

Valorización de subproductos agroindustriales como fuentes de compuestos bioactivos para el desarrollo de formulaciones innovadoras de alimentos veganos funcionales

Mayelis Soto Montalvo

Dina Rico Padilla

Asesor

Luis Carlos Boyano Orozco

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e ingeniería ECBTI

Ingeniería de Alimentos

2025

**Valorización de subproductos agroindustriales como fuentes de compuestos
bioactivos para el desarrollo de formulaciones innovadoras de alimentos veganos
funcionales**

Mayelis Soto Montalvo

Dina Rico Padilla

Asesor:

Luis Carlos Boyano Orozco

Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e ingeniería
Ingeniería de Alimentos

2025

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado, principalmente a Dios, por seguía en cada momento de mi vida. Su amor incondicional y sabiduría han sido mi luz en los momentos oscuros, motivándome a seguir adelante con fe y esperanza.

A mis padres Tomas Soto Espitia y Marelis Montalvo Flórez quienes han sido pilares indiscutibles en mi vida y un ejemplo de amor, fortaleza y determinación. Gracias por enseñarme a avanzar en medio de las adversidades, por cada palabra de aliento, por nunca dejar de creer en mí y sobre todo por estar siempre a mi lado. Esta meta no solo es mía, sino también un pedacito de cada uno de ustedes, que con su apoyo hicieron esto posible.

A mi hermana, Maryuris Soto, por acompañarme siempre, por sus gestos, por hacerme sonreír incluso en los momentos de mayor estrés y por brindarme su apoyo incondicional en cada etapa de este camino.

A mis abuelos, por su amor y apoyo constante en cada paso que doy, gracias por creer en mí y ser una fuente permanente de motivación.

Y de manera muy especial, a mi perro Rocky, por acompañarme en cada momento de este proceso. Por estar a mi lado en largas jornadas de estudio, por su compañía silenciosa, su lealtad incondicional y por brindarme calma y alegría incluso en los días más difíciles.

Mayelis Soto Montalvo.

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado, primeramente, a Dios Todopoderoso, fuente de vida y amor, de toda sabiduría y fortaleza, por iluminar mi camino con su presencia y sostenerme en cada desafío de esta etapa profesional. Que este trabajo sea testimonio de su infinita misericordia y bendición. Amén.

A mis padres, Manuel S. Rico Sánchez y Lelys I. Padilla Salgado; a mis hermanos, Carlos M. Rico P. y Lelys C. Rico P., y además familiares, por ser pilares fundamentales en cada etapa de este camino académico. Gracias por su amor, dedicación, esfuerzo y apoyo incondicional, que hicieron más ligero el sendero hacia la meta. Gracias por enseñarme el valor del estudio y del trabajo honesto, y por creer en mí incluso cuando las fuerzas flaqueaban. Padres, gracias por todo: este es el resultado de su amor, esfuerzos y oraciones. Los amo mucho.

A mis pastores, José F. Bolaño Saab y Eliana M. Salgado Racero, y a la familia de la fe de la Iglesia Senda de Cristo, por su amor y apoyo permanente reflejado en hechos. Sé que sin sus oraciones no se hubiera podido cumplir esta meta. Este logro también es de ustedes, por creer en lo que Dios había prometido. Les aprecio mucho.

A todas las personas que se dejaron usar como instrumentos por Dios para ser bendición en mi vida: tía Claudia y flia., tía Enith y flia., hermana Tamar y flia., tía Ruth y flia. Este trabajo también está dedicado a ustedes.

Dina Rico Padilla

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por brindarme salud, fortaleza y sabiduría durante todo mi proceso académico, y por permitirme culminar una etapa fundamental de mi formación profesional.

A nuestros asesores de proyecto, el Ing. Luis Carlos Boyano y la Ing. Vanessa Pertuz, por su orientación, acompañamiento y valiosos aportes durante el desarrollo del presente trabajo, así como por su disposición y apoyo constante en cada una de las etapas de nuestra investigación.

Agradezco profundamente a mis padres, quienes me han formado con sólidos valores, por enseñarme a nunca rendirme y a dar siempre mi máximo esfuerzo en cada meta que me propongo, y por su apoyo incondicional a lo largo de este proceso.

A mi hermana, por su paciencia, compañía y apoyo incondicional durante este proceso académico, siendo un pilar fundamental en los momentos de mayor dedicación.

De manera especial, agradezco a mi tío Jorge Soto Espitia, por su apoyo constante, confianza y acompañamiento en todo momento, los cuales fueron fundamentales para la culminación de este proceso académico.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la realización y culminación de este trabajo de grado.

Mayelis Soto Montalvo.

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por brindarme su amor, salud, fortaleza, inteligencia, conocimiento y sabiduría durante esta etapa académica; sin su ayuda, nada de esto hubiera sido posible.

Expreso mi profundo agradecimiento a nuestros asesores, el Ing. Luis Carlos Boyano y la Ing. Vanessa Pertuz, por su guía experta, paciencia y comentarios precisos que estructuraron esta investigación. Su confianza y disponibilidad constante me motivaron a superar todos los obstáculos.

A mi familia, especialmente a mis padres y hermanos, por su amor, apoyo incondicional, sacrificios silenciosos y fe inquebrantable en mi capacidad para culminar estos estudios. A mis pastores y hermanos de la fe, por su amor, comprensión durante las largas horas de ausencia y palabras de aliento en momentos de duda.

Extiendo mi gratitud a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) por sus recursos, acceso a bases de datos y ambiente académico que hicieron posible este proyecto; así como a la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI) y al comité evaluador por sus valiosas observaciones que enriquecieron el resultado final.

Agradezco a mi colega Mayelis Soto Montalvo por las discusiones enriquecedoras y colaboración en análisis experimentales; a mis compañeros de curso por compartir conocimientos valiosos; y a la Dra. Dianis Arrieta, Ing. Mariano y Sr. José Carmona, instrumentos de Dios para conocer esta universidad.

Este logro no es solo mío, sino el reflejo del apoyo colectivo recibido. A todos, mi eterna gratitud.

Dina Rico Padilla

Resumen

Este trabajo investiga la masiva producción de desechos agroindustriales en Colombia, que suma aproximadamente 9,76 millones de toneladas anuales, presentando un reto ambiental significativo. Estos desechos contienen compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, lo que los convierte en recursos valiosos para la industria alimentaria y el desarrollo de productos funcionales a base de plantas.

El estudio busca formular un alimento funcional aprovechando subproductos agroindustriales, realizando una caracterización de estos y creando fórmulas alimentarias. Se seleccionaron cáscara de piña, orujo de uva y maní crudo con cáscara para obtener harinas. La harina de maní destacó por su alto contenido proteico 30,2 g/100g) y calórico (534,7 kcal/100g), mientras que la de cáscara de piña resaltó por su contenido de fibra (12,5 – 59 g/100g) y carbohidratos (67-85,07 g/100g).

Se desarrollaron diez formulaciones de tortas de zanahoria veganas, los resultados de los compuestos fenólicos totales indicaron que la Formulación 1 mostró el valor más alto (0,3389 mg EAG/g), lo que sugiere que la harina de cáscara de piña tuvo el mayor impacto positivo en la concentración de estos compuestos antioxidantes.

Por otro lado, la evaluación sensorial mostro que las formulaciones que integraron las tres harinas en proporciones balanceadas (F6 a F10) lograron puntajes de aceptación general superiores a 7 puntos. La Formulación F8 fue identificada como la mejor, al obtener el mayor puntaje promedio en aceptación general, sabor, aroma, color y textura, además de mostrar un contenido funcional elevado.

Finalmente, el estudio evidencia que es posible convertir estos subproductos agroindustriales en ingredientes valiosos para el ámbito de los alimentos funcionales veganos, contribuyendo así al desarrollo sostenible y a la economía circular.

Palabras clave: Subproductos agroindustriales, valorización de subproductos, compuestos bioactivos, alimentos funcionales, alimentos veganos.

Abstract

This work investigates the massive production of agro-industrial waste in Colombia, which totals approximately 9.76 million tons annually, presenting a significant environmental challenge. This waste contains bioactive compounds with antioxidant properties, making it a valuable resource for the food industry and the development of plant-based functional products.

The study aims to formulate a functional food by utilizing agro-industrial byproducts, characterizing them and creating food formulas. Pineapple peel, grape pomace, and raw peanuts in their shells were selected to obtain flours. Peanut flour stood out for its high protein content (30.2 g/100g) and caloric content (534.7 kcal/100g), while pineapple peel flour stood out for its fiber content (12.5–59 g/100g) and carbohydrate content (67–85.07 g/100g).

Ten vegan carrot cake formulations were developed. The results for total phenolic compounds indicated that Formulation 1 showed the highest value (0.3389 mg GAE/g), suggesting that pineapple peel flour had the greatest positive impact on the concentration of these antioxidant compounds.

On the other hand, sensory evaluation showed that the formulations incorporating the three flours in balanced proportions (F6 to F10) achieved overall acceptance scores above 7 points. Formulation F8 was identified as the best, obtaining the highest average score in overall acceptance, flavor, aroma, color, and texture, in addition to showing a high functional content.

Finally, the study demonstrates that it is possible to transform these agro-industrial byproducts into valuable ingredients for the field of vegan functional foods, thus contributing to sustainable development and the circular economy.

Keywords: Agro-industrial by-products, valorization of by-products, bioactive compounds, functional foods, vegan foods.

Tabla de contenido

Introducción	19
Naturaleza y Dimensión de la Investigación	22
Marco contextual	22
Antecedentes	24
Planteamiento del Problema	27
Objetivos	29
Objetivo General.....	29
Objetivos Específicos	29
Justificación	30
Marco de Referencia	32
Marco conceptual	32
Subproductos Agroindustriales.....	32
Valorización de Subproductos	32
Compuestos Bioactivos	33
Alimentos Funcionales	33
Alimentos Veganos.....	33
Antioxidantes	34
Polifenoles	34
Flavonoides.....	34
Fibra dietaria.....	35
Propiedades Nutricionales	35
Sostenibilidad	35

Economía Circular	36
Marco Teórico.....	37
Propiedades nutricionales de un alimento.	37
Propiedades funcionales de los alimentos y compuestos bioactivos.....	38
Fibra dietética	41
Antioxidantes.....	41
Innovación y tendencias en alimentos funcionales veganos	42
Valoración de residuos agroindustriales de los alimentos.....	43
Metodología	46
Línea de investigación.....	46
Fases de la Investigación	46
Fase 1: Evaluar la literatura existente sobre las propiedades funcionales de subproductos agroindustriales.....	46
Fase 2: Determinar las propiedades nutricionales de los subproductos agroindustriales identificados en la revisión de literatura.....	47
Fase 3: Proponer una formulación de un alimento funcional a partir de las propiedades nutricionales y funcionales de los subproductos agroindustriales identificados en la revisión de literatura	54
Fase 4. Determinación de los compuestos fenólicos y la evaluación sensorial de las formulaciones desarrolladas.	59
Determinación del contenido de compuestos fenólicos de las formulaciones	59
Evaluación Sensorial de las formulaciones	60
Resultados.....	62

Evaluación de la literatura existente sobre las propiedades funcionales de subproductos agroindustriales.....	62
Determinación de Balance de pérdidas de las Harinas a partir de subproductos agroindustriales durante su procesamiento.	73
Rendimiento de las Harinas.....	76
Determinación de propiedades nutricionales de las muestras de harinas a base de subproductos.	78
Determinación de las propiedades nutricionales de las formulaciones evaluadas.	88
Determinación de la pérdida de horneado de formulaciones realizadas.....	92
Determinación de compuestos fenólicos totales de las formulaciones realizadas.....	95
Validación estadística del Modelo.....	98
Evaluación Sensorial de las formulaciones realizadas.	105
Validación estadística del Modelo.....	113
Discusión de los resultados.....	123
Conclusiones.....	126
Referencias Bibliográficas.....	128
Apéndices.....	143

Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de obtención de harina de piña.....	49
Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de obtención de la harina de orujo de Uva.....	50
Figura 3. Diagrama de bloques del proceso de obtención de la harina de maní crudo con cascara	51
Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de la Torta de Zanahoria.	56
Figura 5. Estudio comparativo del contenido de grasa cruda de cáscara de piña con cereales seleccionados.	80
Figura 6. Pérdida de horneado en formulaciones de torta vegana funcional.	92
Figura 7. Grafica de compuestos fenólicos por gramos de torta en cada formulación.....	96
Figura 8. Grafica de superficie de mezcla de compuestos fenólicos.	100
Figura 9. Grafica de contorno de mezcla para compuestos fenólicos	101
Figura 10. Grafica de residuos para compuestos fenólicos.	102
Figura 11. Grafica de rastreo de respuesta de Cox	103
Figura 12. Grafica de optimización	104
Figura 13. Evaluación sensorial del atributo sabor en las diferentes formulaciones de torta vegana	106
Figura 14. Evaluación sensorial del atributo aroma en las diferentes formulaciones de torta vegana	107
Figura 15. Evaluación sensorial del atributo color en las diferentes formulaciones de torta vegana.	109
Figura 16. Evaluación sensorial del atributo textura en las diferentes formulaciones de torta vegana.	110

Figura 17. Evaluación sensorial del atributo aceptación global en las diferentes formulaciones de torta vegana	112
Figura 18. Grafica de contorno de mezcla para sabor	114
Figura 19. Grafica de rastreo de respuesta de Cox	115
Figura 20. Grafica de contorno de mezcla para Aroma	116
Figura 21. Grafica de rastreo de respuesta de Cox	117
Figura 22. Grafica de contorno de mezcla para color	118
Figura 23. Grafica de rastreo de respuesta de Cox	119
Figura 24. Grafica de contorno de mezcla para textura	120
Figura 25. Grafica de rastreo de respuesta de Cox	121
Figura 26. Grafica de contorno de mezcla para aceptación global	122
Figura 27. Grafica de rastreo de respuesta de Cox	123

Lista de Tablas

Tabla 1. Métodos para determinar las propiedades nutricionales de los subproductos agroindustriales.	53
Tabla 2. Formulación e ingredientes originales para la elaboración de la torta de zanahoria. ...	55
Tabla 3. Formulaciones generadas a partir del diseño de mezcla para la elaboración de la torta vegana funcional.	57
Tabla 4. Compuestos bioactivos identificados según el tipo de subproductos.	63
Tabla 5. Método de extracción para la obtención de compuestos bioactivos de los subproductos identificados.	68
Tabla 6. Resumen de Balance de pérdidas del proceso de obtención de la harina a partir de cascara de piña.	73
Tabla 7. Resumen de Balance de pérdidas del proceso de obtención de la harina a partir de Orujo de Uva.	74
Tabla 8. Resumen de Balance de pérdidas del proceso de obtención de la harina a partir de Maní Crudo con Cáscara.	75
Tabla 9. Resultado % rendimiento de las harinas obtenidas.	76
Tabla 10. Propiedades nutricionales de la cascara de piña (Ananás comosus), basada en material seco.	78
Tabla 11. Propiedades nutricionales determinadas para la muestra de material seco del subproducto agroindustrial Orujo de Uva.	81
Tabla 12. Propiedades nutricionales determinadas para la muestra de material seco del subproducto agroindustrial Maní Crudo con Cascara.	85

Tabla 13. Propiedades nutricionales determinadas para las muestras de tortas analizadas: F2 Y

F7 88

Lista de Ecuaciones

Ecuación A Balance de perdidas en harinas	52
Ecuación B. % Rendimiento	52
Ecuación C. Baking loss (%)	59

Lista de Apéndices

Apéndice A Curva de calibración de ácido gálico para la determinación de compuestos fenólicos totales	143
Apéndice B Regresión de los compuestos fenólicos en las diferentes formulaciones de torta vegana	144
Apéndice C Regresión para el atributo sabor en las diferentes formulaciones de torta vegana.	145
Apéndice D Regresión para el atributo aroma en las diferentes formulaciones de torta vegana	146
Apéndice E Regresión para el atributo color en las diferentes formulaciones de torta vegana	147
Apéndice F Regresión para el atributo textura en las diferentes formulaciones de torta vegana	148
Apéndice G Regresión para el atributo aceptación global en las diferentes formulaciones de torta vegana	149

Introducción

La valorización de subproductos agroindustriales como fuente de compuestos bioactivos representa un área de creciente interés en la investigación alimentaria, especialmente en el desarrollo de formulaciones innovadoras de alimentos funcionales. La generación masiva de residuos agroindustriales, que en Colombia asciende aproximadamente a 9,76 millones de toneladas anuales, constituye un problema ambiental significativo debido a su disposición inadecuada en ríos y terrenos abiertos, lo que ocasiona impactos negativos en los ecosistemas. Sin embargo, estos subproductos que incluyen cáscaras, semillas, pulpas y hojas, contienen compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, hipoglucemiantes y otros beneficios para la salud, lo que los convierte en una fuente potencialmente valiosa para la industria alimentaria (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022).

En los últimos años, se ha observado una tendencia mundial hacia el consumo de alimentos que no solo satisfacen necesidades nutricionales básicas, sino que también contribuyen a la prevención de enfermedades crónicas, como las cardiovasculares y el cáncer. En este contexto, los alimentos funcionales veganos han ganado relevancia, ya que, combinan beneficios nutricionales con un enfoque ético y sostenible. La incorporación de compuestos bioactivos extraídos de subproductos agroindustriales en estos alimentos puede mejorar su perfil nutricional y funcional, al tiempo que contribuye a la reducción del desperdicio y promueve la economía circular (Jurado-Erazo et al., 2023).

En este marco, surge la necesidad de investigar cómo los subproductos agroindustriales pueden ser aprovechados para la formulación de alimentos veganos funcionales e innovadores, alineados con las tendencias actuales de consumo consciente. Esta línea de investigación

contribuye al desarrollo de la economía circular y desarrollo sostenible, al desarrollo empresarial, al bienestar social y a la reducción del consumo de productos de origen animal, promoviendo alternativas saludables y sostenibles.

Este estudio parte de la hipótesis de que los subproductos agroindustriales poseen un alto contenido de compuestos bioactivos, especialmente antioxidantes, que pueden ser aprovechados para la formulación de alimentos veganos funcionales e innovadores. Para validar esta suposición, se propone un enfoque experimental que incluye una revisión exhaustiva de la literatura científica, la selección y caracterización fisicoquímica y nutricional de los subproductos, el diseño de formulaciones alimentarias y la evaluación sensorial y tecnológica de los productos desarrollados. Se considerarán variables como el contenido de compuestos bioactivos, la aceptabilidad sensorial y la viabilidad tecnológica, con el fin de identificar ingredientes con propiedades funcionales destacadas y potencial para su incorporación en nuevas formulaciones alimentarias. Mediante esta caracterización integral, se espera demostrar la factibilidad de transformar estos subproductos en ingredientes valiosos para la industria alimentaria, contribuyendo así a la innovación en el sector de alimentos veganos funcionales.

El desarrollo de esta investigación se estructura en varios capítulos: inicialmente, se presenta una revisión detallada de los fundamentos teóricos y empíricos relacionados con las propiedades funcionales de los subproductos agroindustriales; posteriormente, se describe la metodología empleada para la selección, caracterización y análisis de los materiales; finalmente, se exponen los resultados del diseño experimental y la evaluación sensorial, culminando con una discusión crítica y conclusiones que aportan una propuesta viable para la industria alimentaria local.

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar una formulación de alimento funcional a partir de la valorización de subproductos agroindustriales, con el propósito de aprovechar sus propiedades nutricionales y funcionales. Para ello, se pretende evaluar la literatura existente sobre las propiedades funcionales de subproductos, determinar sus características fisicoquímicas y nutricionales, proponer una formulación innovadora que incorpore dichos subproductos, determinar las propiedades funcionales que dicha formulación contiene y finalmente aplicar una evaluación sensorial al producto propuesto. De esta manera, la investigación busca contribuir a la economía circular y al desarrollo sostenible del sector alimentario, mediante la co-creación de alimentos veganos funcionales que respondan a las demandas actuales de salud y sostenibilidad.

