de significancia establecido (0.05).

Figura 24. Promedio de resultados de análisis sensorial para la elaboración de pan con harina de banano y chía en diferentes proporciones

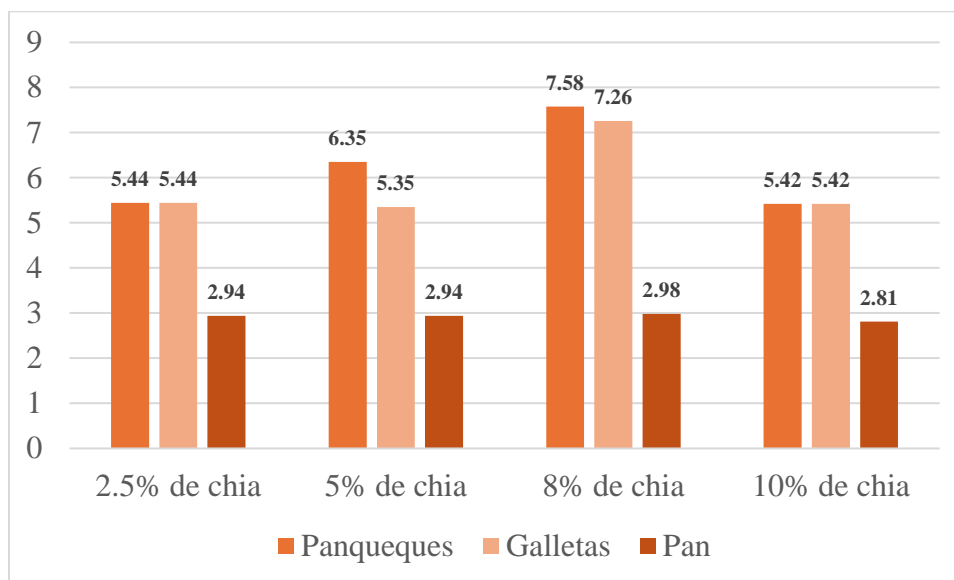


*Se utilizó una escala de 1 a 9: (1) No me gusta nada- (9) Me gusta mucho

Nota: elaboración propia

En el caso del pan, los resultados fueron considerablemente más bajos en comparación con los obtenidos para los panqueques y las galletas. Ninguna de las formulaciones alcanzó puntajes sensoriales aceptables en las categorías evaluadas. La formulación con 5% de chía obtuvo los puntajes más altos en sabor (2.76) y apariencia (3.35), pero estos valores están lejos de ser satisfactorios. Las demás formulaciones mostraron un desempeño aún menor, reflejando las limitaciones de la harina de banano y chía en la elaboración de pan. La ausencia de gluten afecta significativamente la estructura, volumen y textura del pan, características esenciales para su aceptación. Esto indica la necesidad de realizar ajustes adicionales, como la inclusión de agentes estructurantes o mejoradores de panificación, para mejorar la viabilidad de estas formulaciones en productos de panificación tradicionales. El análisis estadístico indica que no hay diferencias significativas entre las formulaciones debido al valor de probabilidad ($p = 0.6984$), que es mayor al nivel de significancia establecido (0.05).

Figura 25. Promedio de aceptación de galletas, panqueques y pan elaborados con diferentes formulaciones de harina de banano con chía



*Se realizó un promedio de aceptación de las formulaciones de harina de banano y chía elaboradas, siendo la escala de aceptación de 1 a 9: (1) No me gusta nada- (9) Me gusta mucho.

Nota: elaboración propia

Cuadro 19. Prueba de Tukey en el promedio de aceptación de galletas, panqueques y pan elaborados con diferentes formulaciones de harina de banano con chía

Formulación	Panqueques	Galletas	Pan
2.5% de chia	5.44 ^a	5.44 ^a	2.94 ^a
5% de chia	6.35 ^b	5.35 ^b	2.94 ^a
8% de chia	7.58 ^c	7.26 ^c	2.98 ^a
10% de chia	5.42 ^a	5.42 ^a	2.81 ^a

* Las letras representan la diferencia múltiple de la prueba de Tukey

Nota: elaboración propia

En la figura 25 muestra el promedio de aceptación sensorial para panqueques, galletas y pan, elaborados con diferentes formulaciones de harina de banano y chíá. Según los datos, la Formulación 3 fue consistentemente la más aceptada para panqueques y galletas, obteniendo puntajes de 7.60 y 7.26, respectivamente. Estos valores indican que esta formulación logra un balance óptimo entre sabor, textura y apariencia, factores determinantes para la aceptación sensorial.

En contraste, las otras formulaciones mostraron menor aceptación. Para panqueques, la formulación con 5% de chíá fue la segunda mejor valorada con un promedio de 6.35, mientras que las formulaciones con 2.5% y 10% de chíá tuvieron puntajes más bajos (5.44 y 5.42, respectivamente). Esto podría deberse a que estas formulaciones no alcanzan la misma calidad en textura o sabor, lo que disminuye su preferencia. En el caso de las galletas, la formulación con 2.5% de chíá y la formulación con 10% de chíá también obtuvieron puntajes menores (ambas con 5.44), lo que sugiere que un menor o mayor contenido de chíá puede impactar negativamente las características organolépticas, como la humedad o el sabor.

Para el pan, todas las formulaciones presentaron una baja aceptación, siendo la formulación con 5% de chíá ligeramente superior con 2.94. Esto reafirma las limitaciones de estas harinas para aplicaciones en panificación, probablemente debido a la ausencia de gluten, que afecta la estructura y el volumen del producto.

La prueba de Tukey mostró diferencias significativas entre las formulaciones en panqueques y galletas, lo que refuerza la superioridad de la formulación con 8% de chíá. En ambos productos, esta formulación obtuvo valores significativamente más altos (7.58° y 7.26°, respectivamente), destacándose como la más aceptada por los evaluadores. Por otro lado, las formulaciones con 2.5% y 10% de chíá no mostraron diferencias significativas entre sí (ambas etiquetadas con "a"), sugiriendo que estas proporciones no alcanzan un nivel óptimo de calidad sensorial. En el caso del pan, todas las formulaciones obtuvieron valores similares, sin diferencias significativas, lo que refleja las limitaciones estructurales de estas harinas sin gluten.