Naturaleza y Dimensión de la Investigación

En este capítulo se presentará el desarrollo la investigación sobre la valorización de subproductos agroindustriales como fuente de compuestos bioactivos para el desarrollo de formulaciones innovadoras de alimentos veganos funcionales, teniendo en cuenta el análisis de antecedentes teóricos y empíricos los cuales fundamentan el estudio, se describirá el problema de investigación identificado, considerando la alta demanda por alimentos veganos que no solo sean nutricionalmente completos sino que de igual manera tengan un impacto positivo en el medioambiente. Se formulará la pregunta de investigación y los objetivos que guiarán la investigación, además se justificará la importancia del estudio.

Marco contextual.

En los últimos años, las regiones de Colombia se han caracterizado por su amplia diversidad de frutas tropicales y demás productos agrícolas. Sin embargo, se ha identificado que las agroindustrias generan grandes cantidades de subproductos agroindustriales (cáscaras, semillas, hojas, tallos y membranas), las cuales suelen ser desechados sin ningún tratamiento previo, lo que genera un gran problema ambiental en las regiones. No obstante, esto representa una oportunidad para el desarrollo de nuevas formulaciones de alimentos.

En este contexto, el proyecto se desarrollará con el propósito de valorizar estos subproductos agroindustriales ricos en compuestos bioactivos entre los que destacan polifenoles, flavonoides, tanino y otros antioxidantes naturales, para el desarrollo de formulaciones de alimentos veganos funcionales. Esto con el fin de darle respuesta a la creciente demanda de los consumidores por alimentos más saludables y sostenibles con el medio ambiente.

El proyecto no solo va enmarcado a la reducción del desperdicio de este tipo de subproductos agroindustriales ricos en compuestos bioactivos, sino que de igual manera genere oportunidades económicas mientras disminuye el impacto ambiental. Al transformar estos residuos comúnmente considerados de bajo valor en el diseño de nuevas formulaciones para alimentos funcionales, mientras se fomenta el aprovechamiento todos los recursos y subproductos agroindustriales, la innovación tecnológica en el sector alimentario y la adopción de prácticas productivas más sostenibles y responsables con el entorno.

Antecedentes

Los estudios relacionados que contribuyen al desarrollo de este proyecto son los siguientes:

Chamorro et al. (2022) abordaron la valorización de residuos de cultivos y procesamiento industrial del kiwi, incluyendo así subproductos como cáscaras, semilla, pulpa descartada, hojas y tallos, los cuales suelen terminar en vertederos. Este estudio se centró en identificar compuestos bioactivos presentes en estos subproductos, tales como polifenoles, flavonoides y fibra dietética destacando así sus propiedades antioxidantes, con el fin de analizar el potencial de estos subproductos en la aplicación como ingredientes funcionales en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica, promoviendo un modelo de economía circular basado en la sostenibilidad. El trabajo reporta un alto contenido de compuestos bioactivos en los residuos del kiwi, en especial en zonas como la cáscara y semillas, con gran potencial para su aplicación como aditivos naturales en alimentos funcionales.

Viana et al. (2023) evaluaron la composición nutricional, los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de la nuez de barú y su subproducto agroindustrial en especial de la pulpa (mesocarpio), mediante la elaboración de diferentes formulaciones de galletas que sustituyen la harina de trigo por pulpa en polvo de barú, con el fin de determinar el enriquecimiento nutricional y las propiedades funcionales de estas galletas proponiéndola como ingrediente innovador en alimentos funcionales tipo galleta, el estudio evaluó compuestos bioactivos como fenoles, flavonoides y taninos y la capacidad antioxidante del polvo de pulpa de barú (BPP, por sus siglas en inglés), para posteriormente analizar su efecto en la calidad nutricional y funcional

de galletas al ser utilizado como sustituto parcial de la harina de trigo en diferentes proporciones (7,5%, 15%, 30% y 50%).

En los resultados obtenidos en este estudio se evidencia que la pulpa seca presenta una alta concentración de compuestos fenólicos (276,56 mg GAE/100 g), flavonoides (19,59 mg QE/100 g) y taninos (137,21 mg/100 g), así como una fuerte capacidad antioxidante (DPPH: 592,79 mg TEAC/100 g; ABTS: 653,73 mg TEAC/100 g; FRAP: 3335,83 mg TEAC/100 g), lo que respalda su potencial funcional. Además, el BPP mostró un buen contenido de proteínas (8,79 g/100 g) y fibra dietética (29,5 g/100 g), mejorando su valor nutricional. Las galletas formuladas con 50% de BPP presentaron un aumento significativo en proteínas (17.36 g/100 g) y compuestos bioactivos, incrementando la capacidad antioxidante respecto a la galleta control. Este estudio ejemplifica cómo la incorporación de compuestos bioactivos en alimentos funcionales permite no solo reducir el desperdicio, sino también agregar valor nutricional (Viana et al., 2023).

Capanoglu et al. (2022) evaluaron el potencial de los residuos agrícolas como fuentes de compuestos bioactivos para su posterior aplicación en alimentos funcionales, industrias farmacéutica y cosmética. La metodología del estudio se basó en la realización de una revisión exhaustiva de la literatura científica disponible, centrándose específicamente en técnicas actuales y emergentes que permitan la transformación y por ende la valorización de residuos agroindustriales. Como resultado los autores concluyeron que el aprovechamiento y transformación de residuos agrícolas no solo representan una solución a la problemática ambiental y económica que actualmente se enfrenta, sino que de igual manera se identificaron alternativas para su aplicación en alimentos funcionales.

Durán-Aranguren et al. (2023) presentaron como el aprovechamiento de residuos de frutas como naranja, lima y palma de durazno se pueden utilizar en el desarrollo de alimentos funcionales, especialmente en un brownie con características nutricionales mejoradas por medio de la incorporación de fibras, pectinas y extractos antioxidantes encapsulados. Los autores mencionan como en la formulación con 20% de reemplazo de grasa, 27% de sustitución de harina y adición de extracto encapsulado de naranja resultó ser la más favorable, indicando así que es posible una formulación con propiedades similares a un brownie comercial, pero con beneficios funcionales mejorados. Lo que demuestra como el uso de subproductos agroindustriales no solo mejora el perfil nutricional de los alimentos, sino que también ofrece una nueva alternativa sostenible para la industria alimentaria.

Lazaroli et al. (2023) demostraron en su estudio como las hojas de olivo consideradas como un residuo agroindustrial común, puede ser aprovechadas en la sustitución del té en la elaboración de alimentos funcionales como es el caso de la kombucha, promoviendo así principios de economía circular, sostenibilidad e innovación tecnológica. Teniendo en cuenta que es un subproducto con un alto potencial en antioxidante. La investigación se centró en evaluar el contenido de polifenoles, la actividad antioxidante y las propiedades sensoriales de la kombuchas fermentadas con infusiones de hojas de olivo en diferentes proporciones, comparándolas con una kombucha tradicional hecha con té negro. En los resultados que obtuvieron los autores se evidenció como las hojas de olivo contienen compuestos fenólicos bioactivos como oleuropeína e hidroxitirosol, compuestos que al ser incorporados aportan propiedades funcionales y por ende mejora las propiedades nutricionales en el producto alimenticio. De igual manera se observó cómo se disminuyó el contenido de cafeína en las muestras con mayor proporción de hojas de olivo, lo que le proporciona un valor agregado al producto.

Planteamiento del Problema

En Colombia, las industrias de alimentos generan una gran cantidad de pérdidas y desperdicios de alimentos lo que genera una de las mayores problemáticas para la sostenibilidad del sector. De acuerdo con el Plan de Acción para la Gestión Sostenible de la Biomasa Residual (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022) en Colombia se oferta a nivel nacional 28 millones de toneladas de alimentos anuales, de los cuales se pierden y desperdician 9,76 millones de toneladas, lo que equivale al 34 % de la oferta nacional. De este el 64 % de pérdidas y desperdicios corresponden a las etapas de producción, postcosecha, almacenamiento y procesamiento industrial, mientras que el 36 % restante son pérdidas generadas en las etapas de distribución y comercialización y consumo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Estos datos no solo indican la ineficiencia, sino que de igual manera la gran cantidad de materiales que podrían ser aprovechados y tener un valor agregado.

Por otro lado, el sector agrícola en Colombia genera cerca de 71 mil millones de toneladas de residuos agroindustriales al año, como consecuencia de la existencia de diferentes nichos ecológicos que permiten la producción de alrededor de 200 cultivos durante todo el año. Estos residuos se eliminan principalmente en ríos y campos abiertos (Cuadrado-Osorio et al., 2022). Residuos agroindustriales como cáscaras, semillas, pulpas, membranas, hojas y tallos suelen ser desechados sin ningún tratamiento previo, a pesar de contener una fuente importante de compuestos bioactivos tales como polifenoles, flavonoides, taninos y carotenoides con un alto contenido de propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias.

En este contexto, la valorización de residuos agroindustriales como materia prima para la creación de alimentos funcionales, en especial en el creciente mercado de alimentos veganos,

genera una oportunidad clave para impulsar la economía circular del país, además de reducir el impacto ambiental generado por el sector agroalimentario, impulsando así el desarrollo de nuevos productos que no solo cumplan con las necesidades de los consumidores, sino que de igual manera sean productos que nutran (Jurado-Erao et al., 2023).

No obstante, para realizar una incorporación de estos subproductos agroindustriales en una formulación de un alimento vegano funcional es necesario desarrollar estrategias que permitan una transformación y/o procesamiento seguro y eficaz, por lo que surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo desarrollar una formulación innovadora de alimentos veganos funcionales a partir de la valorización de subproductos agroindustriales ricos en compuestos bioactivos?

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una formulación de un alimento funcional a partir de la valoración de subproductos agroindustriales

Objetivos Específicos

Evaluar la literatura existente sobre las propiedades funcionales de subproductos agroindustriales.

Determinar las propiedades nutricionales de los subproductos agroindustriales identificados en la revisión de literatura.

Proponer una formulación de un alimento funcional a partir de las propiedades nutricionales de los subproductos agroindustriales identificados en la revisión de literatura.

Determinar los compuestos fenólicos y la evaluación sensorial de las formulaciones desarrolladas.

Justificación

La agricultura desempeña un papel esencial en el desarrollo del país, abarcando así condiciones ambientales, económicas y sociales, además de factores como la seguridad alimentaria, la generación de empleo y fortalecimiento de la economía campesina, factores que se encuentran estrechamente ligados al desarrollo del país. En este sentido, teniendo en cuenta la gran cantidad de residuos agroindustriales generados anualmente en el territorio nacional, los cuales se estiman en más de 71 mil millones de toneladas (Cuadrado-Osorio et al., 2022). Lo que genera una oportunidad clave para la valorización de subproductos agroindustriales con el fin de realizar formulaciones de alimentos funcionales. Subproductos como cáscaras, semillas, membranas, hojas y tallos contienen una alta cantidad de compuestos bioactivos (como polifenoles, flavonoides, taninos y antioxidantes) permitiendo así brindarle un valor agregado al alimento.

En este contexto, el proyecto de innovación se centra en la formulación de un alimento vegano funcional a partir de subproductos agroindustriales. La creciente demanda por alimentos saludables y sostenibles ha impulsado a la creación de nuevos productos que permitan satisfacer las necesidades de los consumidores, adoptando nuevas dinámicas en el mercado, especialmente hacia alimentos vegetarianos y veganos. Actualmente esta tendencia ha ido incrementándose en países como India con un 28% y 15% respectivamente, en América Latina países como México y Brasil reportan ambos un 3 % para la población vegetariana y un 2% para la población de veganos (Statista, 2023). Colombia por su parte, aunque los porcentajes siguen siendo bajos, esta se tendencia se encuentra en un constante crecimiento (Diario la República, 2022; Statista., 2016).

Así mismo, el presente proyecto integra conocimientos fundamentales de diseño experimental, caracterización fisicoquímica y evaluación sensorial con el fin de no solo garantizar la calidad del producto, sino que de igual manera la aceptación final del producto y ampliar la oferta de alimentos innovadores dentro de las empresas. Adicionalmente, este proyecto responde a la creciente tendencia por parte de los consumidores, quienes, optan por alimentos con un valor nutricional añadido, dados sus características en la prevención de enfermedades, razón principal por la que los consumidores han comenzado a modificar sus hábitos alimenticios. La pandemia de COVID-19 acentuó esta transformación, impulsando el interés por productos con beneficios funcionales que contribuyan al bienestar integral. Para que una empresa de alimentos pueda generar interés y sobre todo confianza en los consumidores, se tiene que llevar a cabo un riguroso diseño de los productos y de sus declaraciones nutricionales y de salud.

En este sentido, la formulación para un producto alimenticio que incorpore compuestos bioactivos representa para la empresa del sector una oportunidad innovadora que permitirá aumentar su competitividad en el mercado, mientras representa un aporte preventivo en salud pública mediante la alimentación. La formulación de este tipo de alimentos veganos funcionales requiere el diseño de experimentos de mezclas, con el fin de optimizar combinaciones de ingredientes funcionales. El análisis sensorial es una herramienta importante al momento de evaluar la aceptación del producto por parte de los consumidores, asegurando así su viabilidad en el mercado. En el presente proyecto, se propone el desarrollo de una formulación para un alimento vegano funcional, incorporando compuestos bioactivos y extractos ricos en antioxidantes obtenidos a partir de subproductos agroindustriales.

Marco de Referencia

En este capítulo se abordan los principales conceptos y teorías relacionadas con la valorización de subproductos agroindustriales como fuentes de compuestos bioactivos, orientados al desarrollo de formulaciones innovadoras de alimentos veganos funcionales. El propósito de este marco es identificar y fundamentar los pilares teóricos que sustentan la investigación, así como los autores y estudios más relevantes sobre el tema, en el contexto de la sostenibilidad alimentaria, la economía circular y la tendencia creciente hacia el consumo de alimentos funcionales y veganos.

Marco conceptual

Subproductos Agroindustriales

Material y/o residuo que resulta del procesamiento de productos agroindustriales que utiliza como materia prima productos agrícolas, este residuo o material resultante no se considera como objetivo principal en esta cadena productiva. A diferencia de otros residuos, estos subproductos pueden poseer un valor económico ya que pueden llegar a tener una utilidad posterior, llegando a ser utilizados en el desarrollo de nuevos productos, fuente de energía, alimentación animal, entre otros usos dentro de la industria. Dentro de estos subproductos podemos encontrar hojas, tallos, cáscaras, semillas, membranas, pulpas en mal estado, entre otros (Angulo Arias et al., 2018).

Valorización de Subproductos

Proceso mediante el cual los subproductos agroindustriales generados en la etapa de producción de productos agroindustriales son aprovechados, transformados y/o reutilizados con

el fin de darle un nuevo uso a estos subproductos y por ende obtener un valor agregado a estos residuos (Preciado-Saldaña et al., 2022).

Compuestos Bioactivos

Pequeña sustancia presente en una gran variedad de alimentos y plantas, estos compuestos bioactivos generan un efecto biológico sobre el organismo lo que le permite aportar significativamente al bienestar de la salud de los consumidores. Estos compuestos bioactivos pueden modular funciones metabólicas, actuar como antioxidantes, antiinflamatorios, inmunomoduladores o antimicrobianos, lo que permite prevenir enfermedades crónicas como enfermedades cardiovasculares (Gamez-Villazana & Jordy Javier, 2020).

Alimentos Funcionales

Un alimento funcional es aquel que no solo aporta los nutrientes básicos si no que de igual manera contiene componentes biológicamente activos que aportan beneficios a la salud de los consumidores, ayudando a la prevención de enfermedades crónicas. Estos alimentos funcionales pueden ser naturales como frutas, verduras y cereales o pueden ser modificados, fortificados o enriquecidos con uno o varios ingredientes que le permitan generar beneficios adicionales a la salud como es el caso del yogurt con probióticos que mejora la flora intestinal (Páez et al., 2022).

Alimentos Veganos

Los alimentos veganos son aquellos que no provienen de origen animal ni derivados de animales tales como carne, lácteos, pescados, huevos, entre otros. Por el contrario, los alimentos

veganos constan de productos de origen vegetal como frutas, verduras, legumbres, cereales, frutos secos, entre otros (González Morales & Manobanda Jimenez, 2024).

Antioxidantes

Los antioxidantes son moléculas capaces de retardar y/o prevenir la oxidación de otras moléculas. Los antioxidantes pueden ser sustancias naturales o sintetizadas en el organismo como es el caso de las enzimas y la vitamina c, e incluso en compuestos vegetales como los polifenoles y flavonoides (Zamora, 2007).

Polifenoles

Los polifenoles se caracterizan por tener uno o más grupos hidroxilo (-OH) unidos a anillos bencénicos, los polifenoles son fitoquímicos que contienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Los polifenoles combaten los radicales libres que ocasionan daños a las células, ayudando a prevenir el envejecimiento celular y diversas enfermedades crónicas. Se encuentran en alimentos vegetales como frutas, verduras, té verde, cacao, cereales integrales, legumbres, frutos secos y en productos como el aceite de oliva extra virgen (Jaramillo et al., 2020).

Flavonoides

Los flavonoides son compuestos polifenólicos que actúan como antioxidantes neutralizando los radicales libres y reduciendo el daño oxidativo. Su estructura química básica consiste en dos anillos aromáticos (C6) unidos por una cadena de tres carbonos (C3), formando un esqueleto C6-C3-C6, que puede presentar diversas modificaciones, dando lugar a diferentes subclases como flavonas, flavonoles, flavanonas, antocianidinas, isoflavonas, entre otras. Los

flavonoides están presentes en una gran variedad de alimentos vegetales tales como frutas, verduras, té verde, cacao, y cítricos, y utilizándose en la industria alimentaria como conservantes naturales debido a su capacidad antioxidante y antimicrobiana, ayudando a prolongar la vida útil de los alimentos sin recurrir a aditivos químicos (Zevallos, 2018).

Fibra dietaria

Parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión. Esta se divide en dos grupos, fibra soluble y fibra insoluble, donde el primero se disuelve en agua formando una sustancia similar a un gel durante la digestión, ayudando así a reducir los niveles de colesterol y glucosa en sangre, este lo podemos encontrar en legumbres, avena y algunas frutas; mientras que el segundo no se disuelve en agua y aumenta el tamaño de las heces, facilitando así el tránsito intestinal (Flores, 2018).

Propiedades Nutricionales

Las propiedades nutricionales son las características de un alimento relacionadas con su contenido de nutrientes incluyendo propiedades tales como carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas, minerales y fibra dietaria (del Toro Martínez et al., 2011).

Sostenibilidad

Es la capacidad de satisfacer las necesidades sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras, manteniendo el balance entre el bienestar social, económico y ambiental. La sostenibilidad consta de producir, distribuir y consumir alimentos de tal manera que se reduzca y/o minimice el impacto ambiental, conservando los recursos naturales y se garantice la seguridad alimentaria y nutricional para todas las personas (Brito Cangussu et al., 2021).

Economía Circular

Es un modelo de producción que busca utilizar al máximo cada materia prima, tiene como base utilizar, reutilizar, reparar y reciclar materiales las veces que sea necesario. El objetivo principal de la economía circular es reducir al mínimo la generación de residuos y aprovechar al máximo aquellos que no se puedan evitar, manteniendo los materiales dentro de la economía para crear un valor añadido y disminuir el impacto ambiental (Gloriselle Negrón-Ríos, 2020).

Marco Teórico

Propiedades nutricionales de un alimento.

Las propiedades nutricionales de los alimentos hacen referencia a la composición y biodisponibilidad de macronutrientes (proteínas, lípidos, carbohidratos) y micronutrientes (vitaminas, minerales), así como a la presencia de fibra dietética que pueden influir en la salud humana. Rațu et al. (2023) señala que los subproductos agroindustriales pueden ser fuentes ricas en proteínas, lípidos, fibra, vitaminas, minerales y antioxidantes, contribuyendo a la mejora del perfil nutricional de los alimentos.

Chabi et al. (2024) reporta que la harina de semilla de tomate, derivada de residuos agroindustriales, contiene altos niveles de proteínas (29.97%), lípidos (28.32%), carbohidratos (17.19%) y fibra dietética (20.93%), además de minerales y compuestos fenólicos, lo que la convierte en un ingrediente valioso para enriquecer alimentos y mejorar su valor nutricional. Por su parte, Asghar et al. (2023) destaca que residuos como el okara (subproducto de la soja) son ricos en fibra, lípidos, proteínas y compuestos bioactivos, y su incorporación en alimentos puede mejorar el perfil nutricional y aportar beneficios para la salud, como el efecto prebiótico y la prevención de trastornos metabólicos.

La valorización de estos subproductos permite el desarrollo de alimentos con mayor densidad nutricional, contribuyendo a la seguridad alimentaria y a la promoción de la salud pública. Por ejemplo, la inclusión de fibras dietéticas provenientes de residuos agroindustriales puede aumentar el contenido de fibra de los alimentos, mejorar la digestibilidad y modular la absorción de glucosa y colesterol, lo que puede tener efectos positivos en la prevención de enfermedades crónicas (Asghar et al., 2023; Fayaz et al., 2024). Además, la recuperación de

compuestos bioactivos como polifenoles, carotenoides, vitaminas y minerales de los residuos agroindustriales permite el desarrollo de alimentos funcionales con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, que pueden contribuir a la prevención de enfermedades y a la mejora del bienestar general (Chabi et al., 2024; Dimou et al., 2019; Raṭu et al., 2023; Yábar Villanueva, 2019).

Melini et al. (2020) enfatiza la importancia de evaluar la biodisponibilidad y la bioaccesibilidad de los nutrientes y compuestos bioactivos presentes en los ingredientes derivados de residuos agroindustriales, ya que estos factores determinan su eficacia y su impacto real en la salud humana.

Propiedades funcionales de los alimentos y compuestos bioactivos

Los alimentos funcionales son aquellos que, al consumirse como parte de una dieta habitual, pueden aportar, además de nutrientes, beneficios para la salud debido a la presencia de compuestos bioactivos (Boggia et al., 2020). Estos compuestos bioactivos son metabolitos secundarios presentes en los alimentos y poseen un gran potencial para mejorar la salud humana (Verma M & Chandel A., 2020). Diversos estudios han enfocado sus esfuerzos en demostrar los efectos benéficos de los compuestos bioactivos, tales como la prevención de enfermedades cardiovasculares, propiedades anticancerígenas, hipoglucemiantes (Anshika et al., 2022) y antioxidantes (Kurek et al., 2022), entre otros.

Según Rodríguez et al. (2015), los alimentos funcionales se caracterizan por su capacidad para controlar y prevenir enfermedades crónicas como obesidad, diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y osteoporosis, gracias a la acción de nutrientes y compuestos bioactivos presentes en su composición. Por su parte, (Yábar Villanueva, 2019), destacan que los alimentos

funcionales deben ser consumidos como parte de una dieta variada, ya que sus efectos benéficos resultan de la sinergia entre múltiples compuestos y no de ingredientes aislados.

En los últimos años, los residuos agroindustriales se han consolidado como una fuente relevante de compuestos bioactivos. Su aprovechamiento es considerado una estrategia efectiva para disminuir los impactos ambientales de la industria alimentaria, promoviendo la economía circular y la sostenibilidad (Nirmal et al., 2023). El interés por las propiedades funcionales de los alimentos surge de la necesidad de prevenir enfermedades crónicas mediante la dieta. La dieta mediterránea, por ejemplo, es reconocida por su riqueza en alimentos funcionales que contribuyen a la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes y obesidad, gracias a la presencia de compuestos bioactivos y a la combinación equilibrada de ingredientes (Rodríguez et al., 2015). Asimismo, la maca andina ha sido estudiada por su capacidad para prevenir enfermedades crónicas debido a la acción sinérgica de glucosinolatos, compuestos fenólicos y otros metabolitos secundarios (Yábar Villanueva, 2019).

Los componentes bioactivos más estudiados en los alimentos funcionales incluyen polifenoles, fitoesteroles, glucosinolatos, carotenoides, fibra dietética, compuestos fenólicos y antioxidantes naturales (Maza-De la Quintana & Paucar-Menacho, 2020; Yábar Villanueva, 2019). Estos compuestos pueden ejercer efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antihipertensivos, antidiabéticos y anticancerígenos, entre otros. El orujo de uva destaca por su alta concentración de compuestos bioactivos, especialmente polifenoles, fibra dietética y potasio. Estos compuestos le confieren una potente capacidad antioxidante, así como efectos protectores frente al estrés oxidativo y la disfunción endotelial. (Pino García, 2016; Rojas Rojas et al., 2021). De igual manera, La cáscara de piña es rica en carbohidratos solubles, fibra dietética y compuestos bioactivos, lo que la hace apta para procesos biotecnológicos como la fermentación

en estado sólido. Este proceso permite aprovechar la energía de los carbohidratos y mejorar la retención de nitrógeno, incrementando la síntesis de proteína microbiana (Jiménez Alfaro et al., 2020).

Las propiedades funcionales de los alimentos también incluyen características fisicoquímicas y tecnológicas que determinan su comportamiento durante el procesamiento y su aplicación en la industria alimentaria. Entre estas propiedades se encuentran la capacidad de absorción de agua, la solubilidad, el poder de hinchamiento, la viscosidad, la sinéresis y la fuerza de fractura del gel (Solarte-Montúfar et al., 2019; Vargas Aguilar & Hernández Villalobos, 2013). Solarte-Montúfar et al. (2019) indica que el contenido de amilosa, la viscosidad y la capacidad de absorción de agua de los almidones influyen en la textura, digestibilidad y aplicaciones industriales de productos como la papa criolla. Vargas Aguilar & Hernández Villalobos (2013) subraya la importancia de la relación amilosa-amilopectina y la viscosidad en la digestibilidad y el índice glicémico de los almidones, así como en la absorción de grasa en frituras.

La investigación sobre las propiedades funcionales de los alimentos ha impulsado la innovación en el desarrollo de nuevos productos, como panes sin gluten, bebidas energéticas y alimentos con bajo índice glicémico, utilizando materias primas locales como yuca, ñame, camote y lúcuma (Maza-De la Quintana & Paucar-Menacho, 2020; Vargas Aguilar & Hernández Villalobos, 2013). El orujo de uva, por ejemplo, Su inclusión en productos alimenticios, como galletas, ha demostrado mejorar el contenido de fibra y proteínas, además de aportar antioxidantes naturales (Pino García, 2016; Pitre, 2011). Además, la evaluación de propiedades como la capacidad antioxidante y la presencia de flavonoides y taninos en mezclas de alimentos permite el diseño de bebidas funcionales con potencial nutracéutico (Paucar, 2018).

Fibra dietética

La fibra dietética es un grupo de polímeros y oligómeros de carbohidratos, incluyendo la lignina, que escapan a la digestión en el intestino delgado y son fermentados parcial o totalmente por el microbiota intestinal en el colon (Dhingra et al., 2012). Existen dos tipos principales de fibra: la fibra insoluble, que ayuda a mantener la regularidad intestinal y prevenir el estreñimiento, y la fibra soluble, que se disuelve en agua y contribuye a disminuir los niveles de colesterol y a mantener estables los niveles de glucosa en sangre. Ambos tipos de fibra son esenciales para la salud humana (Anderson et al., 2009). Sin embargo, la mayoría de las personas no consume la cantidad diaria recomendada de fibra, lo que resalta la importancia de desarrollar alimentos enriquecidos con fibra dietética.

Antioxidantes

Los antioxidantes son compuestos que protegen a las células del daño causado por los radicales libres, los cuales se generan tanto por el metabolismo natural del cuerpo como por factores externos como la contaminación, la radiación y el tabaco. El desarrollo de alimentos con antioxidantes es importante ya que pueden ayudar a combatir el estrés oxidativo y prevenir enfermedades crónicas (Aune et al., 2018). Estos compuestos se encuentran principalmente en frutas y verduras de colores brillantes, como arándanos, fresas, espinacas y zanahorias. En resumen, los antioxidantes pueden ayudar a prevenir enfermedades crónicas, fortalecer el sistema inmunológico, reducir la inflamación y retrasar el envejecimiento.

Innovación y tendencias en alimentos funcionales veganos

El diseño de alimentos funcionales responde tanto al interés de los consumidores como a las recomendaciones de expertos basadas en patrones epidemiológicos. No obstante, la creación de estos productos requiere rigor científico, pues los efectos benéficos deben ser comprobados para que puedan realizarse declaraciones nutricionales o de salud. Dichas declaraciones deben estar respaldadas por pruebas de eficacia y seguridad biológica, así como por evidencia reportada en la literatura científica.

La literatura reciente indica que los alimentos funcionales reestructurados presentan un mayor valor nutricional debido a la presencia de diferentes compuestos bioactivos. Por ello, es fundamental identificar los ingredientes bioactivos y las características nutricionales de estos alimentos (Shi et al., 2023). Además, la demanda de productos saludables, fortificados y veganos ha aumentado significativamente (Tarahi et al., 2023).

Estudios recientes, como el de Lim & Jin (2021), han desarrollado barras nutricionales veganas, evaluando su actividad antioxidante, calidad y aceptación sensorial. De igual manera, Bianchi et al. (2022) realizaron un análisis sensorial para determinar la aceptación global de un muffin vegano elaborado a partir de harina de orujo de uva seco. Por otro lado, investigaciones científicas han señalado que las dietas vegetarianas y, especialmente, las veganas, suelen contener menos grasas saturadas, proteínas, calcio, vitaminas D y B12, o ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (PUFA ω -3) (Galchenko et al., 2023).

Valoración de residuos agroindustriales de los alimentos

Los residuos agroindustriales se definen como los materiales sólidos, líquidos o gaseosos generados durante la transformación de materias primas agrícolas y pecuarias, que no forman parte del producto principal y que, en muchos casos, son descartados sin un tratamiento adecuado (Cury R et al., 2017; Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018) Según Tarahi et al. (2023; Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018), estos residuos poseen un alto potencial para ser aprovechados en la elaboración de nuevos productos, la adición de valor a los productos originales y la recuperación de condiciones ambientales alteradas. Angulo Arias et al. (2018) destaca que los subproductos agroindustriales, como las cáscaras de naranja y maracuyá, pueden ser transformados en harinas con valor nutricional y funcional, lo que permite su reincorporación en la industria alimentaria y la reducción de la contaminación.

La composición química y biológica de los residuos agroindustriales depende del tipo de materia prima y del proceso de transformación. Generalmente, estos residuos son materiales lignocelulósicos, ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina, aunque también pueden contener compuestos bioactivos, fibra, proteínas, lípidos y minerales (Flórez Montes & Rojas González, 2019; Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018) subraya que la caracterización estructural de los residuos, mediante la determinación de componentes como celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos, es fundamental para identificar sus aplicaciones potenciales en la industria alimentaria, papelera, textil y química. Además, la presencia de compuestos fenólicos, pectinas y otros ingredientes bioactivos en residuos de frutas y hortalizas amplía sus posibilidades de valorización (Cornejo-Figueroa et al., 2020)..

La literatura identifica diversas alternativas para la valorización de residuos agroindustriales, agrupadas en cinco grandes categorías: obtención de bioenergéticos (bioetanol, biodiesel, biogás, biomasa energética), compostaje, producción de alimentos para animales, elaboración de productos industriales (ladrillos, composites, estibas, biomateriales) y recuperación de medios contaminados (remoción de colorantes, metales pesados e hidrocarburos) (Flórez Montes & Rojas González, 2019; Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018). Cornejo-Figueroa et al. (2020) enfatiza el desarrollo de tecnologías ecoeficientes, como la extracción con fluidos supercríticos, microondas y fermentación en estado sólido, que permiten obtener compuestos bioactivos de alto valor añadido a partir de residuos de frutas y hortalizas, contribuyendo a la sostenibilidad y la salud.

Uno de los enfoques más relevantes en la valoración de residuos agroindustriales es su uso como ingredientes en la alimentación humana y animal. Los subproductos, como cáscaras, semillas, bagazos, pulpas y sueros, contienen nutrientes y compuestos bioactivos de alto valor que pueden ser recuperados y reincorporados en la cadena alimentaria como ingredientes funcionales, aditivos, nutraceuticos o materiales para envases comestible (Kaur et al., 2025; Lau et al., 2021; Rojo-Poveda et al., 2020; Yu et al., 2025). Angulo Arias et al. (2018) demuestra que harinas elaboradas a partir de cáscaras de frutas pueden enriquecer productos alimenticios, aportando fibra, minerales y compuestos funcionales, lo que representa una alternativa económica y sostenible.

La valorización implica procesos de extracción, fermentación, hidrólisis enzimática y tecnologías verdes que permiten obtener ingredientes con propiedades nutricionales y funcionales mejoradas. Ejemplos destacados incluyen la recuperación de polifenoles y fibra de cáscaras de papa, antioxidantes de subproductos de cacao y compuestos antimicrobianos de

residuos de frutas y verduras (Kaur et al., 2025; Rojo-Poveda et al., 2020; Verni et al., 2019; Vescovo et al., 2025).

La integración de estos ingredientes en alimentos innovadores contribuye a la mejora del perfil nutricional, la estabilidad y la vida útil de los productos, además de reducir el impacto ambiental y los costos de producción. Sin embargo, existen desafíos relacionados con la estandarización de la composición, la bioaccesibilidad de los compuestos, la seguridad alimentaria y la aceptación del consumidor; por lo que se busca avanzar hacia sistemas alimentarios más sostenibles, resilientes y saludables, que garantice alimentos nutritivos, aceptabilidad por consumidores y rentabilidad en el mercado, alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la economía circular (Nartea et al., 2023; Rao et al., 2021; Tarchi et al., 2024; Vescovo et al., 2025; Yu et al., 2025).

Metodología

La metodología del presente proyecto se fundamenta bajo un enfoque mixto, el cual combina métodos cuantitativos y cualitativos, esto con el fin de desarrollar una formulación para un alimento vegano funcional rico en compuestos bioactivos provenientes de subproductos agroindustriales. Para la formulación del producto, se empleó un diseño de experimentos de mezclas, el cual permite identificar combinaciones óptimas de ingredientes que potencializan tanto el contenido funcional como la aceptabilidad sensorial. Este enfoque busca no solo garantizar beneficios potenciales para la salud, sino también lograr un producto con alto nivel de aceptación por parte del consumidor.

Línea de investigación

El presente proyecto se encuentra dentro de la línea de investigación de Ingeniería en procesos de alimentos y biomateriales.

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos durante el desarrollo del proyecto se plantearon las siguientes fases de investigación:

Fases de la Investigación

Fase 1: Evaluar la literatura existente sobre las propiedades funcionales de subproductos agroindustriales

En esta fase se buscó evaluar la literatura existente sobre las propiedades nutricionales y funcionales de los subproductos agroindustriales disponibles, en especial aquellos que contienen un alto potencial para ser utilizados en la formulación de alimentos veganos funcionales. Para ello fue necesario realizar una revisión sistemática, logrando así organizar y sintetizar la

información (Kuckertz & Block, 2021). Los documentos evaluados se centraron en artículos científicos publicados en inglés y español, disponibles en bases de datos como PubMed-Medline, Cochrane Library, SCOPUS, Scielo y Web of Science. Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos, se empleó la metodología propuesta por Tranfield et al. (2003), que incluye las siguientes etapas:

Etapas 1 Planeación de la revisión: fase 0: Identificación de la necesidad y el gap de investigación, fase 1: Preparación de la propuesta de revisión, Fase 2: Desarrollo de un protocolo de revisión.

Etapas 2 Realizar la revisión: fase 3: identificación de los estudios previos, Fase 4: Selección de estudios, Fase 5: Evaluación de calidad de los estudios, Fase 6: Extracción de datos, Fase 7: síntesis de datos. Etapa 3: Reporte y diseminación, Fase 8: Reporte y divulgación de resultados: Fase 8: Elaboración de reporte y recomendaciones, Fase 9: Identificación de implicaciones prácticas.

Fase 2: Determinar las propiedades nutricionales de los subproductos agroindustriales identificados en la revisión de literatura

Obtención de muestra: A partir de la revisión de literatura se determinó los subproductos a utilizar como ingredientes funcionales de los productos veganos a desarrollar. Los subproductos seleccionados fueron deshidratados de acuerdo con los requerimientos del proceso, para determinar las propiedades nutricionales y funcionales.

Los subproductos seleccionados fueron: cascara de piña (*Ananás comosus*), orujo de uva (*Vitis vinífera*) y maní crudo con cascara (*Arachis hypogaea*). Estos fueron adquiridos en el mercado local, garantizando la frescura.

Para garantizar la representatividad y adecuación de las muestras utilizadas en el presente estudio, se procedió a su selección siguiendo criterios de accesibilidad, disponibilidad y elevado potencial funcional, respaldado por evidencia científica. Se escogió la cáscara de piña debido a la gran cantidad de residuos agroindustriales generado, así como por su significativo contenido de ácido ascórbico, bromelina y compuestos fenólicos con reconocidas propiedades antioxidantes. El orujo de uva fue seleccionado por su abundante concentración de antocianinas, polifenoles y taninos, compuestos que han demostrado un alto potencial antioxidante y efectos beneficiosos la salud. Finalmente, se incluyó el maní crudo con cáscara como fuente significativa de compuestos fenólicos, proteínas y ácidos grasos insaturados, los cuales contribuyen a mejorar el valor nutricional y funcional del producto final.

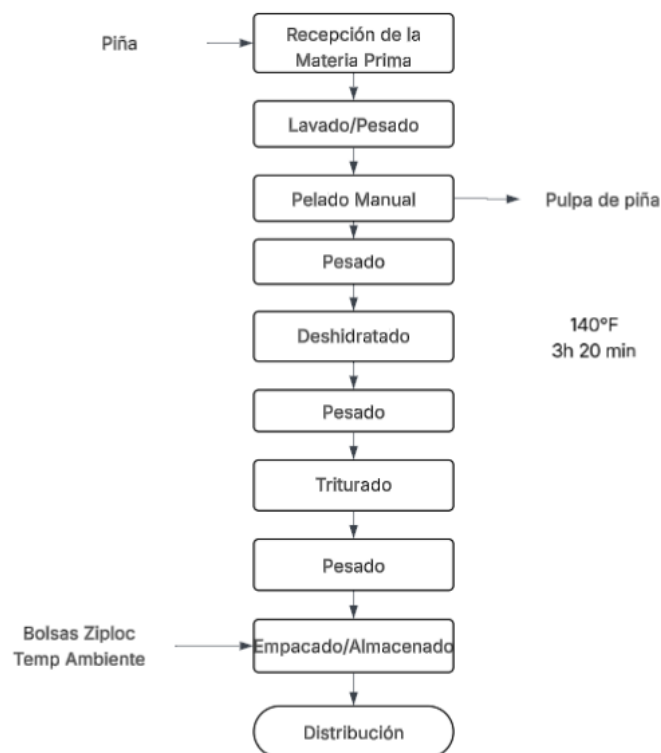
Producción de harinas de subproductos

Posterior a la obtención de las muestras, se procedió a su condicionamiento para su análisis. La cáscara de piña y el orujo de uva fueron lavadas con agua potable con el fin de eliminar las impurezas presentes en las muestras, seguido de un pelado manual, pesado, deshidratado y finalmente triturado para obtener una muestra seca y homogénea. Por otro lado, el maní crudo con cascara sometido a una limpieza inicial para eliminar residuos; posteriormente, se procedió al descascarillado y trituración directa para obtener una harina fina. Las muestras procesadas fueron almacenadas en bolsas herméticas a temperatura ambiente para preservar sus características hasta su análisis.