En este estudio se caracterizaron las formulaciones de harina de banano y chíá evaluando parámetros fisicoquímicos, funcionales y sensoriales que determinaron su idoneidad para el desarrollo de productos libres de gluten. Los resultados resaltan la relevancia del contenido de almidón en el banano verde y las propiedades gelificantes de los

polisacáridos presentes en la chía, los cuales aportaron cohesión y capacidad de retención de agua en las masas. Sin embargo, se identificaron limitaciones en productos de panificación debido a la ausencia de gluten, lo que impactó negativamente la estructura y textura del pan. Adicionalmente, el análisis granulométrico demostró que las partículas más finas en las formulaciones con mayor contenido de chía promovieron una mayor absorción de agua, afectando las propiedades de manejo de la masa y la densidad de la miga.

A través de un enfoque integrado, que incluyó la evaluación de solventes, la actividad de agua y pruebas sensoriales, se destacó la formulación con 8% de chía como la más adecuada para productos como panqueques y galletas, mientras que los ajustes en la composición serán necesarios para mejorar su desempeño en panificación. Este trabajo resalta la importancia de optimizar las proporciones de los ingredientes para equilibrar las propiedades funcionales y sensoriales, ofreciendo una alternativa viable y nutritiva en el mercado de productos sin gluten.

8. Conclusiones

- Las mezclas de harinas de banano y chíá son una alternativa prometedora para productos libres de gluten. Su caracterización mostró mejoras significativas en el perfil nutricional al incrementar fibra, cenizas, grasa y proteínas. La formulación con 8% de chíá resultó ser la más adecuada para panqueques y galletas el uso en panificación requiere ajustes adicionales debido a la ausencia de gluten.
- Las propiedades fisicoquímicas de las mezclas mejoraron con el incremento de chíá. El contenido de cenizas aumentó hasta 3.39% (10% de chíá), reflejando un mayor aporte mineral, mientras que la fibra incrementó hasta 6.11%, mejorando la funcionalidad digestiva. Estas características resaltan el potencial de las mezclas como ingredientes nutritivos en productos sin gluten.
- Las mezclas mostraron buena funcionalidad en productos como panqueques y galletas, destacándose la formulación con 8% de chíá por su cohesión y retención de agua. Sin embargo, en panificación, la ausencia de gluten limitó la elasticidad y estructura, resultando en productos menos aceptados sensorialmente. Es necesario optimizar las formulaciones para este tipo de aplicaciones.
- En las pruebas sensoriales, la formulación con 8% de chíá obtuvo la mayor aceptación en panqueques (7.60) y galletas (7.26) por su equilibrio en sabor, textura y apariencia. Las formulaciones con 2.5% y 10% de chíá fueron menos aceptadas, especialmente en pan, debido a problemas de textura y cohesión. Esto resalta la necesidad de ajustar las proporciones según el tipo de producto.

9. Recomendaciones

- Se recomienda ampliar las investigaciones hacia otros productos como tortillas, pastas y repostería, utilizando la formulación con 8% de chía como base. Además, se podrían explorar mezclas con otras harinas libres de gluten para diversificar la oferta de productos y adaptarse a diferentes nichos de mercado.
- Investigar el impacto de harina de arroz en la mezcla de las harinas de banano y chía, con el fin de brindarle una mejor estructura, como diferentes mezclas de ingredientes para mejorar los resultados con solo harina de banano y chía.
- Se recomienda desarrollar formulaciones específicas para diferentes tipos de productos libres de gluten, como panqueques, galletas y panes, considerando las proporciones de chía que maximicen tanto las propiedades funcionales como las sensoriales. Por ejemplo, para panqueques y galletas, la formulación con 8% de chía demostró ser ideal; mientras que, para panes, se podría explorar la adición de enzimas o mejoradores de masa que contrarresten la ausencia de gluten.
- Investigar el impacto de agentes estructurantes como proteína y transglutaminasa, goma guar, goma xantana o psyllium en combinación con las harinas de banano y chía

10. Referencias

- Agama-Acevedo, E., Islas-Hernández, J. J., Pacheco-Vargas, G., Osorio-Díaz, P., y Bello-Pérez, L. A. (2012). Starch digestibility and glycemic index of cookies partially substituted with unripe banana flour. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1), 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.010>
- Arendt, E. K., y Dal Bello, F. (2008). *Gluten-free cereal products and beverages*. Academic Press.
- Aristizábal, J., y Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s00.htm>
- Aurore, G., Parfait, B., y Fährasmane, L. (2009). Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science and Technology*, 20(2), 78–91. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224408002483>
- Ayala Torres, C. E., Rivas Cortez, G. M., y Zambrana Rodríguez, C. B. (2003). *Estudio proximal comparativo de la cáscara y pulpa del plátano (Musa paradisíaca) para su aprovechamiento completo en la alimentación humana y animal*. (Tesis de licenciatura). Universidad de El Salvador. <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/bc809051-d406-4df3-8356-1943d07d481f/content>
- Barbosa-Cánovas, G. V., y Vega-Mercado, H. (1996). *Dehydration of Foods*. Springer.
- Biesiekierski, J. R. (2015). Non-coeliac gluten sensitivity. *Current Opinion in Gastroenterology*, 33(2), 107–112. <https://doi.org/10.1177/2050640615578388>
- Brown, A. (2017). Banana varieties and their characteristics. *International Journal of Tropical Fruit Studies*.
- Capitani, M. I., Spotorno, V., Nolasco, S. M., y Tomás, M. C. (2012). Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. *LWT-Food Science and Technology*, 45(1), 94–102. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643811002131>
- Capitani, M. I., Spotorno, V., Nolasco, S. M., y Tomás, M. C. (2013). Compositional characteristics of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds and flour. *Industrial Crops and Products*, 50, 204–211.