En las Figuras 1,2 y 3, se presenta el procedimiento que se utilizó para la obtención de las harinas de estos subproductos.

Figura 1.

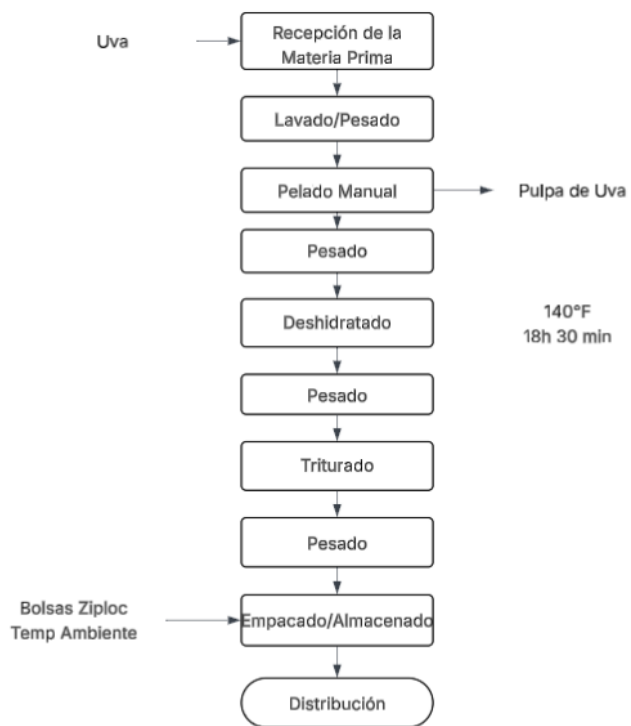
Diagrama de bloques del proceso de obtención de harina de piña



Nota: El diagrama de bloques representó el proceso que se utilizó para la obtención de harina de cáscara de piña. *Fuente.* Autoría propia.

Figura 2.

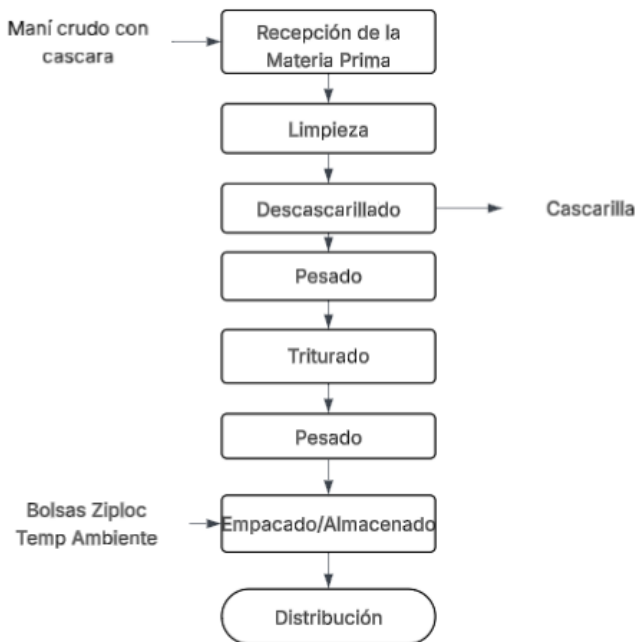
Diagrama de bloques del proceso de obtención de la harina de orujo de Uva



Nota: El diagrama de bloques representó el proceso que se utilizó para la obtención de harina de orujo de Uva. *Fuente.* Autoría propia.

Figura 3.

Diagrama de bloques del proceso de obtención de la harina de maní crudo con cascara



Nota: El diagrama de bloques representó el proceso que se utilizó para la obtención de harina de maní crudo con cascara. *Fuente:* Autoría propia.

Balance de pérdidas de las Harinas a partir de subproductos agroindustriales durante su procesamiento.

Durante el proceso de obtención de las harinas, llevado a cabo conforme al procedimiento previamente descrito, fue necesario identificar y cuantificar las mermas y/o pérdidas generadas en cada una de las etapas del proceso, con el propósito de evaluar la eficiencia del proceso, así como la optimización y la calidad del producto final obtenido.

El proceso se inició con la recepción de la materia prima a utilizar, posteriormente se pasó a la etapa de limpieza y lavado para eliminar las impurezas presentes en estos. Luego se

procedió al pelado de la materia prima con el fin de obtener los subproductos necesarios para la elaboración de la materia seca. En la etapa de deshidratado se elimina humedad, procedimiento clave para obtener harina, posteriormente se pasa a la etapa de triturado y almacenamiento del producto final. Para determinar el balance de pérdidas en harinas, se utilizó la Ecuación (A)

Ecuación A

$$\text{Balance de pérdidas en Harinas} = \left(\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \right) * 100$$

Rendimiento de las Harinas

El rendimiento de la materia seca se empleó como indicador para evaluar la eficiencia del proceso y la capacidad de transformación de los subproductos agroindustriales en harina. Con el fin de determinar el rendimiento de los tres tipos de harina obtenidos, a partir de cáscara de piña, orujo de uva y maní crudo con cáscara, se aplicó la Ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Ecuación B.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Masa de Harina Obtenida}}{\text{Masa del subproducto a procesar}} * 100$$

Propiedades nutricionales:

Con el propósito de evaluar las propiedades nutricionales de las harinas elaboradas a partir de subproductos agroindustriales, se determinó la composición químico-proximal y las características nutricionales de los subproductos seleccionados, expresadas en base seca de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1.*Métodos para determinar las propiedades nutricionales de los subproductos agroindustriales.*

Parámetro	Método	Descripción
Contenido de proteínas	AOAC 981.10 – AOAC 920.87	Método basado en la determinación del nitrógeno total para calcular el contenido proteico.
Calorías	DECRETO 810	Cálculo de energía total a partir de macronutrientes presentes en la muestra.
Carbohidratos	DECRETO 810	Cuantificación de carbohidratos totales mediante análisis químico estandarizado.
Contenido de lípidos	AOAC 960.39 – AOAC 922.06	Extracción y medición gravimétrica de lípidos totales presentes en la muestra.
Contenido de Humedad	AOAC 950.146 PART B- AOAC 931.87	Determinación del porcentaje de humedad mediante secado controlado hasta peso constante.
Porcentaje de cenizas	AOAC 920.153 – AOAC 923.03	Medición de residuos minerales totales mediante incineración completa de la muestra.

Contenido de fibra dietética total	P-TEC-206 V2	Medición de fibra soluble e insoluble utilizando procedimientos químicos y enzimáticos.
------------------------------------	--------------	---

Nota. La tabla presenta los parámetros a analizar y la composición químico-proximal de los subproductos agroindustriales se determinará utilizando los métodos estandarizados de AOC, (2000). *Fuente.* Prosky et al. (1985).

Fase 3: Proponer una formulación de un alimento funcional a partir de las propiedades nutricionales y funcionales de los subproductos agroindustriales identificados en la revisión de literatura

A partir de la revisión de literatura y los resultados de las propiedades nutricionales de los subproductos agroindustriales identificados en la revisión de literatura se realizó la formulación de un alimento funcional vegano. Con este fin, se seleccionó la elaboración de un producto vegano de panificación, específicamente tortas, en el cual se buscó incorporar estas harinas (Harinas a partir de la Orujo de uva (*Vitis vinífera*), de maní crudo con cáscara (*Arachis hypogaea*) y de cascara de piña (*Ananás comosus*) en la formulación de tortas vegana con sustitución parcial de la harina de trigo.

Elaboración del prototipo de tortas vegana.

Para el prototipo de torta veganas se seleccionó la Torta de zanahoria utilizando como base los ingredientes detallados en la Tabla 2, todos compatibles con una dieta vegana. El proceso de elaboración consideró la metodología propuesta por Enricorapalin (2021), que

incluye las etapas de pesado, mezclado, moldeado y horneado de las tortas zanahorias. Tal como se describe en la Figura 4.

Tabla 2.

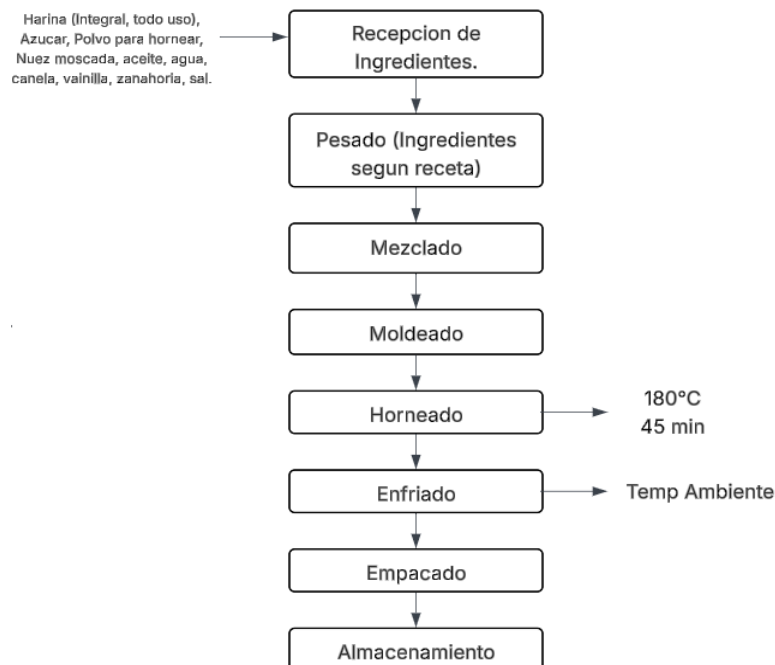
Formulación e ingredientes originales para la elaboración de la torta de zanahoria.

Ingredientes	Cantidad (g)
Zanahoria	150
Harina Integral	100
Agua	100
Harina de trigo	100
Aceite vegetal de palma y soya	58,4
Azúcar	50
Pizca de Sal	-
Canela	1
Vainilla	1
Polvo para hornear	1
Nuez moscada	0,45

Nota. La tabla 2 describe los ingredientes y sus respectivas cantidades para la elaboración de una torta vegana de zanahoria. *Fuente.* Enricorapalin (2021).

Figura 4.

Diagrama de bloques del proceso de elaboración de la Torta de Zanahoria.



Nota. Diagrama de bloques del proceso que se utilizó para la elaboración de la torta de Zanahoria según la receta original. *Fuente:* Enricorapalin (2021).

Formulación y Optimización de las Tortas mediante Diseño de Mezclas

La formulación de las tortas se llevó a cabo utilizando un diseño experimental de mezclas simplex-centroide, con harina de piña, uva y maní como componentes principales, cuyas proporciones relativas totalizaron el 100% de la fase sólida en la receta. Este diseño incluyó diez formulaciones distintas (Tabla 3), abarcando los vértices del simplex (ingredientes puros), combinaciones binarias en partes iguales y mezclas ternarias, lo que facilitó el estudio del impacto individual y sinérgico de los ingredientes en las propiedades sensoriales del producto. Todas las formulaciones se prepararon en condiciones de proceso estandarizadas y controladas, fijando los restantes ingredientes y variables de horneado para enfocarse exclusivamente en el

efecto de las proporciones de la mezcla. Las variables de respuesta seleccionadas fueron el contenido de compuestos fenólicos y la evaluación sensorial (sabor, aroma, color, textura y aceptación general), las cuales sirvieron para modelar y optimizar la receta mediante el análisis del diseño de mezclas. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 95% para cada variable de respuesta.

Tabla 3.

Formulaciones generadas a partir del diseño de mezcla para la elaboración de la torta vegana funcional.

Corrida	Cáscara de piña	Orujo de uva	Cáscara de Maní
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	0,5	0,5	0
5	0,5	0	0,5
6	0	0,5	0,5
7	0,33333	0,33333	0,33333
8	0,66667	0,16667	0,16667
9	0,16667	0,66667	0,16667
10	0,16667	0,16667	0,66667

Nota. La tabla presenta el resultado obtenido después de aplicar el diseño de mezcla, obteniendo así diez formulaciones en las cuales varía la proporción de harina obtenida a partir de los subproductos agroindustriales seleccionados. *Fuente.* Autoría Propia.

El proceso de elaboración de las tortas inicio el pesaje preciso de todos los ingredientes incluyendo las harinas de los subproductos seleccionados, mediante una balanza analítica Precisa XB 4200 C. Posteriormente, se ejecutó el mezclado manual en etapas secuenciales: primero, se integraron los ingredientes secos excluyendo el azúcar, el cual se disolvió previamente con los líquidos para formar una emulsión progresiva. Esta técnica, que incorpora el aceite en forma de hilo fino, sustituye funcionalmente el rol emulsionante de los huevos en fórmulas tradicionales, optimizando textura, humedad y esponjosidad del producto final.

Una vez lograda una masa homogénea mediante mezclado exhaustivo, esta se porcionó en moldes de aluminio y se horneó en un horno doméstico precalentado a 180 °C durante 45 minutos. Se insertó un palillo para verificar si el pastel también estaba completamente cocido desde el centro. Tras el horneado, las piezas se enfriaron a temperatura ambiente, se pesaron para evaluar rendimiento y se almacenaron en bolsas herméticas, previniendo migración de humedad y contaminación microbiológica previo a los análisis fisicoquímicos y sensoriales.

De las diez formulaciones desarrolladas, se seleccionaron dos tortas veganas de zanahoria que incorporan harinas derivadas de subproductos agroindustriales para su análisis fisicoquímico y funcional detallado. La formulación F2 corresponde a la sustitución del 33% de harina de trigo por harina de orujo de uva (*Vitis vinifera*), mientras que la formulación F7 incorpora una mezcla equilibrada de las tres harinas obtenidas de los subproductos seleccionados: harinas de orujo de Uva (*Vitis vinifera*), cascara de piña (*Ananás comosus*) y maní crudo con cascara (*Arachis hypogaea*), empleando una proporción individual de 10,99% p/p para cada una.

Determinación de la pérdida de horneado de tortas.

La pérdida de horneado representa uno de los parámetros tecnológicos más relevantes en la industria de productos horneados, constituyendo un indicador fundamental de la calidad procesal y la eficiencia de la formulación. Este fenómeno se define como la disminución del peso del producto entre el estado de masa cruda y el producto final enfriado, resultado de la evaporación de agua y la pérdida de componentes volátiles durante el proceso térmico (Ammar, 2022).

Para la determinación de pérdida de horneado de las tortas durante el horneado se calculó utilizando la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presentada por Yalcin (2025), el cual utiliza el peso de cada muestra antes (W_1) y después del horneado (W_2):

Ecuación C.

$$Baking\ loss\ (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_2} * 100$$

Fase 4. Determinación de los compuestos fenólicos y la evaluación sensorial de las formulaciones desarrolladas.

Determinación del contenido de compuestos fenólicos de las formulaciones

El contenido de compuestos fenólicos totales se evaluó en triplicado con el método colorimétrico reportado por Singleton & Rossi (1965), que incorpora molibdato y tungstato sódico los cuales reaccionan para generar un cromóforo azul constituido por un complejo fosfomolibdénico-fosfotúngstico (Blainski et al., 2013). Se empleó una curva estándar basada en ácido gálico. Se preparó una solución madre de 0.2 mg/mL de ácido gálico, diluida en

concentraciones de 0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.12 y 0.16 mg/mL; después, se tomaron 0.5 mL de cada una y se colocaron en tubos de ensayo envueltos en papel aluminio para protegerlos de la luz. A cada tubo se añadió 7.5 mL de agua y 0.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu al 50%, se mezcló por 10 s y se dejó reposar por 8 min. Seguidamente, se le agregó 1.5 mL de carbonato de sodio al 20%, se agitó otra vez por 10 s y se mantuvo 1 h en oscuridad para leer las soluciones en el espectrofotómetro a 750 nm, usando como blanco un tubo con 8 mL de agua, 0.5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu y 1.5 mL de carbonato de sodio al 20%. La curva se generó con las absorbancias registradas, permitiendo interpolar las absorbancias de las muestras y obtener la cantidad de compuestos fenólicos. Para el análisis de las muestras, se colocó en tubos de ensayo 0.5 mL y se siguió el proceso descrito previamente para la realización de la curva. Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestras de tortas (mg EAG/g) para la caracterización de fenoles totales en las formulaciones.

Análisis estadístico

Los resultados se presentaron como media \pm DE (desviación estándar) permitiendo así evaluar la significancia de los datos. Se aplicó un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA).

Evaluación Sensorial de las formulaciones

Para la evaluación sensorial de las tortas, con el fin de determinar la aceptación de una de Torta de Zanahoria Vegana se aplicó una prueba hedónica de aceptación, utilizando una escala de 9 puntos donde el 1 corresponde a “me disgusta mucho” y el 9 corresponde a “me gusta mucho”. Esta prueba se le aplicó a 40 panelistas no entrenados, seleccionados de manera aleatoria, los cuales evaluaron características como sabor, color, aroma, textura y aceptación global de diferentes formulaciones de torta de zanahoria vegana elaborada con 3 tipos de harina

obtenidas a partir de subproductos agroindustriales (Harina de cascara de piña, harina a partir de orujo de uva y harina a partir de maní crudo con cascara).

Resultados

Evaluación de la literatura existente sobre las propiedades funcionales de subproductos agroindustriales

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos y siguiendo la metodología planteada en esta investigación, se desarrolló una revisión sistemática de literatura orientada a recopilar, analizar y comparar estudios recientes relacionados con la valorización de subproductos agroindustriales como fuentes de compuestos bioactivos. Esta fase permitió identificar los principales métodos de extracción y tipos de solventes empleados, así como los rendimientos obtenidos y las características funcionales de los extractos. Los resultados evidencian el uso de técnicas convencionales y emergentes, las cuales indican la eficiencia en la recuperación de compuestos fenólicos, flavonoides, taninos e isoflavonas.

En la tabla presentada se sintetizan los hallazgos más relevantes, demostrando la diversidad de matrices vegetales estudiadas entre las que se encuentran cáscaras, semillas, hojas, tallos y membranas y su potencial para ser aprovechadas en el desarrollo de alimentos funcionales innovadores y sostenibles.

Tabla 4.*Compuestos bioactivos identificados según el tipo de subproductos.*

Subproducto agroindustrial	Compuestos bioactivos	Beneficios reportados	Aplicaciones	Referencias
Partes subutilizadas de la soja	Isoflavonas y flavonoides	Se destacan propiedades antihipertensivas de los péptidos bioactivos, que pueden ayudar a reducir la presión arterial. Efectos anticancerígenos, propiedades antiinflamatorias y potencial en el control del peso y la reducción de la obesidad.	Desarrollo de nuevos ingredientes naturales para alimentos funcionales y suplementos nutricionales.	(Bragagnolo et al., 2021)
Cáscaras de Citrus reticuladas	Fenoles, flavonoides, taninos condensados	Aumenta la actividad antioxidante y capacidad de generación de energía en MFCs. (Celdas de combustible microbianas).	El procesamiento tradicional de las cáscaras de Citrus reticulada potencia su valor como material para bioenergía y aplicaciones farmacológicas.	(Tsai et al., 2023)
Cáscaras de maní	Compuestos fenólicos	Actividad significativa antioxidante, mejora en la vida útil de los alimentos	Enriquecimiento de alimentos (yogur, snacks, recubrimientos) y desarrollo de suplementos dietéticos.	(Putra et al., 2023)

Residuos de olivo	Flavonoides, compuestos fenólicos	Actividad antioxidante y antimicrobiana, potencialmente como conservantes naturales	Incorporación en alimentos enriquecidos, suplementos y recubrimientos comestibles, aportando beneficios para la salud	(Kırbaşlar & Şahin, 2023)
El tallo duro del espárrago	Compuestos bioactivos, especialmente los aminoácidos hidrofóbicos y el ácido gálico	Tienen un potencial significativo para inhibir la enzima convertidora de angiotensina (ACE), lo que podría contribuir a la reducción de la presión arterial.	Desarrollo de alimentos funcionales o suplementos con efecto cardioprotector.	(Y.-C. Huang et al., 2022)
Cáscaras de jabuticaba	Fenoles extraíbles, proantocianidinas, antocianinas, carotenoides	Ricas en compuestos bioactivos y fibra dietética, potenciales como ingredientes funcionales.	La harina de cáscara de jabuticaba, es un ingrediente multifuncional con aplicaciones en alimentos funcionales (productos horneados), suplementos, colorantes, empaques biodegradables y control de calidad industrial.	(Resende et al., 2020)
Orujo de uva (Vitis labrusca)	Compuestos fenólicos	Propiedades antioxidantes y mejora del perfil nutricional en pasta	Pasta enriquecida con mayor contenido nutricional	(Oliveira et al., 2022)

Hojas de kiwi	Varios compuestos fenólicos incluyendo quercitrina, rutina, proantocianidinas B y C, ácido quínico, miricetrina y un ácido triterpénico-O-hexósido	Aplicaciones en alimentos funcionales, cosméticos y salud	Los compuestos pueden ser aplicados en diversas áreas: o Alimentaria: como pectinas y colorantes. o Cosmética: como pigmentos ecológicos. o Farmacéutica: en la elaboración de alimentos funcionales y nutraceuticos	(Henriques et al., 2017)
Cáscara de café: película plateada del café (CS)	Ácido clorogénico (5CQA), Fibra dietética, compuestos fenólicos totales, polifenoles, proteínas, minerales como Potasio, Hierro, Sodio, Manganeso y Zin	Potencial para ser reciclado en nuevos productos alimenticios ricos en compuestos bioactivos, conocidos por sus propiedades antidiabéticas, anti-obesidad, antioxidantes, antihipertensivos, antiinflamatorios y antibacterianos.	La CS ha sido incorporada exitosamente hasta en un 15% en productos extruidos a base de cereales (maíz, amaranto), mejorando el contenido de fibra y proteínas, y aportando compuestos antioxidantes sin afectar negativamente la aceptabilidad sensorial.	(Beltrán-Medina et al., 2020)
Cáscaras de pequi (Caryocar brasiliense)	Flavonoides, carotenoides, saponinas, taninos hidrolizables	Alto potencial multifuncional como ingrediente funcional.	Productos horneados funcionales y sin gluten	(Brito Cangussu et al., 2021)

Subproductos de fresa	11 compuestos fenólicos, incluyendo Elagitaninos y flavonoles.	Propiedades anticancerígenas, antioxidantes y antiinflamatorias.	Alimentos funcionales, suplementos, bebidas para aportar propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anti proliferativas, conservantes y antioxidantes naturales:	(Villamil-Galindo et al., 2023)
-----------------------	--	--	--	---------------------------------

Nota. La tabla 4 presentó un resumen detallado sobre los principales subproductos agroindustriales estudiados incluyendo los compuestos bioactivos que estos contienen, los beneficios que estos ofrecen y las aplicaciones dentro de la industria. Evidenciando la gran cantidad de compuestos bioactivos que estos contienen los cuales presentan un alto contenido de propiedades antioxidantes. *Fuente.* Autoría propia.

En la tabla se observó una gran variedad de subproductos agroindustriales, los cuales fueron estudiados y analizados con el fin de determinar los compuestos bioactivos presentes en estos residuos agroindustriales. Entre los más destacados se encontraron los residuos de soja, cítricos, maní, olivo, espárrago, jabuticaba, uva, kiwi, café, pequi y fresa, los cuales contuvieron principalmente fenoles, flavonoides, taninos, isoflavonas, antocianinas y carotenoides, metabolitos secundarios reconocidos por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antihipertensivas, anticancerígenas y antidiabéticas. En el caso de las partes subutilizadas de la soja, se resaltó la presencia de isoflavonas y flavonoides con efectos anticancerígenos y antihipertensivos, lo que las convirtió en candidatas para el desarrollo de suplementos y alimentos funcionales. De manera similar, las cáscaras de *Citrus reticulata* contuvieron fenoles, flavonoides y taninos condensados, lo que incrementó la actividad antioxidante y abrió

posibilidades de uso tanto en bioenergía como en aplicaciones farmacológicas. Por otro lado, las cáscaras de maní mostraron un alto contenido de compuestos fenólicos con actividad antioxidante significativa, lo que permitió su aplicación en el enriquecimiento de alimentos y el desarrollo de suplementos dietéticos, mientras que los residuos de olivo se caracterizaron por su acción antioxidante y antimicrobiana, útiles como conservantes naturales o recubrimientos comestibles.

El tallo duro del espárrago, rico en aminoácidos hidrofóbicos y ácido gálico, presentó capacidad para inhibir la enzima convertidora de angiotensina (ACE), con potencial cardioprotector. En el caso de las cáscaras de jabuticaba, los fenoles, proantocianidinas y antocianinas confirieron un alto valor funcional, lo que permitió su uso en la elaboración de productos horneados, suplementos, colorantes y empaques biodegradables. Asimismo, el orujo de uva (*Vitis labrusca*) demostró mejorar el perfil nutricional de alimentos como la pasta, mientras que las hojas de kiwi, ricas en quercetina, rutina y otros flavonoides, se aplicaron tanto en alimentos funcionales como en cosméticos y productos farmacéuticos. Las cáscaras de café, particularmente la película plateada (CS), concentraron ácido clorogénico, fibra dietética y minerales, mostrando efectos antidiabéticos, anti-obesidad, antioxidantes y antiinflamatorios, además de ser aprovechadas exitosamente en productos extruidos sin afectar su aceptabilidad sensorial. Por su parte, las cáscaras de pequi (*Caryocar brasiliense*), con alto contenido en flavonoides, carotenoides y taninos, destacaron por su potencial como ingrediente multifuncional en productos horneados sin gluten, y los subproductos de fresa, ricos en elagitaninos y flavonoles, presentaron propiedades anticancerígenas, antioxidantes y antiinflamatorias, aplicables en bebidas, conservantes naturales y alimentos funcionales.

En conjunto, los resultados reflejaron una tendencia creciente hacia la revalorización de residuos agroindustriales como fuentes naturales de compuestos bioactivos con interés dentro de las industrias de alimentos y nutracéuticos. Este aprovechamiento no solo mejoró la calidad nutricional de los alimentos, sino que también promovió la sostenibilidad y la economía circular del país, ya que permitió reducir el impacto ambiental de los desechos orgánicos e integrarlos nuevamente en la cadena productiva. Así, los subproductos agroindustriales se consolidaron como materias primas de alto valor añadido con potencial para el desarrollo de formulaciones innovadoras, saludables y sostenibles, fortaleciendo la conexión entre ciencia, nutrición y desarrollo sostenible dentro del sector alimentario.

Tabla 5.

Método de extracción para la obtención de compuestos bioactivos de los subproductos identificados.

Subproducto agroindustrial	Método de extracción / Solvente.	Rendimiento	Referencias
Partes subutilizadas de la soja	Se utiliza técnicas modernas de extracción (ultrasonido, microondas, fluidos supercríticos, líquidos presurizados)	Se presenta un mayor rendimiento de isoflavonas en las hojas (~3 kg/ton), seguido de los granos (~2 kg/ton), y menos de 1 kg/ton en ramas y vainas.	(Bragagnolo et al., 2021)
Cáscaras de Citrus reticuladas	Procesamiento con salvado	Aumento en fitoquímicos	(Tsai et al., 2023)
Cáscaras de maní	Extracción con acetona, agua y ácido acético	Alto contenido fenólico	(Putra et al., 2023)

Residuos de olivo	Extracción etanólica al 50%	contenido total de fenoles (TPC) que varió entre 23.85 y 27.54 mg GAE/gdw, y un contenido total de flavon(Kırbaşlar & Şahin, 2023) 52.39 mg RE/gdw	(Kırbaşlar & Şahin, 2023)
El tallo duro del espárrago	Hidrólisis enzimática: Se emplea una enzima proteolítica, combinada Alcalase	Las muestras tratadas enzimáticamente mostraron una capacidad de inhibir la enzima convertidora de angiotensina (ACE) del 78,38%, en comparación con el control que tuvo una inhibición del 46,88%. Además, se encontró que la presencia de aminoácidos hidrofóbicos (39%) y ácido gálico (48%).	(Y.-C. Huang et al., 2022)
Cáscaras de jabuticaba	FTIR y análisis convencional	Alta variabilidad	(Resende et al., 2020)
Orujo de uva (Vitis labrusca)	Extracción sólido-líquido con solventes hidroalcohólica	Rendimiento de harina: Aproximadamente el 20-25% del peso de la uva procesada se recupera. En pasta: La incorporación de GPF en la pasta puede aumentar el contenido de fibra.	(Oliveira et al., 2022)
Hojas de kiwi	Cromatografía de fase inversa (SPE)	incrementó el contenido de fenoles totales en un 68,7% y de taninos en un 94,4% en comparación con el extracto crudo	(Henriques et al., 2017)

Cáscara de café: película plateada del café (CS)	Extracción con Solvente: Metanol: HCl: agua	La cascarilla de café (CS) presenta un rendimiento nutricional destacado, con un contenido de fibra dietética entre 50% y 68,5%, predominando la fibra insoluble, y un aporte proteico de 15% a 22%.	(Beltrán-Medina et al., 2020)
Cáscaras de pequi (Caryocar brasiliense)	Extracción con solventes y análisis por HPLC	El contenido total de compuestos fenólicos extraídos de la cáscara de pequi puede alcanzar valores superiores a 20.000 mg equivalentes de ácido gálico/100 g de muestra. Para compuestos específicos, se han reportado los siguientes rangos de concentración en harinas de cáscara de pequi: flavonoides (19,67–87,61 mg/100 g), ácido gálico (11,52– 418,67 mg/100 g), galato de etilo (2026,75– 5205,90 mg/100 g) y ácido elágico (509,47– 1630,66 mg/100 g)	(Brito Cangussu et al., 2021)
Subproductos de fresa	Extracción asistida por ultrasonido (UAE) con etanol (40%)	La Relación de extracción de 1:30 g/mL, concentración de etanol del 46,4% y potencia ultrasónica al 100%, alcanzando valores máximos para K1 (5.83 min ⁻¹) y K2 (14.35 g GAE kg ⁻¹).	(Villamil- Galindo et al., 2023)

Miel de dátiles	Extracción por presión hidráulica	La presión hidráulica aumentó la eficiencia en un 21.54% en comparación con el método convencional	(Al-Hilphy et al., 2021)
-----------------	-----------------------------------	--	--------------------------

Nota. La tabla presentó los principales métodos de extracción y solventes utilizados para la obtención de compuestos bioactivos a partir de los diferentes subproductos agroindustriales identificados en la literatura, al igual que el rendimiento, destacando así que la eficiencia de la extracción depende principalmente del tipo de subproducto utilizado y la técnica de extracción utilizado. *Fuente.* Autoría propia.

En la tabla 5 se mostró una variedad importante de métodos de extracción, desde técnicas tradicionales hasta tecnologías emergentes orientadas a mejorar la eficiencia, el rendimiento y la sostenibilidad de los procesos. Entre las metodologías más empleadas se destacaron la extracción asistida por ultrasonido (UAE), la extracción sólido-líquido con solventes hidroalcohólicos, la hidrólisis enzimática, la cromatografía de fase inversa (SPE), y el uso de fluidos supercríticos, microondas y líquidos presurizados, que permitieron optimizar la recuperación de compuestos bioactivos sin comprometer su estabilidad ni su funcionalidad.

En el caso de las partes subutilizadas de la soja, el empleo de tecnologías modernas como el ultrasonido y los fluidos supercríticos favoreció un mayor rendimiento de isoflavonas, alcanzando aproximadamente 3 kg/ton en hojas, lo que demostró la eficiencia de estas técnicas frente a los métodos tradicionales. De igual manera, la hidrólisis enzimática aplicada al tallo duro del espárrago, combinada con la enzima Alcalase, logró una inhibición del 78,38% de la enzima convertidora de angiotensina (ACE), evidenciando un aumento significativo de péptidos bioactivos y aminoácidos hidrofóbicos con efectos antihipertensivos y cardioprotectores En

cuanto a las cáscaras de maní, la extracción con acetona, agua y ácido acético permitió obtener un alto contenido fenólico, mientras que en los residuos de olivo la extracción etanólica al 50% arrojó valores elevados de fenoles totales (23,85–27,54 mg GAE/g) y flavonoides (52,39–52,82 mg RE/g), reafirmando su potencial antioxidante.

En las hojas de kiwi, la aplicación de cromatografía de fase inversa (SPE) incrementó el contenido de fenoles totales en un 68,7% y de taninos en un 94,4%, destacando la efectividad de esta técnica para concentrar compuestos funcionales de interés. Así mismo, los subproductos de fresa sometidos a extracción asistida por ultrasonido (UAE) con etanol al 40-46% alcanzaron altos valores cinéticos de extracción ($K_1 = 5.83 \text{ min}^{-1}$; $K_2 = 14.35 \text{ g GAE/kg}$), demostrando la capacidad del ultrasonido para aumentar la eficiencia en la recuperación de compuestos fenólicos. Por su parte, la cáscara de pequi (*Caryocar brasiliense*) mostró un rendimiento excepcional, con concentraciones superiores a 20.000 mg equivalentes de ácido gálico/100 g, además de la presencia de flavonoides, galato de etilo y ácido elágico en altos niveles, lo que la posicionó como una fuente rica en antioxidantes naturales.

Por otro lado, la cáscara de café (película plateada) extraída con una mezcla de metanol, HCl y agua presentó un contenido de fibra dietética entre 50% y 68,5% y un aporte proteico de 15% a 22%, demostrando su potencial como ingrediente funcional. En el orujo de uva, la extracción sólido-líquido con solventes hidroalcohólicos permitió recuperar entre el 20 y el 25% del peso de la uva procesada, favoreciendo su uso como harina enriquecedora de fibra en productos alimentarios. Otros casos notables incluyeron el procesamiento de cáscaras de Citrus reticuladas con salvado, que incrementó el contenido de fitoquímicos, y la extracción por presión hidráulica aplicada a miel de dátiles, que aumentó la eficiencia del proceso en un 21,54% respecto a métodos convencionales.

Los resultados reflejaron una tendencia clara hacia la implementación de tecnologías limpias y eficientes en la valorización de residuos agroindustriales. Estas técnicas no solo mejoraron el rendimiento y la pureza de los extractos bioactivos, sino que también promovieron procesos más sostenibles, favoreciendo la recuperación de compuestos con alto valor funcional, antioxidante y nutracéutico, esenciales para el desarrollo de alimentos innovadores y saludables.

A partir de la revisión de literatura se determinó los subproductos a utilizar como ingredientes funcionales de los productos veganos a desarrollar. Los subproductos seleccionados fueron: cascara de piña (*Ananás comosus*), orujo de uva (*Vitis vinífera*) y maní crudo con cascara (*Arachis hypogaea*). Estos fueron adquiridos en el mercado local, garantizando la frescura.

Determinación de Balance de pérdidas de las Harinas a partir de subproductos agroindustriales durante su procesamiento.

Los resultados obtenidos en el balance de pérdidas de las harinas, se presentó en las tablas 6, 7 y 8 la cuales mencionan las diferentes etapas de entradas y salidas presentadas durante el proceso de obtención de las harinas a partir de los subproductos de cascara de piña, orujo de uva y maní crudo con cascara, en donde se resaltó el porcentaje de perdidas presentadas durante las diferentes etapas de producción.

Tabla 6.

Resumen de Balance de pérdidas del proceso de obtención de la harina a partir de cascara de piña.

Etapa	Materia Prima (g)	Producto Obtenido	Perdida (%)
-------	-------------------	-------------------	-------------

Lavado y pelado	4,877.97	620.88	87.27%
Deshidratado	620.88	189.07	69.54%
Triturado	189.07	111.83	40.85%

Nota. La tabla presentó el resumen de las entradas y salidas registradas durante el proceso de obtención de la harina a partir del subproducto de cáscara de piña, en donde se resaltó el porcentaje de pérdidas ocurrido en las diferentes etapas de producción. *Fuente.* Autoría propia.

Tabla 7.

Resumen de Balance de pérdidas del proceso de obtención de la harina a partir de Orujo de Uva.

Etapas	Materia Prima (G)	Producto Obtenido	Pérdida (%)
Lavado y despulpado	3,771.66	2,142.98	43.18%
Deshidratado	2,142.98	382.89	82.13%
Triturado	382.89	354.46	7.42%

Nota. La tabla presenta el resumen de las entradas y salidas generadas durante el proceso de obtención de harina a partir del orujo de uva, presentado así el peso de la materia prima en cada una de las etapas de producción desde el lavado hasta la fase final del triturado, resaltado el porcentaje de pérdidas generados en cada una de estas etapas. *Fuente.* Autoría propia.

Tabla 8.

Resumen de Balance de pérdidas del proceso de obtención de la harina a partir de Maní Crudo con Cáscara.

Etapa	Materia Prima (g)	Producto Obtenido	Perdida (%)
Limpieza y descascarillado		746.33	%
Triturado	746.33	527.10	29.37%

Nota. La tabla presenta el resumen de las entradas y salidas generadas durante el proceso de obtención de harina a partir de maní crudo con cascara, presentado así las etapas de producción en las cuales se generan las pérdidas las cuales se pueden ver reflejadas en el resultado final, resaltado el porcentaje de pérdidas generados en cada una de estas etapas. *Fuente.* Autoría propia.

Las pérdidas para la elaboración de harinas a partir de cáscara de piña, orujo de uva y maní crudo con cáscara revelaron diferencias significativas en la eficacia de cada método, las cuales estuvieron estrechamente vinculadas a la composición y al nivel de humedad de las materias primas. La cáscara de piña mostró las mayores pérdidas, alcanzando un 87.27% en las etapas de lavado y pelado, un 69.54% en el proceso de deshidratación y un 40.85% en el triturado, lo que indicó su alta cantidad de residuos y humedad, resultando en el menor rendimiento total. Por otro lado, el orujo de uva tuvo un rendimiento intermedio: aunque la fase de lavado y despulpado generó una pérdida del 43.18%, la deshidratación alcanzó un 82.13% a causa de su humedad residual; sin embargo, el triturado disminuyó drásticamente la pérdida a

solo 7.42%, lo que demostró que contó con una porción sólida más aprovechable en comparación con la cáscara de piña.

Finalmente, el maní crudo con cáscara se presentó como la materia prima más eficaz, ya que tras el descascarillado produjo 746.33 g de producto y únicamente presentó una pérdida del 29.37% durante el triturado, gracias a su elevado contenido de sólidos y su baja humedad. Los resultados indicaron que la efectividad en la producción de harina dependió de la estructura y de la composición del subproducto, siendo el maní el que más se aprovechó, seguido por el orujo de uva y, al final, la cáscara de piña.

Rendimiento de las Harinas

El porcentaje de rendimiento de las harinas varió dependiendo no solo del tipo de subproducto utilizado, sino también del tipo de proceso al que fue sometido antes de obtener el producto final. En el presente estudio se determinó el porcentaje de rendimiento de las harinas, resultado presentado en la Tabla 9

Tabla 9.

Resultado % rendimiento de las harinas obtenidas

Harinas	Rendimiento (%)
Cáscara de piña	18.01
Orujo de uva	16.54
Maní crudo con cascara.	70.62

Nota. La tabla muestra el resultado del rendimiento de los tres diferentes tipos de harina con relación al tipo y cantidad de subproducto agroindustrial seleccionado y la cantidad de Harina obtenida. Los resultados se expresan en porcentaje. *Fuente.* Autoría propia.