- Coelho, M. S., y Salas-Mellado, M. M. (2018). Chemical characterization of chia (*Salvia hispanica L.*) for use in food products. *Journal of Food and Nutrition Research*, 6(5), 335–340.
- Codex Alimentarius. (1995). *General Standard for Wheat and Durum Wheat Flour (Codex Stan 152–1985)*. Codex Alimentarius Commission.
- Dussán Sarria, M. (2017). Efecto del uso de antioxidantes en plátano verde Dominico Hartón (Musa AAB Simmonds) cortado en rodajas. *Revista Infotec*. 28(4), 3-10. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v28n4/art02.pdf>
- Englyst, H. N., Kingman, S. M., y Cummings, J. H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46(Suppl 2), S33–S50. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1330528/>
- FAO. (2019). Pérdidas y desperdicio de alimentos en América Latina y el Caribe. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/3/ca6030es/ca6030es.pdf>
- FAO. (2023). Banana production in Guatemala. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <http://www.fao.org>
- Fernández, J. (2023). Evaluación de la calidad sensorial y fisicoquímica de galletas enriquecidas con harina de chía y puré de plátano. *Repositorio Institucional UNSCH*. Disponible en: <https://repositorio.unsch.edu.pe>
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., y Pérez-Álvarez, J. A. (2011). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 44(4), 931–942. <https://nurma.staff.uns.ac.id/wp-content/blogs.dir/570/files/2013/05/Journal-Resistant-starch-as-functional-ingredient-A-review.pdf>
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., y Delcour, J. A. (2005). Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science and Technology*, 16(1–3), 12–30. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224404001906>
- Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C., y Caballero, P. (2020). Effect of particle size on the quality of gluten-free baked goods. *Food Chemistry*, 311, 125–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.125142>

- Hernández-Alonso, P., Canela, M. A., y Salas-Salvadó, J. (2020). Dietary fiber and its role in metabolic health: A focus on the gut microbiota. *Clinical Nutrition ESPEN*, 35, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.09.009>
- Ixtaina, V. Y., Nolasco, S. M., y Tomás, M. C. (2011). Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Industrial Crops and Products*, 33(2), 286–290. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/152366/CONICET_Digital_Nro.c3_4a46fe-5644-4026-98c3-b38705d4b94b_P.pdf?sequence=5
- Montoya-López, J., Quintero-Castaño, V. D., y Lucas-Aguirre, J. C. (2015). Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Acta agronómica*, 64(1), 11-21. <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169932884002.pdf>
- Matos, M. E., y Rosell, C. M. (2015). Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance. *Journal of the science of food and agriculture*, 95(4), 653–661. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6732>
- Olivos-Lugo, B. L., Valenzuela-Soto, E. M., y Cruz-Cansino, N. S. (2021). Nutritional and functional properties of chia (*Salvia hispanica*) seeds: A review. *Food Research International*, 147, 110572. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110572>
- Pereira, E., Morais, S., Morais, A. M., y de Oliveira, M. B. P. (2023). Functional properties of gluten-free flours and their contribution to food innovation. *Food Chemistry Advances*, 2, 100064.
- Ullah, R., Nadeem, M., Khalique, A., y Imran, M. (2016). Nutritional and therapeutic perspectives of chia (*Salvia hispanica* L.): A review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(4), 1750–1758. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1982-0>
- Zhang, Y., et al. (2015). Influence of particle size on the functional and sensory properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 146, 59–65.
- Zhou, S., Liu, M., y Wang, Z. (2021). Functional properties of rice flour in gluten-free food systems: A review. *Food Science and Technology International*, 27(5), 421–433.

11. Anexos

Figura 26. Resultados de entrevistas realizados

Marca temporal	Nombre	Edad	¿Quiere participar en est	¿Con qué frecuencia con	¿Qué tipos de harina sue	Si su respuesta a la ante	¿Cuál es el motivo de co	Quando compra
7/7/2024 20:20:31	Eylin	18-25	Si	1 vez a la semana	Maiz		Intolerancia al gluten y sí El sabor y que o	
7/7/2024 20:30:51	Roberto Madrid	18-25	Si	Más de 5 veces a la sem	Maiz		Evitar daños en los intest	Sabor, aroma, ve
11/7/2024 10:24:36	Katerin estafani montón	Menos de 18	Si	1 vez a la semana	Maiz	Maiz	No tengo ningún motivo	Maizeca
11/7/2024 10:34:42	luis alexander catalan na	41-45	Si	2-3 veces a la semana	Maiz		son menoa dañinas al cu	cero grasas
11/7/2024 10:40:18	Meibelin yuseth Barreira	26-30	Si	Más de 5 veces a la sem	Maiz		Evitar padecer enfermed	Que se asimile e
11/7/2024 10:41:56	Kevin	18-25	Si	2-3 veces a la semana	Maiz		Cuidar nuestra salud	Que contengan l
11/7/2024 10:47:57	Krystel Palma	18-25	Si	Más de 5 veces a la sem	Arroz		Intolerancia de gluten, pr	Perfil nutricional,
11/7/2024 10:49:58	Ivan Onofre	18-25	Si	2-3 veces a la semana	Trigo	Trigo	Mejor salud	Calidad /precio
11/7/2024 10:53:20	Luis Aroldo Catalan Naja	41-45	Si	Más de 5 veces a la sem	Arroz		Salud	Bienestar
11/7/2024 11:02:42	Elizabeth Pérez	18-25	Si	2-3 veces a la semana	Arroz	Arroz	Es esencial para contro	Mejora el sistem
11/7/2024 11:05:51	Juan	46-50	Si	2-3 veces a la semana	Maiz		Mejorar el sistema inmun	Granulado
11/7/2024 11:06:35	Andrea Raquel catalán N	18-25	Si	2-3 veces a la semana	Maiz		Más saludable	Que sean salud
11/7/2024 11:25:20	Yeferson antonio garcias	Menos de 18	Si	1 vez a la semana	Maiz		Para no generar mucha	Las propiedades
11/7/2024 11:30:26	Silvia esperanza cerrate	Menos de 18	Si	2-3 veces a la semana	Maiz	Maiz	Buena alimentación	Vitaminas
11/7/2024 11:34:04	Anthony Andrés López G	18-25	Si	2-3 veces a la semana	Arroz			
11/7/2024 11:34:34	John Erick	Menos de 18	Si	1 vez a la semana	Maiz	Ninguna	Para no engordar en exc	Que sea dañina
11/7/2024 11:36:22	Ashlyn Oliva	18-25	Si	1 vez a la semana	Arroz		Porque ayuda a combatir	Que sea buena
11/7/2024 11:36:52	José Miquel Carin Farfán	18-25	Si	4 veces a la semana	Maiz		Desinflamar un poco el s	Que sea aarada