Las diferencias observadas en estos resultados no solo respondieron a la composición y características propias de los subproductos seleccionados, sino también a las diferentes etapas de procesamiento a las que se sometieron los subproductos para obtener las harinas. La harina obtenida a partir de cáscara de piña presentó un rendimiento del 18.01%, mientras que la harina a partir de orujo de uva mostró un rendimiento del 16.54%; estos resultados fueron muy similares, ya que ambos subproductos presentaron altos contenidos de fibra insoluble y humedad. Estos componentes generaron mayores pérdidas de masa durante el proceso de deshidratación, lo que redujo la cantidad de harina recuperada. Además, la presencia de lignocelulósicos y su estructura fibrosa produjeron partículas de mayor tamaño durante la trituración, lo que ocasionó pérdidas adicionales en esa etapa de producción.

Por el contrario, la harina obtenida a partir de maní crudo con cáscara, al poseer baja humedad, alto contenido de lípidos y proteínas, y no haber sido sometida a deshidratación, presentó un rendimiento del 70.62%. Esto permitió un aprovechamiento mucho más eficiente durante su transformación en harina.

Estos resultados indicaron la importancia de la valorización de subproductos agroindustriales y mostraron que el rendimiento de la materia obtenida no dependió solo del tipo y composición de la materia prima seleccionada, sino también del tipo de procesamiento al que se sometió para obtener el producto final.

Determinación de propiedades nutricionales de las muestras de harinas a base de subproductos.

Para evaluar las propiedades nutricionales de las harinas a base de subproductos agroindustriales, se realizó un análisis proximal en cada una de ellas. Sin embargo, debido a las limitaciones en el rendimiento de la harina de cáscara de piña, no fue posible llevar a cabo estas determinaciones en esa muestra. Por ello, se recurrió a la literatura para conocer la composición proximal de la cáscara de piña (*Ananas comosus*), basada en material seco obtenido de estudios previos, como se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10.

Propiedades nutricionales de la cascara de piña (Ananás comosus), basada en material seco.

Compuestos	Rango Promedio
Contenido de proteína	0,57 – 7,0 g/100g
Caloría	269- 371 kcal/100g
Carbohidrato	67- 85,07 g/100g
Grasa Total	1,14 – 5,87 g/100g
Contenido de Humedad	3,9 – 13,5 g/100g
Contenido de Ceniza	2,4 – 5,7 g/100g
Fibra Dietaria Total	12,5 – 59 g/100g

Nota. La tabla presenta el resultado de los análisis reportados en la literatura para la determinación de las propiedades nutricionales de la harina a partir de la cascara de piña (*Ananas comosus*). *Fuente.* (A.R. et al., 2023; Campos et al., 2020; Emmanuella et al., 2025; Y.-L. Huang et al., 2020; Lopez-Nunez et al., 2017; Mala et al., 2024; Owoeye et al., 2022; Zambare, 2024).

La Tabla 10 compiló rangos promedio de propiedades nutricionales de la harina obtenida de la cáscara de piña (*Ananas comosus*) en base seca, y reveló un perfil caracterizado por alto contenido energético y fibroso, con bajo aporte proteico y lipídico. Estos datos, extraídos de múltiples estudios recientes, posicionaron esta harina como un subproducto agroindustrial valioso para la diversificación de ingredientes funcionales en formulaciones alimentarias. La variabilidad observada en los rangos reflejó diferencias debidas a factores como el estado de maduración del fruto y las metodologías en procesos de secado, extracción y análisis proximal, tal como lo evidenciaron Lopez-Nunez et al. (2017);(Mala et al., 2024); & (A.R. et al., 2023) en sus artículos.

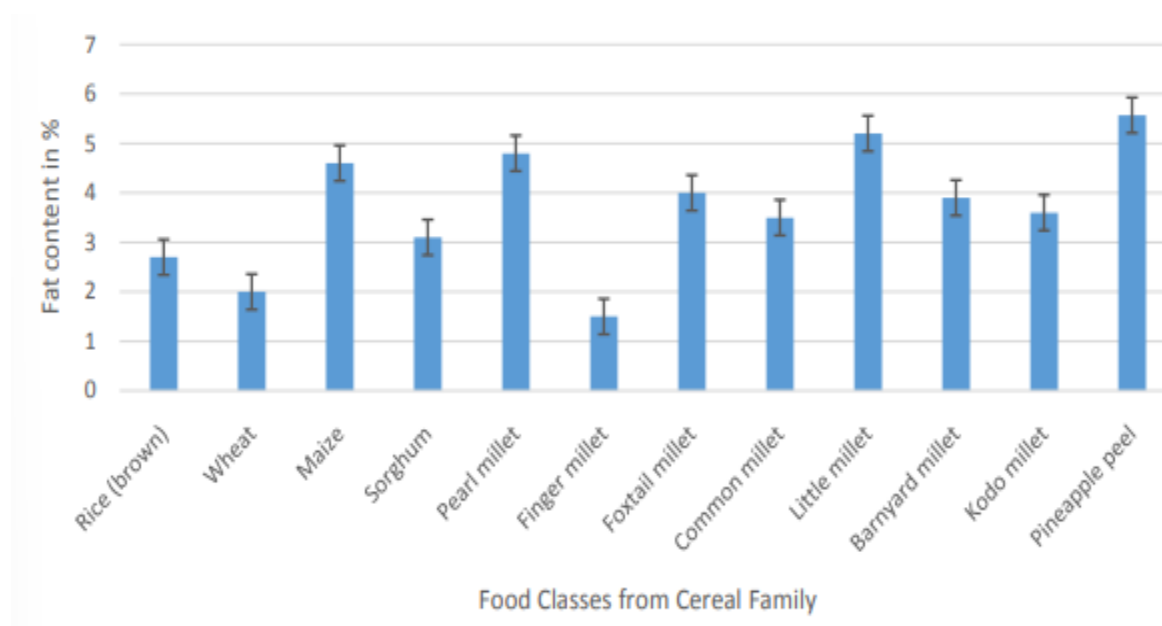
Los carbohidratos fueron uno de los componentes más predominantes de la harina de cáscara de piña, con 67-85,07 g/100 g, y aportaron la principal fuente energética junto a calorías de 269-371 kcal/100 g, ideales para productos enriquecidos en dietas de alto rendimiento calórico. La fibra dietética total destacó por su rango de 12,5-59 g/100 g, superando ampliamente valores reportados en otros subproductos agrícolas como pera, durazno y salvado de avena, con fibra dietética total de 23,8-36,1 g/100 g (Huang, et al., 2011). Por tanto, la harina de cáscara de piña resultó ser una fuente rica en fibra dietética y bruta en comparación con todos estos subproductos, lo que confirió propiedades funcionales como mejora en la digestibilidad y control glucémico. El contenido de humedad de la harina de cáscara de piña abarcó un rango de 3,9-13,5 g/100 g, debido a la disminución sustancial de la humedad influenciada por el prolongado

periodo de secado y el método utilizado, pero que tuvo influencias directas en la rapidez del deterioro de los alimentos (Lopez-Nunez et al., 2017; Owoeye et al., 2022).

Asimismo, el análisis sistemático de la harina de cascara de piña, reveló un contenido de Ceniza, proteico y grasa total de 2,4-5,7 g/100g, 0,57-7,0 g/100g) y 1,14-5,87 g/100g respectivamente. Esto limitó su uso como fuente principal de estos nutrientes, pero favoreció aplicaciones en productos bajos en lípidos y de digestión ligera. No obstante, Owoeye et al., (2022) comparó el contenido de grasa de la cáscara de piña (5,57 g/100 g) con once cereales, el cual superó el contenido de grasa de las once harinas de cereales evaluadas. Esto significó que el contenido de grasa de las cáscaras de piña, como residuo agrícola, fue mayor que el de cereales nutritivos como sorgo, trigo y todos los tipos de mijo que se evidenciaron en la figura 5.

Figura 5.

Estudio comparativo del contenido de grasa cruda de cáscara de piña con cereales seleccionados.



Nota. La figura muestra el contenido de grasa cruda (expresado en porcentaje) de la cáscara de piña en comparación con diferentes clases de alimentos de la familia de los cereales (arroz integral, trigo, maíz, sorgo, mijo perla, mijo dedo, mijo cola de zorra, mijo común, mijo pequeño, mijo de granero y mijo kodo), indicando que la cáscara de piña presenta un contenido de grasa cruda relativamente elevado en relación con la mayoría de los cereales evaluados. *Fuente.* Owoeye et al., (2022).

Como resultado, esta composición proximal resaltó el potencial de la harina de cáscara de piña como ingrediente fortificante en panes, galletas o suplementos, contribuyendo a la valorización de residuos y estrategias de economía circular en la industria alimentaria.

Por otra parte, las muestras de harina de orujo de uva (*Vitis vinífera*) y maní crudo con cáscara (*Arachis hypogaea*) presentaron una mayor disponibilidad de material seco, lo que permitió realizar su análisis proximal en laboratorio y obtener resultados con mayor cantidad. Los resultados obtenidos se presentaron en la Tabla 11 y la Tabla 12, donde se mostraron los valores para cada muestra de material seco, lo que permitió valorar su potencial para ser utilizadas como ingredientes funcionales en el desarrollo de formulaciones alimentarias veganas.

Tabla 11.

Propiedades nutricionales determinadas para la muestra de material seco del subproducto agroindustrial Orujo de Uva.

Ensayo realizado	Resultado
Contenido de proteína	8,61 g/100g

Caloría	373,9 kcal/100g
Carbohidrato	66,36 g/100g
Grasa Total	8,22 g/100g
Contenido de Humedad	11,00 g/100g
Contenido de Ceniza	5,81 g/100g
Fibra Dietaria Total	6,5160 g/100g

Nota. La tabla presenta las propiedades nutricionales determinadas para la muestra de material seco del subproducto agroindustrial orujo de uva. Los valores se expresan por 100 g de muestra.

Fuente. Autoría propia.

En la Tabla 11, la harina de orujo de uva (*Vitis vinífera*) analizada presentó características fisicoquímicas que reflejaron no solo su composición nutritiva, sino también su potencial funcional dentro de la industria alimentaria.

El contenido proteico de la harina de orujo de uva (*Vitis vinífera*) fue de 8,61 g/100 g, valor superior al reportado por Castro SOUSA et al. (2014) ($8,49 \pm 0,02$ g/100 g), pero inferior al obtenido por Barajas Otálora & Rodríguez Chiquillo (2022) (12,1 g/100 g), quienes utilizaron el método de deshidratación. No obstante, Antonić et al., (2020), en su revisión sistemática registraron un rango para el contenido proteico de orujo de uva en función del peso seco que varió entre 3,57 y 14,17 g/100 g según lo reportado en la literatura. Por lo tanto, el contenido proteico de la harina de orujo analizada en este estudio se consideró una fuente moderada de

proteínas vegetales, importantes para la síntesis y reparación de tejidos, lo que valorizó su uso como ingrediente funcional o suplemento proteico en formulaciones alimentarias.

Su contenido energético total de 373,9 kcal/100 g representó un aporte calórico significativo, derivado principalmente de los carbohidratos, que con 66,36 g/100 g constituyeron la fracción mayoritaria de la matriz. Estos valores fueron superiores a los reportados por Castro Sousa et al., (2014) (224 kcal/100 g y 29,20 g/100 g, respectivamente), pero inferiores a los obtenidos por Barajas Otálora & Rodríguez Chiquillo (2022)) mediante el método de deshidratación (374,99 Kcal/100 g y 67,86 g/100 g, respectivamente). Por otro lado, Antonić et al. (2020) registraron un rango promedio para el contenido de carbohidratos en orujo de uva según la literatura, que varió de 12,20 a 40,53 g/100 g, rango inferior al hallado en el presente estudio. Estos carbohidratos constituyeron la principal fuente de energía y podrían haber estado conformados principalmente por fibra o azúcares residuales, lo que sugirió un potencial uso en productos energéticos o para conferir propiedades tecnológicas, como textura o viscosidad.

Así mismo, El contenido total de grasa en la harina de orujo de uva (*Vitis vinífera*) representó un aporte de contenido energético, el cual fue de 8,22 g/100 g, valor superior a los reportados por Barajas Otálora & Rodríguez Chiquillo (2022) & Castro SOUSA et al. (2014) (6,13 g/100 g mediante método deshidratado y $8,16 \pm 0,01$ g/100 g, respectivamente). No obstante, este resultado se encontró dentro del rango de 1,14 a 13,90 g/100 g establecido por Antonić et al. (2020) en su revisión sistemática. Este nivel de grasa se consideró moderado y contribuyó a la estabilidad y perfil sensorial del producto, además de ser fuente de ácidos grasos esenciales para la salud cardiovascular y metabólica, con actividad antioxidante asociada a compuestos bioactivos presentes en el orujo. Sin embargo, fue necesario realizar un análisis más profundo del perfil de ácidos grasos.

El contenido de humedad, clave para la estabilidad del alimento, fue de 11 g/100 g en la harina de orujo de uva (*Vitis vinífera*), influenciado por los métodos de secado empleados, tal como describieron Barajas Otálora & Rodríguez Chiquillo (2022). Sin embargo, este valor fue superior al reportado en la literatura para el método de deshidratación (7,17 g/100 g, Barajas Otálora & Rodríguez Chiquillo (2022)). No obstante, el contenido de humedad estuvo dentro del límite de aceptación (13%) establecido por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima) para harina de trigo (NTC 267), normativa que se tomó como referencia debido a la ausencia de regulaciones específicas para la harina de orujo de uva. Por lo tanto, el nivel de humedad en la harina analizada aseguró una buena estabilidad microbiológica, previniendo el deterioro y facilitando su almacenamiento y procesamiento.

El contenido de cenizas, indicador de contenido mineral, fue de 5,81 g/100 g, valor intermedio entre los reportados por Barajas Otálora & Rodríguez Chiquillo (2022) (6,75 g/100 g, método deshidratado) & Castro Sousa et al., (2014) ($4,65 \pm 0,05$ g/100 g). AntoniĆ et al., (2020) establecieron un rango para cenizas en orujo de uva, según peso seco, que varió de 1,73 a 9,10 g/100 g. En consecuencia, la harina de orujo de uva presentó un contenido mineral significativo, con potenciales beneficios nutricionales por minerales como potasio, fósforo y magnesio, que apoyaron funciones metabólicas diversas y el equilibrio electrolítico.

En este estudio, el contenido de fibra dietética total fue bajo (6,52 g/100 g) en comparación con valores más elevados reportados en la literatura (que pudieron superar el 50% según el proceso y tipo de orujo). Barajas Otálora y Rodríguez Chiquillo (2022), Castro SOUSA et al. (2014) & AntoniĆ et al. (2020) reportaron valores de 20,28 g/100 g (método deshidratado), $46,17 \pm 0,80$ g/100 g y un rango promedio de 17,28 a 88,70 g/100 g, respectivamente. Sin embargo, el contenido de fibra dietética total obtenido en este estudio siguió siendo relevante

para la salud gastrointestinal, actuando como prebiótico y favoreciendo la regulación del tránsito intestinal y el control glucémico. Esta fibra, junto con polifenoles y otros compuestos fenólicos presentes en el orujo, confirió propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y cardioprotectoras, contribuyendo potencialmente a la prevención de enfermedades crónicas.

Por tanto, los resultados obtenidos de esta harina respaldaron su uso como un ingrediente nutritivo relevante, con potencial para la formulación de productos con beneficios para la salud, destacando su aporte proteico, energético, lipídico, mineral y de fibra, elementos clave para una alimentación saludable y equilibrada.

Tabla 12.

Propiedades nutricionales determinadas para la muestra de material seco del subproducto agroindustrial Maní Crudo con Cascara.

Ensayo realizado	Resultado
Contenido de proteína	30,2 g/100g
Caloría	534,7 kcal/100g
Carbohidrato	28,78 g/100g
Grasa Total	33,2 g/100g
Contenido de Humedad	5,57 g/100g
Contenido de Ceniza	2,25 g/100g
Fibra Dietaria Total	10,1120 g/100g

Nota. La tabla presenta el resultado de los análisis realizados para la determinación de las propiedades nutricionales de la harina a partir del maní crudo con cáscara. Los valores se expresan por 100 g de muestra. *Fuente.* Autoría propia.

En la Tabla 12 se presentaron las propiedades nutricionales determinadas para la muestra de material seco correspondiente al subproducto agroindustrial de maní crudo con cáscara, que se destacó como fuente alternativa de nutrientes en el desarrollo de nuevos alimentos.

El contenido proteico para la muestra de material seco de maní crudo con cáscara (*Arachis hypogaea*) alcanzó un valor significativo de 30,2 g/100 g, lo que se encontró dentro del rango reportado por Torres Montero Julio (2020), de 24,0 a 36,0 g/100 g. Este alto contenido proteico posicionó a la muestra como una fuente concentrada de proteínas, fundamental para procesos biológicos esenciales como la síntesis y regeneración tisular. Además, la proteína del maní poseyó un valor biológico y digestibilidad elevada, comparable con proteínas animales (Torres Montero Julio, 2020) lo que la hizo adecuada para ser utilizada como ingrediente funcional o complementario en diversas formulaciones alimentarias que requerían un aporte proteico elevado.

Su contenido calórico total fue de 534,7 kcal/100 g, lo que indicó que esta muestra de material seco proporcionó una cantidad elevada de energía. Esto se debió principalmente a su alto contenido de grasas totales, que se registró en 33,2 g/100 g. Este valor fue inferior a los rangos de literatura mencionados por Torres Montero (2020) & Wang (2016), quienes manifestaron que el grano de maní crudo contenía un rango de 38,0-60,0 g/100 g y 44,24-53,86 g/100 g, respectivamente. Sin embargo, este nivel de contenido de grasas representó una fracción considerable, aportó energía densa y contribuyó al perfil sensorial.

Asimismo, la muestra de material seco de maní crudo con cáscara (*Arachis hypogaea*) presentó un contenido de carbohidratos de 28,78 g/100 g, valor que indicó un aporte energético importante. Este resultado fue superior a los rangos reportados en la literatura por (Torres Montero Julio, 2020; Wang, 2016), quienes señalaron valores entre 10,0 y 23,0 g/100 g y entre 9,89 y 23,62 g/100 g, respectivamente. Este contenido moderado-alto de carbohidratos incluyó una probable mezcla de fibras dietéticas y azúcares, componentes que influyeron positivamente en la funcionalidad tecnológica y nutricional del producto. La fibra dietética total se cuantificó en 10,11 g/100 g, valor altamente relevante para la salud digestiva. Las fibras presentes actuaron como prebióticos, favorecieron el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino, colaboraron en la regulación del tránsito intestinal, previnieron el estreñimiento y mejoraron la digestión, y brindaron beneficios adicionales en la prevención de enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2 (Anderson et al., 2009). Además, los azúcares naturales aportaron energía rápida, complementaron el aporte calórico total del maní e hicieron que el subproducto agroindustrial no solo fuera una fuente de energía funcional, sino también un ingrediente que pudo mejorar la textura y propiedades físicas en diferentes formulaciones alimentarias.

El índice de humedad encontrado en la muestra de material seco de maní crudo con cáscara fue bajo, con un valor de 5,57 g/100 g, y se encontró dentro de los parámetros mencionados por Wang (2016), quien reportó un rango de 5,33 a 9,16 g/100 g. Esta baja humedad fue una característica favorable para la estabilidad microbiológica del producto, ya que un contenido reducido de agua dificultó el desarrollo de microorganismos como bacterias y hongos que pudieron deteriorar el alimento. Además, esta condición facilitó el almacenamiento y prolongó la vida útil del subproducto, aspectos clave para la conservación y procesamiento industrial.

El contenido de cenizas en la muestra de material seco de maní crudo con cáscara se cuantificó en 2,25 g/100 g, valor que reflejó la presencia de minerales esenciales y se encontró dentro de los parámetros reportados por Wang (2016), con un rango de 1,75 a 2,58 g/100 g. Este contenido indicó un aporte importante de micronutrientes fundamentales para diversas funciones metabólicas y para mantener una buena salud. Por tanto, el valor de cenizas confirmó que el subproducto agroindustrial de maní tuvo un perfil mineral competitivo que complementó su aporte energético y proteico, reforzó su valor nutritivo y funcional, y lo hizo apto para su uso en formulaciones alimentarias y aplicaciones industriales.