Nota: elaboración propia

Cuadro 20. Datos de caracterización de la materia prima (banano tipo Musa Cavendish etapa 3 de maduración)

Muestra	°Brix	pH	% Almidón
1	1,3	5,43	19,8
2	1,3	5,38	18,7
3	1,3	5,32	18,9
4	1,3	5,44	18,6
5	1,3	5,4	18,7

Nota: elaboración propia

Cuadro 21. *Datos originales de análisis de solventes formulaciones de harinas de banano con chía en triplicado*

Proporciones de chía	Agua	Sacarosa	Acido lactico	Carbonato de sodio
2.5% chía	22.76	49.69	23.48	19.76
	22.75	49.72	23.61	19.79
	22.84	49.83	23.72	19.90
5% chía	23.30	18.82	23.52	16.22
	23.43	18.95	23.75	16.35
	23.54	19.06	23.76	16.46
8% chía	14.54	18.91	20.76	16.28
	14.67	19.14	20.89	16.21
	14.68	19.15	21.33	16.32
10% chía	7.34	20.41	24.33	17.76
	7.57	20.34	24.36	17.73
	7.58	20.45	24.47	17.84

Nota: elaboración propia

Cuadro 22. *Datos originales de análisis proximal de humedad en cada formulación de harina de banano con chía en duplicado*

Proporciones de chía	Muestras	Peso crisol vacío g	Peso crisol+muestra g	Peso muestra final	% humedad
2.50%	1.1	15.9012	20.9243	20.5361	7.7283
	1.2	15.8556	20.8634	20.4776	7.7040
5%	2.1	16.6367	21.6825	21.2970	7.6400
	2.2	16.4035	21.4159	21.0346	7.6071
8%	3.1	16.1334	21.1600	20.7743	7.6732
	3.2	16.2093	21.2401	20.8510	7.7344
10%	4.1	15.5304	20.5723	20.1836	7.7094
	4.2	17.8812	22.9139	22.5283	7.6619
NA	Gold medal 1	16.4808	21.5655	20.9830	11.4559
	Gold medal 2	15.5626	20.5753	19.9973	11.5307

Nota: elaboración propia

Cuadro 23. *Datos originales de análisis proximal de ceniza en cada formulación de harina de banano con chía en duplicado*

Proporciones de chía	Muestras	Peso crisol vacío g	Peso muestra inicial g	Peso crisol+muestra g	Peso muestra final	% ceniza
2.50%	1.1	25.1678	1.5945	26.7623	25.2049	2.3267
	1.2	28.2004	1.5077	29.7081	28.2238	1.5520
5%	2.1	27.8863	1.5048	29.3911	27.9196	2.2129
	2.2	22.0424	1.5334	23.5758	22.0992	3.7042
8%	3.1	16.8599	1.5866	18.4465	16.9059	2.8993
	3.2	21.6857	1.5220	23.2077	21.7379	3.4297
10%	4.1	17.5207	1.5304	19.0511	17.5733	3.4370
	4.2	18.2119	1.5327	19.7446	18.2631	3.3405
NA	Gold medal 1	16.3353	1.5256	17.8609	16.3440	0.5703
	Gold medal 2	19.1886	1.5475	20.7361	19.1967	0.5234

Nota: elaboración propia

Cuadro 24. *Datos originales de análisis proximal de grasa en cada formulación de harina de banano con chía en duplicado*

Proporcione s de chía	Muestra s	Peso vaso vacío g	Peso muestra inicial g	Peso vaso+muestr a de grasa g	% grasa
2.50%	1.1	75.1263	3.5237	75.1650	1.0983
	1.2	75.2969	3.5236	75.3300	0.9394
5%	2.1	75.1545	3.5137	75.2027	1.3718
	2.2	76.3727	3.5139	76.4331	1.7189
8%	3.1	74.974	3.5280	75.0488	2.1202
	3.2	74.8383	3.5129	74.9527	3.2566
10%	4.1	72.9072	3.5121	73.0069	2.8388
	4.2	76.9739	3.5072	77.0936	3.4130
NA	Gold medal 1	75.6288	3.5046	75.6680	1.1185
	Gold medal 2	75.2091	3.5062	75.2507	1.1865

Nota: elaboración propia

Cuadro 25. *Datos originales de análisis proximal de proteína en cada formulación de harina de banano con chía en duplicado*

Proporciones de chía	Muestras	Peso muestra inicial g	Titulación ml hcl 0.1 n	% nitrógeno	% proteína
2.50%	1.1	0.2507	1.6000	0.8935	5.5844
	1.2	0.2517	1.8000	1.0012	6.2574
5%	2.1	0.2511	1.8000	1.0036	6.2724
	2.2	0.2533	1.8000	0.9949	6.2179
8%	3.1	0.2530	2.1000	1.1621	7.2628
	3.2	0.2531	2.2000	1.2169	7.6057
10%	4.1	0.2533	1.9000	1.0501	6.5634
	4.2	0.2524	1.6000	0.8875	5.5468
NA	Gold medal 1	0.2516	3.8000	2.1145	13.2154
	Gold medal 2	0.2503	3.6000	2.0136	12.5849

Nota: elaboración propia

Cuadro 26. *Datos originales de análisis proximal de fibra en cada formulación de harina de banano con chía en duplicado*

Proporciones de chía	Muestras	Peso muestra inicial g	Peso crisol g	Peso crisol+muestra después de horno g	Peso crisol+muestra después de muffle g	% de fibra
2.50%	1.1	1.0140	42.79 99	42.8346	42.8276	2.7318
	1.2	1.0038	36.87 42	37.3459	36.9012	2.6898
5%	2.1	1.0087	35.12 18	35.8475	35.1595	3.7375
	2.2	1.0065	34.16 90	34.8663	34.2078	3.8549
8%	3.1	1.0028	35.30 23	35.9563	35.3542	5.1755
	3.2	1.0056	33.17 17	33.9774	33.2256	5.3600
10%	4.1	1.0034	33.18 53	33.7192	33.2448	5.9338
	4.2	1.0033	42.19 43	42.8488	42.2573	6.2793
NA	Gold medal 1	1.0014	34.21 02	34.2669	34.2274	1.7176
	Gold medal 2	1.0066	43.77 59	43.8324	43.7939	1.7832

Nota: elaboración propia

Figura 27. *Recepción de materia prima para elección de bananos Musa Cavendish en etapa 3 de maduración*



Nota: elaboración propia

Figura 28. *Proceso de molienda del banano deshidratado*



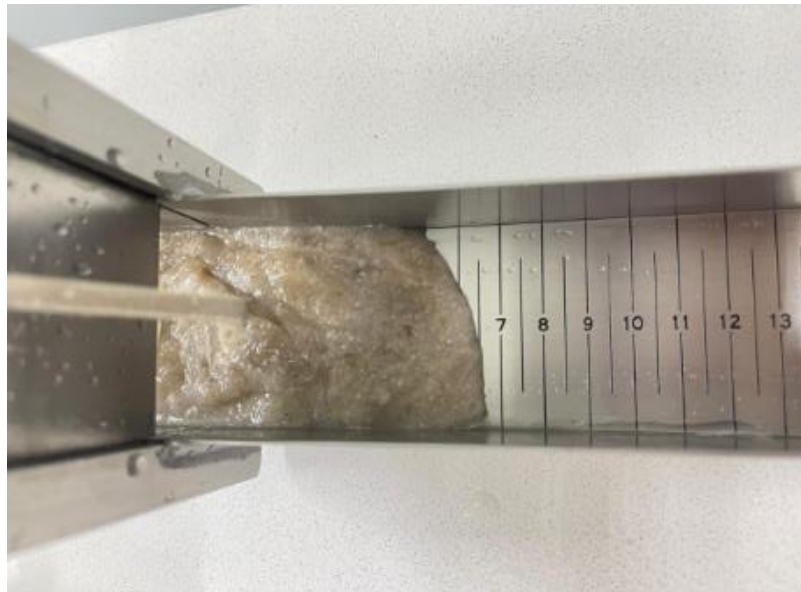
Nota: elaboración propia

Figura 29. *Tamizado de la harina molida de banana Musa cavendish*



Nota: elaboración propia

Figura 30. *Prueba de gelificación en un consistómetro marca Bostwick*



Nota: elaboración propia

Cuadro 27. *Imágenes de análisis proximal de las harinas*

Análisis de Humedad		
		
Análisis de Ceniza		
		
Análisis de Grasa		
		
Análisis de Proteína		
		
Análisis de Fibra		
		

Nota: elaboración propia

Figura 31. Formulario elaborado para realización de panel sensorial

Análisis Sensorial de Harina de Banano y Chía

Se realizó esta encuesta para poder llevar a cabo un análisis sensorial de un producto a base de harina de banano y chía.

cat20070@uvg.edu.gt [Cambiar de cuenta](#) 🔒

🔒 No compartido

¿Qué tan agradable es el sabor de la harina utilizada en este producto?

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Muy poco Bastante

¿Qué tan adecuada es la textura de este producto con la harina?

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Muy poco Bastante

Nota: elaboración propia

Figura 32. Anova realizado para el análisis solubilidad en agua realizados

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
2.5% chía	3	49.19	16.39666667	0.000433333		
5% chía	3	42.9	14.3	0.0001		
8% chía	3	42.3	14.1	1E-04		
10% chía	3	41.09	13.69666667	0.000233333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
1 de las varianza de cuadrados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F		
Entre grupos	13.1455333	3	4.381844444	20223.89744	7.43471E-16	4.066180551
Dentro de los	0.00173333	8	0.000216667			
Total	13.1472667	11				

Nota: elaboración propia

Figura 33. Anova realizado para el análisis solubilidad en aceite realizados

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
2.5% chia	3	33.3	11.1	0.0004		
5% chia	3	33.3	11.1	1E-04		
8% chia	3	30	10	1E-04		
10% chia	3	32.4	10.8	0.0001		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2.43	3	0.81	4628.571429	2.7045E-13	4.066180551
Dentro de los	0.0014	8	0.000175			
Total	2.4314	11				

Nota: elaboración propia

Figura 34. Anova realizado para el análisis de solventes en agua realizados

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
2.5% chia	3	68.35	22.78333333	0.002433333		
5% chia	3	70.27	23.42333333	0.014433333		
8% chia	3	43.89	14.63	0.0061		
10% chia	3	22.49	7.496666667	0.018433333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	511.8258667	3	170.6086222	16483.92485	1.68432E-15	4.066180551
Dentro de los grupos	0.0828	8	0.01035			
Total	511.9086667	11				

Nota: elaboración propia

Figura 35. Anova realizado para el análisis de solventes en solución de sacarosa realizados

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
2.5% chia	3	149.24	49.74666667	0.005433333		
5% chia	3	56.83	18.94333333	0.014433333		
8% chia	3	57.2	19.06666667	0.018433333		
10% chia	3	61.2	20.4	0.0031		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2066.437092	3	688.8123639	66551.91922	6.34244E-18	4.066180551
Dentro de los grupos	0.0828	8	0.01035			
Total	2066.519892	11				

Nota: elaboración propia

Figura 36. Anova realizado para el análisis de solventes en solución de ácido láctico realizados