Determinación de las propiedades nutricionales de las formulaciones evaluadas.

De las diez formulaciones desarrolladas, se seleccionaron dos tortas veganas de zanahoria que incorporaron harinas derivadas de subproductos agroindustriales para su análisis fisicoquímico y funcional detallado: la formulación F2 y la formulación F7. Los resultados analíticos de ambas formulaciones se presentaron en la Tabla 13, reflejando las características propias derivadas del uso de estas harinas alternativas en la matriz del producto.

Tabla 13.

Propiedades nutricionales determinadas para las muestras de tortas analizadas: F2 Y F7

Resultados Análisis Fisicoquímico De Las Muestras De Tortas F2 Y F7							
Formulaciones	Parámetros						
	Contenido proteico	Caloría	Carbohidrato	Grasa Total	Contenido Humedad	Contenido Ceniza	Fibra Dietaria Total

<i>F2.</i>	4,27 g/100g	255,6 kcal/100g	35,11 g/100g	10,9 g/100g	43,10 g/100g	6,62 g/100g	2,4420 g/100g
<i>F7</i>	3,03 g/100g	297,5 kcal/100g	45,24 g/100g	11,6 g/100g	39,40 g/100g	0,728 g/100g	3,1520 g/100g

Nota. La tabla 13 presenta el resultado de los análisis realizados para la determinación de las propiedades nutricionales de la F2: Torta vegana de zanahoria con 33% harina orujo de Uva (*Vitis vinifera*) y la F7: torta vegana de zanahoria con incorporación del 10,99% de harinas de orujo de Uva (*Vitis vinifera*), cascara de piña (*Ananás comosus*) y maní crudo con cascara (*Arachis hypogaea*) respectivamente. *Fuente.* Autoría propia.

La Tabla 13 reveló que la formulación F7 superó a F2 en calorías (297,5 vs. 255,6 kcal/100 g), carbohidratos (45,24 vs. 35,11 g/100 g), grasa total (11,6 vs. 10,9 g/100 g) y fibra dietaria total (3,1520 vs. 2,4420 g/100 g), aunque registró menores cantidades de proteína (3,03 vs. 4,27 g/100 g), humedad (39,40 vs. 43,10 g/100 g) y cenizas (0,728 vs. 6,62 g/100 g). Estas variaciones pusieron de manifiesto el efecto de las harinas alternativas provenientes de subproductos agrícolas: la formulación F2 sustituyó un 33% de la harina de trigo con harina de orujo de uva (*Vitis vinifera*), caracterizada por su alto contenido mineral y excelente retención de agua, mientras que la F7 reemplazó este mismo porcentaje total, pero distribuido en tres tipos de harinas: orujo de uva (*Vitis vinifera* -10,99%), cáscara de piña (*Ananas comosus* -10,99%) y maní crudo con cáscara (*Arachis hypogaea* -10,99%), lo que aportó al contenido de grasa, carbohidratos y fibra e incrementó su densidad energética.

En consecuencia, los resultados destacaron que F2 poseyó significativamente más proteína (alrededor de un 41% superior) en comparación con F7. Esto indicó que la harina de

orujo de uva, en la proporción de F2, enriqueció más la matriz proteica que la combinación de F7, dado su perfil proteico más concentrado frente a la dilución generada por las harinas mixtas. En comparación con antecedentes bibliográficos, las formulaciones F2 y F7 mostraron un contenido proteico inferior al reportado para una torta vegana elaborada con suspensión de proteína de soya al 6% y una emulsión gelificada de aceite de girasol alto oleico (5,1 g/100 g) (Ansorena et al., 2022), así como el de una torta tradicional no vegana de zanahoria (15,60 g/100 g) (APATA et al., 2024); esta diferencia se explicó por la incorporación específica de proteína de soya y huevos en aquellas matrices, ingredientes excluidos en las alternativas veganas del presente estudio.

Las calorías evidenciaron contrastes relevantes: F7 ofreció un mayor valor energético que F2, asociado a un 29% más de carbohidratos y un ligero aumento en grasa total, atribuible principalmente a la harina de maní, ya que su análisis en base seca evidenció un 25% más de grasa que la harina de orujo de uva, justificando así el incremento calórico observado. No obstante, respecto al contenido calórico de la torta vegana de Ansorena et al. (2022) (274 kcal/100 g), la formulación F2 resultó superior mientras que F7 se posicionó por debajo; en carbohidratos (56,8 g/100 g), ambas formulaciones resultaron inferiores, aunque en grasa total (4,5 g/100 g) la superaron. En contraste, al compararse con la torta no vegana de zanahoria de Apata et al., (2024), los carbohidratos (42,20 g/100 g) fueron inferiores en F2 y superiores en F7, en tanto que su grasa total (25,0 g/100 g) sobrepasó los valores de las formulaciones de este estudio.

El contenido de humedad fue mayor en F2 (3,7% superior a F7), lo que sugirió una mejor capacidad retentiva del orujo de uva en esa concentración o una menor absorción por los ingredientes de F7, con implicaciones directas en la textura final, vida útil y percepción sensorial

del producto. Ambas formulaciones sobrepasaron los valores reportados para la torta vegana (32,0 g/100 g) (Ansorena et al., 2022) y la torta no vegana de zanahoria (15,60 g/100 g) (APATA et al., 2024).

Por otra parte, F2 registró un contenido de cenizas notablemente superior (más de 9 veces mayor), lo que reflejó una mayor riqueza mineral atribuible a la harina de orujo de uva pura frente a la mezcla empleada en F7. En comparación con los valores reportados por Ansorena et al., 2023 (1,6 g/100 g) & Apata et al., (2024) (2,40 g/100 g en torta de zanahoria no vegana), la formulación F2 los sobrepasó mientras que F7 se situó por debajo.

Por último, la fibra dietaria total fue mayor en F7 (3,1520 g/100 g vs. 2,4420 g/100 g en F2), atribuible a la diversidad de fibras vegetales insolubles aportadas por sus harinas combinadas, como el orujo de uva, la cáscara de piña y maní crudo con cáscara, las cuales promovieron beneficios digestivos significativos.

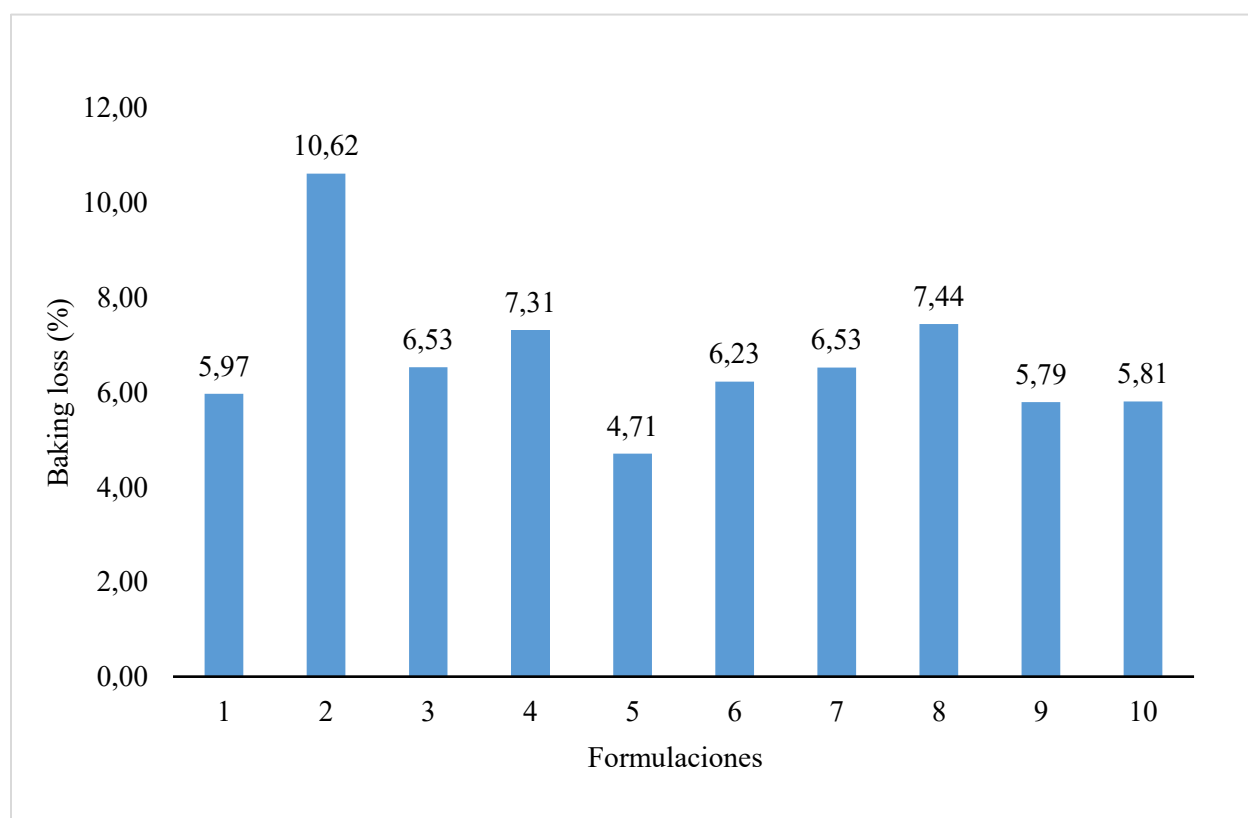
Según los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de las muestras de tortas, ambas formulaciones representaron innovadoras alternativas veganas enriquecidas con harinas de subproductos agroindustriales; F7 optimizó energías, carbohidratos, grasas y fibra mediante su mezcla tripartita mientras que F2 priorizó proteínas y minerales con su harina de orujo de uva. Dichos perfiles diferenciales orientaron el diseño racional de reposterías veganas según objetivos nutricionales y sensoriales establecidos.

Determinación de la pérdida de horneado de formulaciones realizadas.

La pérdida de horneado de las diez formulaciones evaluadas osciló aproximadamente entre 4,7% y 10,6%, tal como se muestra en la Figura 6, lo que evidenció una variabilidad tecnológica significativa en cuanto a la retención de agua y el rendimiento del producto final.

Figura 6.

Pérdida de horneado en formulaciones de torta vegana funcional.



Nota. La gráfica muestra el porcentaje de pérdida de horneado observado en cada una de las formulaciones evaluadas. Los valores se expresan en porcentaje (%). *Fuente.* Autoría propia

Según los resultados obtenidos en la Figura 6, la formulación 2 (F2) presentó la mayor pérdida de horneado, ubicándose en el extremo superior del rango. Esto sugirió una estructura de

miga que facilitó la salida del vapor de agua durante el horneado. Esta mayor pérdida estuvo relacionada con el tipo y proporción de harina de subproducto usada, el contenido de sólidos totales en la masa y la interacción entre fibra, proteínas y almidones, factores que condicionaron la capacidad de retención de agua en la matriz (Aydogdu et al., 2018; Zuñiga-Martínez et al., 2022).

A primera vista, pareció contradictorio que F2 exhibiera a la vez la mayor pérdida de horneado y un contenido final de humedad elevado (43,10 g/100 g). No obstante, estos resultados fueron compatibles si se analizó la dinámica de migración de agua durante y tras el horneado. Estudios en panificación indicaron que, aunque el producto perdió una porción significativa de humedad en el horno, su interior conservó niveles altos de agua que migraron hacia la superficie al enfriarse (Macoto C. & Cristian J., 2014) esto implicó que F2 partió de una masa con mayor absorción inicial de agua debido a las características de la harina, lo que se reflejó en una pérdida porcentual alta durante el horneado, pero mantuvo suficiente agua en su estructura interna para ofrecer un contenido de humedad final superior a otras formulaciones. Así, una mayor pérdida de horneado no significó necesariamente un producto seco, sino que F2 liberó más agua partiendo de una masa más hidratada.

Además, los resultados fisicoquímicos de F2 revelaron: 4,27 g/100 g de proteína, 35,11 g/100 g de carbohidratos, 10,9 g/100 g de grasa total, 43,10 g/100 g de humedad, 6,62 g/100 g de ceniza y 2,44 g/100 g de fibra dietaría total. Esta composición sugirió una matriz con sólidos no solubles relevantes (cenizas y fibra), que interactuaron con el agua y modificaron su distribución entre agua “ligada” y “libre” en la torta. La fibra dietaría, incluso en cantidades moderadas, tendió a aumentar la capacidad de retención de agua, pero también generó una miga más abierta o porosa que facilitó la salida de vapor, dependiendo del tipo y tamaño de partícula de la fibra

(Aydogdu et al., 2018; Sreenath et al., 1996). Adicionalmente, el contenido de grasa total en F2 (10,9 g/100 g) contribuyó a una sensación de jugosidad y suavidad, ya que los lípidos recubrieron parte de las estructuras sólidas, reduciendo la percepción de sequedad pese a la elevada pérdida de horneado. Desde un punto de vista sensorial, esto se tradujo en una torta con textura húmeda, suave y agradable, aun cuando se registró un alto porcentaje de merma de peso durante el horneado (Tolve & Simonato, 2024).

Por otro lado, las formulaciones 5, 1, 9, 10 y 6 mostraron las pérdidas más bajas (entre 4,7% y 6,2%). Estos valores indicaron un equilibrio entre la capacidad de retención de agua de harinas ricas en fibra y el desarrollo de una estructura porosa que permitió la expansión de gases sin colapsar. La literatura señaló que harinas enriquecidas o compuestas pudieron reducir la pérdida de horneado gracias a la mayor absorción y retención de agua de los componentes fibrosos, siempre que la estructura proteica y la aireación no se vieran comprometidas. En este estudio, la variabilidad sugirió que algunas combinaciones de subproductos lograron este balance, mientras otras favorecieron una mayor deshidratación, posiblemente por diferencias en la estructura porosa, tamaño de partícula y distribución de humedad en el producto (Cappelli et al., 2021 & Menon et al., 2015).

Desde la perspectiva de calidad, niveles moderados de pérdida de horneado se asociaron con migas estables, contenido de humedad adecuado y vida útil razonable, ya que una pérdida controlada de agua contribuyó a reducir la actividad del agua, minimizando el riesgo microbiológico. Por el contrario, pérdidas excesivas generaron productos secos con textura más firme y rendimientos bajos, mientras que pérdidas demasiado bajas indicaron productos con alta humedad, susceptibles a deterioro y con sensación de masa cruda. En este sentido, los valores intermedios e inferiores observados en varias formulaciones fueron prometedores, pues

sugirieron bizcochos jugosos sin comprometer la estabilidad durante el almacenamiento (Lee et al., 2023; Macoto C. & Cristian J., 2014).

Con este enfoque, la formulación con la pérdida de horneado más baja (4,71%) se posicionó como la opción más competitiva, al combinar un rendimiento eficiente con alta capacidad de retención de agua durante el proceso térmico. Esta característica fue especialmente valiosa para la industria, ya que además de reducir mermas tecnológicas, favoreció una textura agradable y una percepción de frescura prolongada en el producto. No obstante, se recomienda evaluar esta ventaja en conjunto con resultados de textura, color, composición nutricional y análisis sensorial, para asegurar que la formulación seleccionada ofrezca el mejor balance entre rendimiento y calidad integral del bizcocho enriquecido con harinas de subproductos.

Determinación de compuestos fenólicos totales de las formulaciones realizadas.

Los compuestos fenólicos totales se determinaron mediante el método colorimétrico, utilizando ácido gálico como estándar de calibración. Para obtener la curva de calibración, se prepararon soluciones estándar de ácido gálico en concentraciones crecientes y se tomaron tres medidas de absorbancia por cada punto experimental. Con estos datos, se determinó la desviación estándar y el promedio, lo que garantizó la exactitud de los datos.

La gráfica de la curva de calibración obtenida se mostró en el Apéndice (A). Esta reveló una correlación directa y lineal entre la absorbancia registrada y la cantidad de ácido gálico utilizada. El modelo lineal ajustado presentó un coeficiente de correlación adecuado. La confiabilidad del procedimiento para la determinación cuantitativa de compuestos fenólicos se corroboró con la obtención de la ecuación de la recta $y = 9,8566x + 0,005$ con un coeficiente

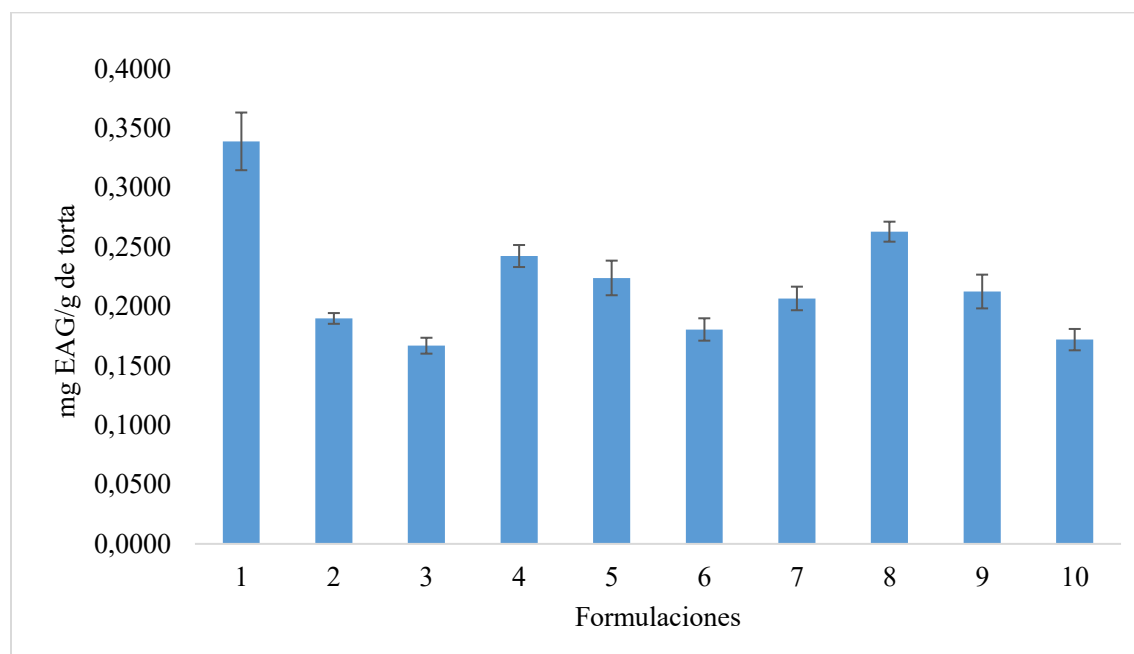
de determinación $R^2 = 0,9989$. Esto evidencia una correlación muy buena entre el nivel del estándar y la absorbancia medida.

La concentración de compuestos fenólicos totales en las muestras de tortas se estableció a partir de esta ecuación, y los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo (mg EAG/g) de muestra.

A continuación, en la Figura 7 muestra la distribución de los compuestos fenólicos totales por gramo de torta en las diferentes formulaciones analizadas, junto con barras que indicaron la desviación estándar, lo que permitió observar la variabilidad entre las réplicas.

Figura 7.

Grafica de compuestos fenólicos por gramos de torta en cada formulación



Nota. La grafica presenta el valor en promedio de compuestos fenólicos obtenido en cada formulación con su respectiva desviación estándar. *Fuente.* Autoría propia

El análisis de compuestos fenólicos totales mostró variaciones entre las diez formulaciones analizadas, lo que resaltó cómo la composición de subproductos agroindustriales impactó directamente en la capacidad antioxidante de las tortas. La formulación 1 (33 g de H. cáscara de piña) presentó el valor más elevado de compuestos fenólicos ($0,3389 \pm 0,024$ mg EAG/g de torta). La concentración obtenida de fenoles en el extracto indicó que la torta correspondiente a esta formulación retuvo una cantidad moderada de compuestos fenólicos, los cuales, al integrarse con la masa de la torta, resultaron en un potencial bioactivo y, por ende, una gran capacidad antioxidante.