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
2.5% chía	3	70.81	23.60333333	0.014433333		
5% chía	3	71.03	23.67666667	0.018433333		
8% chía	3	62.98	20.99333333	0.089233333		
10% chía	3	73.16	24.38666667	0.005433333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	19.98763333	3	6.662544444	208.9663704	6.17222E-08	4.066180551
Dentro de los grupos	0.255066667	8	0.031883333			
Total	20.2427	11				

Nota: elaboración propia

Figura 37. Anova realizado para el análisis de solventes en solución de carbonato de sodio realizados

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
2.5% chía	3	59.45	19.81666667	0.005433333		
5% chía	3	49.03	16.34333333	0.014433333		
8% chía	3	48.81	16.27	0.0031		
10% chía	3	53.33	17.77666667	0.003233333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	24.85076667	3	8.283588889	1264.670059	4.81994E-11	4.066180551
Dentro de los grupos	0.0524	8	0.00655			
Total	24.90316667	11				

Nota: elaboración propia

Figura 38. Anova realizado para el análisis proximal de humedad realizados

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	2	15.43227706	7.716138532	0.000295573		
Columna 2	2	15.24715175	7.623575874	0.00054065		
Columna 3	2	15.40753505	7.703767527	0.001871354		
Columna 4	2	15.3712865	7.68564325	0.001128317		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.0101312	3	0.003377067	3.521543403	0.127724452	6.591382116
Dentro de los grupos	0.00383589	4	0.000958973			
Total	0.01396709	7				

Nota: elaboración propia

Figura 39. Anova realizado para el análisis proximal de ceniza realizados

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	2	3.87878109	1.93939055	0.300091897		
Columna 2	2	5.91710543	2.95855272	1.111940294		
Columna 3	2	6.32897925	3.16448962	0.140670717		
Columna 4	2	6.77752014	3.38876007	0.004656098		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2.45900845	3	0.81966948	2.105280749	0.242304552	6.591382116
Dentro de los	1.55735901	4	0.38933975			
Total	4.01636746	7				

Nota: elaboración propia

Figura 40. Anova realizado para el análisis proximal de grasa realizados

Análisis de varianza de un factor							
RESUMEN							
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
1.1	2	2.037657558	1.018828779	0.01262416			
2.1	2	3.09066119	1.545330595	0.060244238			
3.1	2	5.376750053	2.688375026	0.645687981			
4.1	2	6.251736453	3.125868227	0.164865209			
Gold medal 1	2	2.304999614	1.152499807	0.002307905			
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Entre grupos	7.17021349	4	1.792553372	10.11907917	0.012927342	5.192167773	
Dentro de los grupos	0.885729493	5	0.177145899				
Total	8.055942983	9					

Nota: elaboración propia

Figura 41. Anova realizado para el análisis proximal de proteína realizados

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	2	11.8418131	5.92090656	0.22652209		
Columna 2	2	12.4903248	6.24516242	0.00148393		
Columna 3	2	14.8685353	7.43426765	0.05877087		
Columna 4	2	12.1101148	6.05505739	0.5167504		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2.88286609	3	0.96095536	4.78368507	0.0823207	6.59138212
Dentro de los	0.80352728	4	0.20088182			
Total	3.68639337	7				

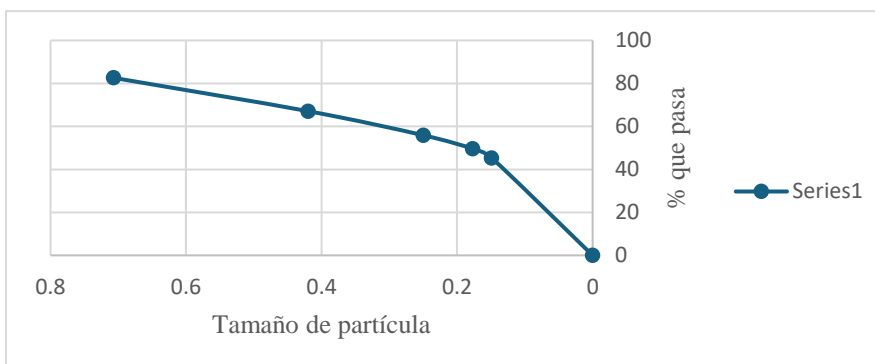
Nota: elaboración propia

Figura 42. Anova realizado para el análisis proximal de fibra realizados

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	2	5.421534264	2.710767132	0.000881017		
Columna 2	2	7.592426761	3.796213381	0.006898306		
Columna 3	2	10.53549267	5.267746333	0.017015607		
Columna 4	2	12.21310338	6.106551688	0.059669021		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Entre grupos	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Entre grupos	13.7271778	3	4.575725948	216.6948559	6.99788E-05	6.591382116
Dentro de los	0.08446395	4	0.021115988			
Total	13.8116418	7				

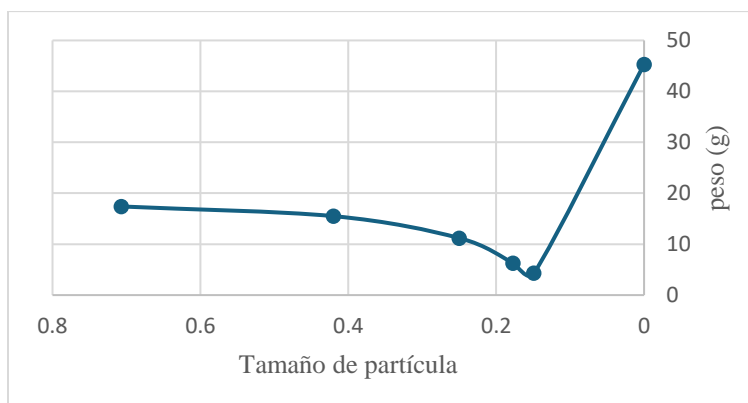
Nota: elaboración propia

Figura 43. Análisis granulométrico de formulación 1



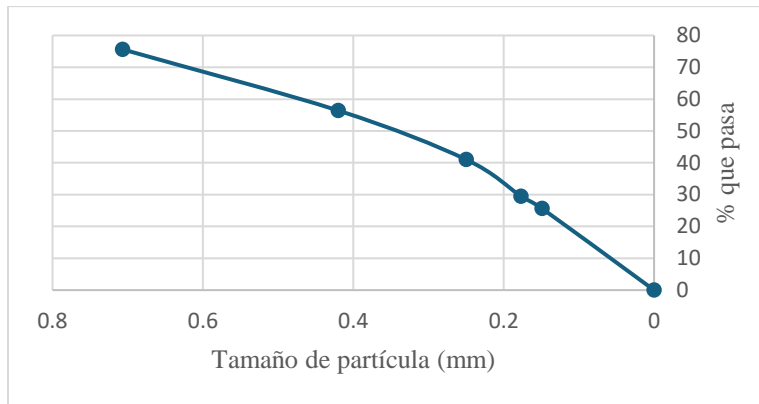
Nota: elaboración propia

Figura 44. Distribución de tamaño de formulación 1



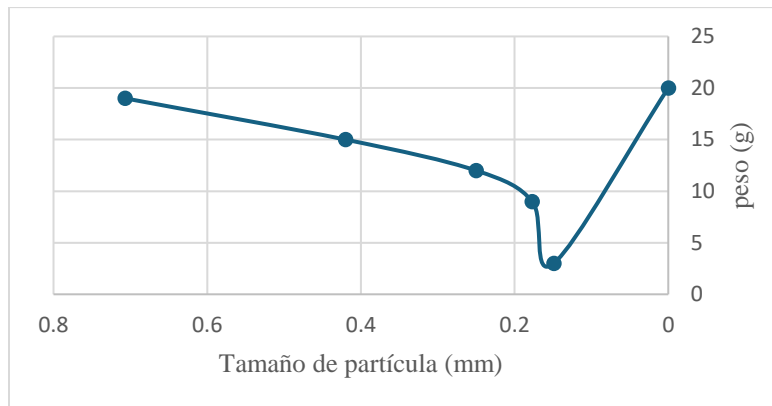
Nota: elaboración propia

Figura 45. Análisis granulométrico de formulación 2



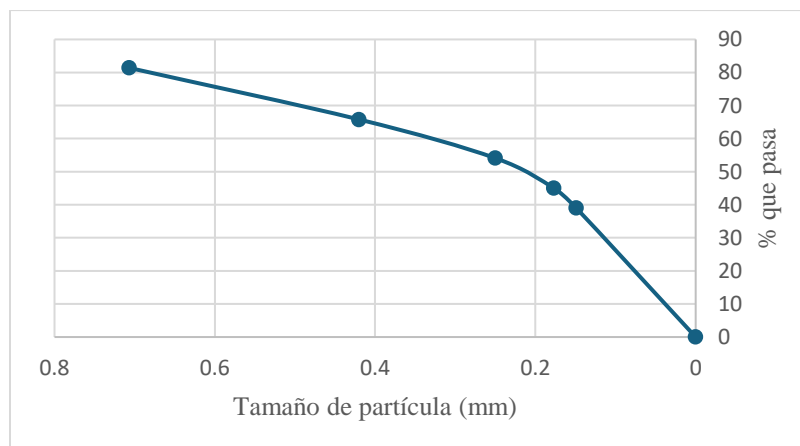
Nota: elaboración propia

Figura 46. Distribución de tamaño de formulación 2.



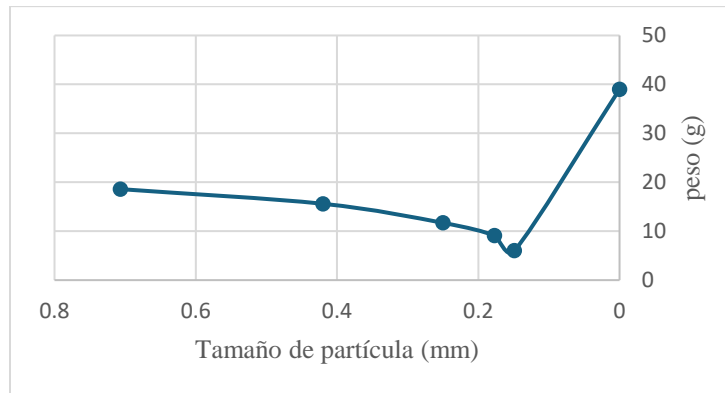
Nota: elaboración propia

Figura 47. Análisis granulométrico de formulación 3



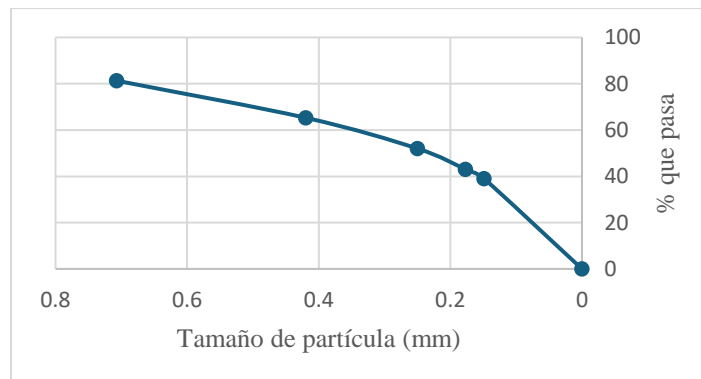
Nota: elaboración propia

Figura 48. Distribución de tamaño de formulación 3



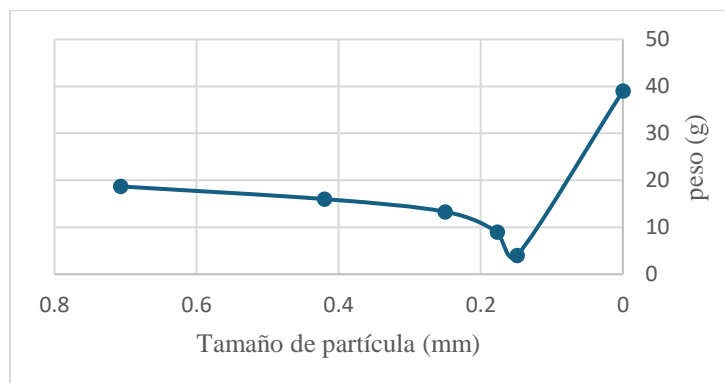
Nota: elaboración propia

Figura 49. Análisis granulométrico de formulación 4



Nota: elaboración propia

Figura 50. Distribución de tamaño de formulación 4.



Nota: elaboración propia

Cuadro 28. *Análisis de anova de promedio de solubilidad de agua y aceite en las diferentes formulaciones de harina*

Solubilidad	Alfa	Valor-p	Conclusión
Agua	0.05	7.4347×10^{-16}	Se rechaza Ho. Hay diferencia significativa entre los grupos evaluados
Aceite	0.05	2.7045×10^{-13}	Se rechaza Ho. Hay diferencia significativa entre los grupos evaluados

Nota: elaboración propia

Figura 51. *Prueba tukey para solubilidad en agua*

Proporción de chía	Promedio (% Agua)	Grupo (letras)
2.5% de chía	16.40 ± 0.09	a
5% de chía	14.30 ± 0.14	b
8% de chía	14.10 ± 0.10	b
10% de chía	13.70 ± 0.07	c

Nota: elaboración propia

Figura 52. *Prueba tukey para solubilidad en aceite*

Proporción de formulaciones	% Aceite (mL/g)	Letras Tukey
2.5% de chía	11.1 ± 0.02	a
5% de chía	11.1 ± 0.02	a
8% de chía	10.0 ± 0.01	b
10% de chía	10.8 ± 0.01	b

Nota: elaboración propia

Cuadro 29. *Análisis de anova de promedios de retención de solventes en las formulaciones de harina a base de banano y chía*

Solubilidad	Alfa	Valor-p	Conclusión
Agua	0.05	7.4347×10^{-16}	Se rechaza Ho. Hay diferencia significativa entre los grupos evaluados
Aceite	0.05	2.7045×10^{-13}	Se rechaza Ho. Hay diferencia significativa entre los grupos evaluados

Nota: elaboración propia

Figura 53. *Prueba tukey para prueba de solventes en agua*

Proporción de chía (%)	Promedio \pm Desviación estándar (mL/g)	Código de letras
2.5%	22.78 \pm 0.04	a
5%	23.42 \pm 0.12	a
8%	14.63 \pm 0.06	b
10%	7.50 \pm 0.12	c

Nota: elaboración propia

Figura 54. *Prueba tukey para prueba de solventes en sacarosa*

Formulación	Promedio de contenido de sacarosa	Letra
2.5% chía	49.75	a
10% chía	20.40	b
8% chía	19.07	b
5% chía	18.94	b

Nota: elaboración propia

Figura 55. Prueba tukey para prueba de solventes en ácido láctico

Proporción de chía	Promedio \pm DE	Letras Significativas
2.5%	23.60 \pm 0.12	a
5%	23.68 \pm 0.14	a
8%	20.99 \pm 0.28	b
10%	24.39 \pm 0.07	a

Nota: elaboración propia

Figura 56. Prueba tukey para prueba de solventes en carbonato de sodio

Grupo	Promedio (Mean)	Letra (Tukey)
2.5% chía	19.816	a
5% chía	16.343	b
8% chía	16.27	b
10% chía	17.777	b

Nota: elaboración propia

Figura 57. Prueba tukey para análisis de gelificación

Formulación	Capacidad Gelificante (cm/s)	Superíndice
1	0.00 \pm 0.05	a
2	0.00 \pm 0.05	a
3	5.00 \pm 0.05	b
4	6.00 \pm 0.05	c

Nota: elaboración propia

Cuadro 30. Resumen de análisis de anova realizado a cada análisis proximal elaborado con las formulaciones de harina de banano y chía

Análisis Proximal	Alfa	Valor-p	Conclusión
Humedad	0.05	0.127	No se rechaza Ho. No hay diferencia significativa entre los grupos evaluados
Cenizas	0.05	0.242	No se rechaza Ho. No hay diferencia significativa entre los grupos evaluados
Fibra	0.05	6.99×10^{-5}	Se rechaza Ho. Hay diferencia significativa entre los grupos evaluados
Grasa	0.05	0.03	Se rechaza Ho. Hay diferencia significativa entre los grupos evaluados
Proteína	0.05	0.08	No se rechaza Ho. No hay diferencia significativa entre los grupos evaluados
Carbohidratos disponibles	0.05	0.002	Se rechaza Ho. Hay diferencia significativa entre los grupos evaluados

Nota: elaboración propia

Figura 58. Prueba de tukey para análisis proximal de humedad

Grupo	% Humedad Promedio	Superíndice
1.1 (2.5% chía)	7.716 ± 0.100	a
2.1 (5% chía)	7.624 ± 0.101	a
3.1 (8% chía)	7.704 ± 0.102	a
4.1 (10% chía)	7.686 ± 0.101	a

Nota: elaboración propia

Figura 59. Prueba de tukey para análisis proximal de ceniza

Muestras	% Ceniza Promedio	Códigos de Tukey
1.1	1.939	a
2.1	2.959	b
3.1	3.164	b
4.1	3.389	c

Nota: elaboración propia

Figura 60. Prueba de tukey para análisis proximal de grasa

Grupo	% Grasa Promedio \pm Incertidumbre	Código de letras
1.1 (Columna 1)	1.019 \pm 0.150	a
2.1 (Columna 2)	1.545 \pm 0.245	a
3.1 (Columna 3)	2.688 \pm 0.804	b
4.1 (Columna 4)	3.126 \pm 0.406	b

Nota: elaboración propia

Figura 61. Prueba de tukey para análisis proximal de fibra

Grupo	Promedio % de Fibra	Letra asignada
2.5% de chía	2.71 \pm 0.12	a
5% de chía	3.66 \pm 0.27	b
8% de chía	5.27 \pm 0.17	c
10% de chía	6.11 \pm 0.27	c

Nota: elaboración propia