Seguidas por las formulaciones 8 y 4, que presentaron valores relativamente altos ($0,2629 \pm 0,008$ mg EAG/g y $0,2424 \pm 0,009$ mg EAG/g de torta), lo que confirmó que la harina a partir de cáscara de piña fue el subproducto con mayor contenido de fenoles. Estos resultados concordaron con estudios sobre subproductos de la piña, como lo indicó Mala et al. (2024) en su estudio sobre la caracterización del polvo de cáscara de piña deshidratada (*Ananas comosus L.*) y su aplicación como nuevo ingrediente alimentario funcional en productos de galletas, donde la cáscara de piña mostró un alto contenido de compuestos fenólicos en las diferentes galletas con sustitución de harina a partir de cáscara de piña, obteniendo valores de TPC que variaron desde 155,60 hasta 334,41 mg GAE/100 g DW. Esto confirmó su potencial en compuestos fenólicos en alimentos funcionales como las tortas analizadas.

Las formulaciones 5, 7 y 9 presentaron valores de $0,2239 \pm 0,015$, $0,2066 \pm 0,010$ y $0,2125 \pm 0,014$ mg EAG/g respectivamente, como resultado de las combinaciones balanceadas de H. a partir de cáscara de piña, H. a partir de orujo de uva y H. a partir de maní crudo con cáscara.

Por otro lado, las formulaciones 2 y 6 mostraron valores de $0,1898 \pm 0,005$ mg EAG/g y $0,1805$ mg EAG/g, lo que indicó que las muestras analizadas conservaron parte de los antioxidantes presentes en la materia prima utilizada y en los subproductos agroindustriales incluidos.

Finalmente, las formulaciones 3 y 10 presentaron los valores más bajos del análisis ($0,1669 \pm 0,007$ y $0,1720 \pm 0,009$ mg EAG/g), lo que indicó que las formulaciones hechas con mayor cantidad de H. de maní crudo con cáscara contuvieron una menor cantidad de compuestos fenólicos. Esto no concordó con la literatura revisada sobre "*Peanut (Arachis hypogaea L.) flour and oilcake flour: Exploring the influence of roasting and varietal differences on proximal composition, elemental profiling, antimicrobial and antioxidant properties*" (Lakhlifi El Idrissi et al., 2024), que reportó resultados de TPC de $24,56 \pm 0,32$ mg EAG/g, valores relativamente más altos que los analizados en las tortas veganas. Todas las formulaciones mostraron desviaciones estándar bajas, lo que reveló la exactitud del método de Folin-Ciocalteu. Estos resultados mostraron claramente que el contenido de fenoles aumentó en las formulaciones que contuvieron más H. a partir de cáscara de piña, mientras disminuyó en aquellas con mayor cantidad de H. a partir de maní crudo con cáscara.

Validación estadística del Modelo.

La regresión ajustada para el diseño de mezcla permitió modelar la concentración de compuestos fenólicos en relación con las proporciones de H. de cáscara de piña, orujo de uva y maní crudo con cáscara. Se empleó un enfoque cuadrático que incluyó términos lineales e interacciones entre los diferentes componentes. Los resultados mostraron que el modelo explicó el 98,76% de la variabilidad ($R^2 = 0.9876$) con un alto ajuste de ($R^2 = 0.9721$) y una sólida

capacidad de predicción ($R^2 = 0.7399$) lo que demostró la exactitud y confiabilidad del modelo. El error estándar fue relativamente bajo ($S = 0.00868869$), lo que evidenció una buena concordancia entre los valores.

En cuanto a los coeficientes de regresión, la harina a partir de cáscara de piña presentó la mayor influencia positiva sobre la concentración de compuestos fenólicos (Coef. = 0,3391), seguida por el orujo de uva (Coef. = 0,1938) y el maní crudo con cáscara (Coef. = 0,1636). Se observaron interacciones negativas entre la harina a partir de cáscara de piña y orujo de uva (Coef. = -0,0841, $P = 0,095$), así como entre la harina a partir de cáscara de piña y maní crudo con cáscara (Coef. = -0,1265, $P = 0,031$), lo que indicó efectos opuestos al combinar estos componentes.

El análisis de varianza (ANOVA) confirmó la significancia del modelo ($F = 63,63$, $P = 0,001$). En cuanto a los efectos lineales, se obtuvo $F = 128,34$, $P = 0,000$; en términos cuadráticos, el efecto fue marginal ($F = 5,14$, $P = 0,074$). Las interacciones específicas mostraron distintos grados de relevancia, destacando la de harina a partir de cáscara de piña y maní crudo con cáscara ($F = 10,73$, $P = 0,031$), seguida de harina a partir de cáscara de piña y orujo de uva ($F = 4,71$, $P = 0,091$). Por el contrario, la interacción entre H. de orujo de uva y maní crudo con cáscara no presentó relevancia ($F = 0,02$, $P = 0,893$), lo que significó que su mezcla no afectó de manera significativa la respuesta.

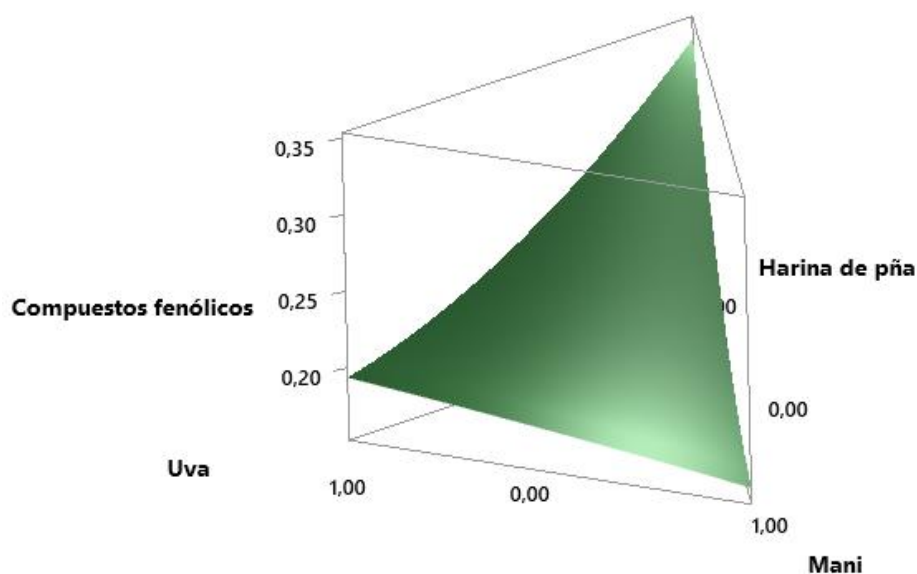
Con base en estos hallazgos, se procedió a ilustrar el comportamiento del contenido fenólico en relación con la cantidad de subproducto agroindustrial utilizado en cada formulación, mediante diversas herramientas gráficas de diseño de mezcla. Estas gráficas facilitaron una comprensión integral de cómo interactuaron la H. de cáscara de piña, H. de orujo de uva y H. de

maní crudo con cáscara en cada formulación, permitiendo detectar patrones, áreas de mayor efectividad y posibles limitaciones entre ingredientes.

Las gráficas de superficie y contorno proporcionaron una representación del comportamiento de los compuestos fenólicos en el sistema, mientras que los análisis de residuos y la gráfica de rastreo permitieron evaluar la precisión del modelo y la influencia relativa de cada componente. Por último, la gráfica de optimización compiló toda la información necesaria para identificar la combinación más efectiva de subproductos según el contenido fenólico deseado. A continuación, se presentaron estas gráficas junto con su interpretación correspondiente.

Figura 8.

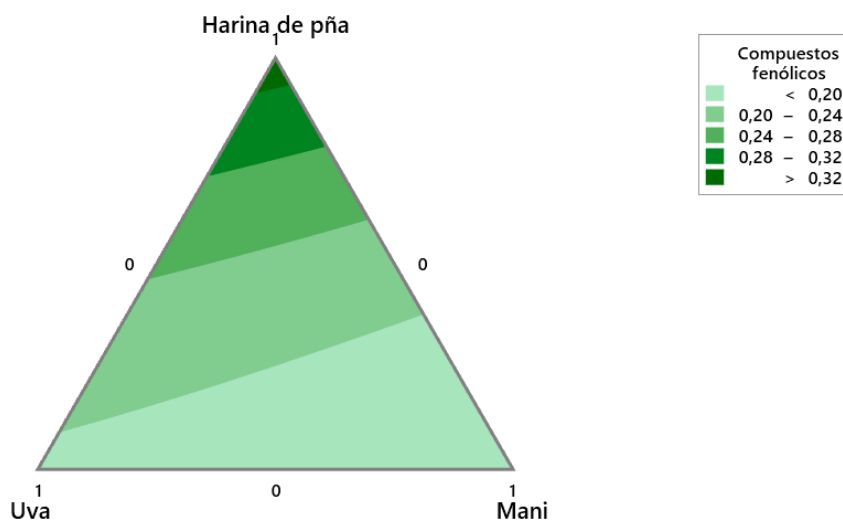
Gráfica de superficie de mezcla de compuestos fenólicos.



Nota. La gráfica mostró la distribución tridimensional del contenido fenólico en función de las proporciones de los tres subproductos agroindustriales. La curvatura observada indicó áreas donde se concentraron valores más altos, principalmente asociados a mayores niveles de H. de cáscara de piña. *Fuente.* Autoría propia

Figura 9.

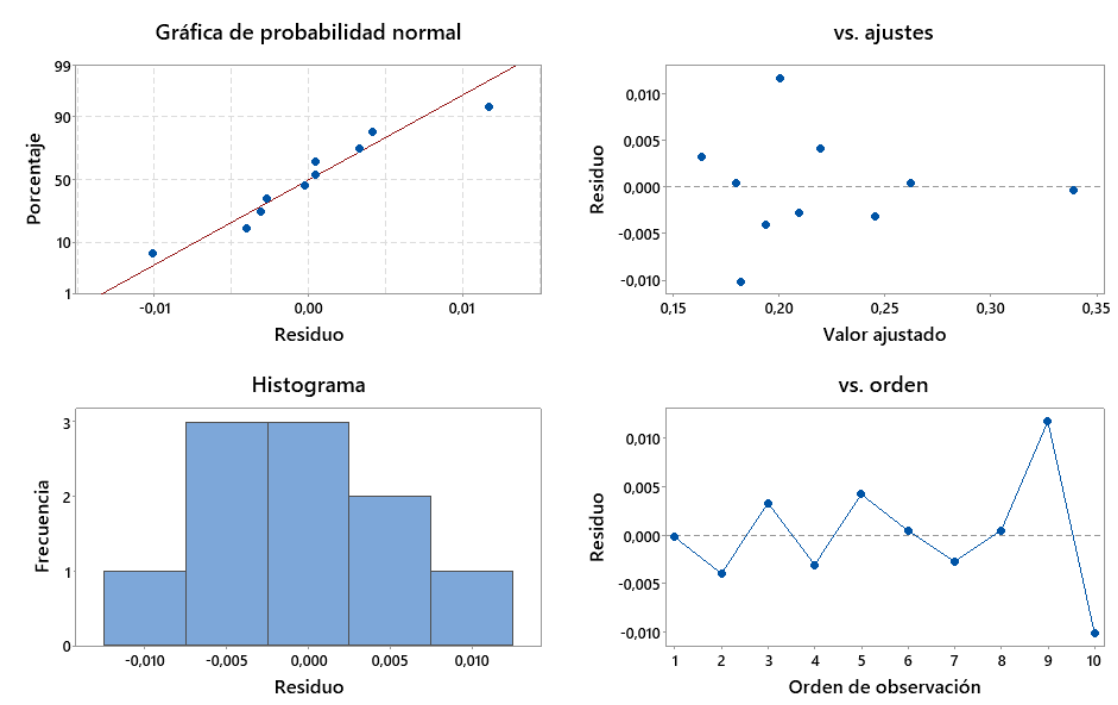
Grafica de contorno de mezcla para compuestos fenólicos



Nota. El gráfico permitió visualizar las regiones del espacio de mezcla que generaron mayores concentraciones de compuestos fenólicos. Las zonas más intensas señalaron combinaciones óptimas entre piña y orujo de uva, mientras que las regiones más suaves reflejaron formulaciones en las que predominó el maní crudo con cáscara. *Fuente.* Autoría propia

Figura 10.

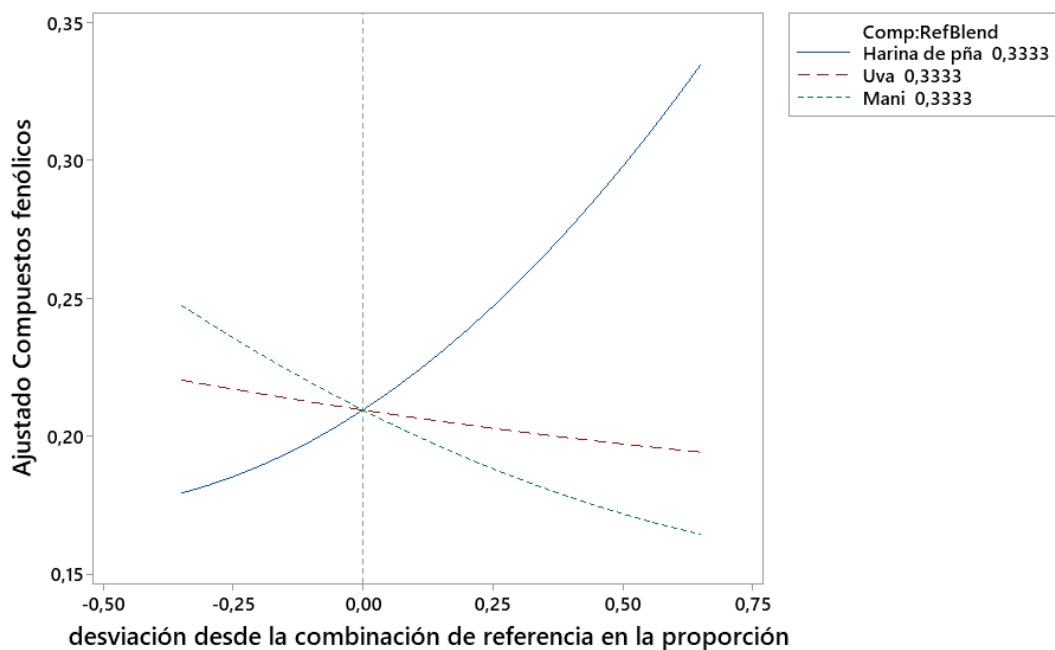
Grafica de residuos para compuestos fenólicos.



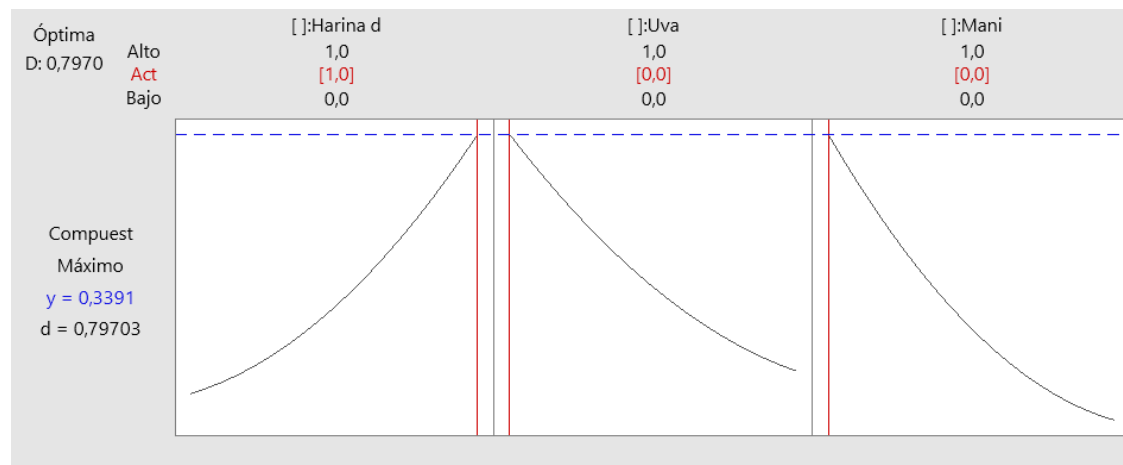
Nota. El análisis de residuos confirmó la adecuación del modelo ajustado, ya que los puntos se distribuyeron sin patrones definidos y se mantuvieron próximos a la línea de referencia. Esto indicó que no existieron problemas de heterocedasticidad ni desviaciones sistemáticas, y que el modelo describió correctamente el comportamiento experimental. *Fuente.* Autoría propia

Figura 11.

Grafica de rastreo de respuesta de Cox



Nota. La gráfica de rastreo evidenció la sensibilidad del contenido fenólico ante cambios en las proporciones de cada componente. Se observó que la pendiente más pronunciada fue la de la H. cáscara de piña, lo que reflejó su efecto positivo sobre la respuesta, mientras que el maní crudo con cáscara mostró una menor influencia dentro del sistema. *Fuente.* autoría propia

Figura 12.*Grafica de optimización*

Nota. La gráfica integró los resultados del modelo y permitió identificar la mezcla que maximizó el contenido fenólico. El valor de deseabilidad obtenido indicó que las formulaciones óptimas correspondieron a aquellas con una mayor proporción de H. cáscara de piña y una contribución equilibrada de H. orujo de uva. *Fuente.* Autoría propia.

El modelo de mezcla permitió comprender la interacción entre los tres subproductos agroindustriales (H. de cáscara de piña, orujo de uva y maní crudo con cáscara) en el total de compuestos fenólicos presentes en las formulaciones de tortas veganas. La gráfica de superficie mostró un aumento considerable de contenido fenólico en las formulaciones con mayor cantidad de harina de cáscara de piña, lo cual se alineó con los valores experimentales identificados en las formulaciones 1, 4 y 8. Este comportamiento se validó con la gráfica de contorno, donde las zonas de mayor intensidad se concentraron en mayores cantidades de harina a partir de cáscara de piña, mientras que los valores disminuyeron a medida que aumentó el contenido de harina a partir de maní crudo con cáscara.

Por otro lado, la gráfica de residuos indicó la validez estadística del modelo al reflejar una distribución aleatoria y uniforme alrededor de la línea de referencia, sin patrones o tendencias sistemáticas. Esto respaldó la inexistencia de heterocedasticidad y reafirmó la calidad del ajuste obtenido ($R^2 = 0.9876$). Tal resultado sugirió que las predicciones del modelo fueron congruentes con los valores experimentales, brindando un fundamento sólido para la interpretación de la respuesta en el contexto de mezcla. La gráfica de rastreo ilustró de manera clara la influencia relativa de cada ingrediente, destacando que la harina de cáscara de piña tuvo la pendiente más marcada y, por consiguiente, la mayor contribución al aumento del contenido fenólico, seguido del orujo de uva con un efecto positivo moderado, mientras que el maní crudo con cáscara mostró la menor sensibilidad, lo cual fue coherente con su menor aporte en las formulaciones experimentales.

Por último, la gráfica de optimización reunió los hallazgos del modelo y estableció la combinación más adecuada para maximizar la respuesta, indicando que las formulaciones con altas proporciones de harina de cáscara de piña junto con cantidades equilibradas de orujo de uva presentaron la mayor deseabilidad para alcanzar un contenido fenólico alto. Esto coincidió con los comportamientos observados en las formulaciones reales, corroborando que la cáscara de piña fue el subproducto con el mayor potencial bioactivo en el sistema analizado.

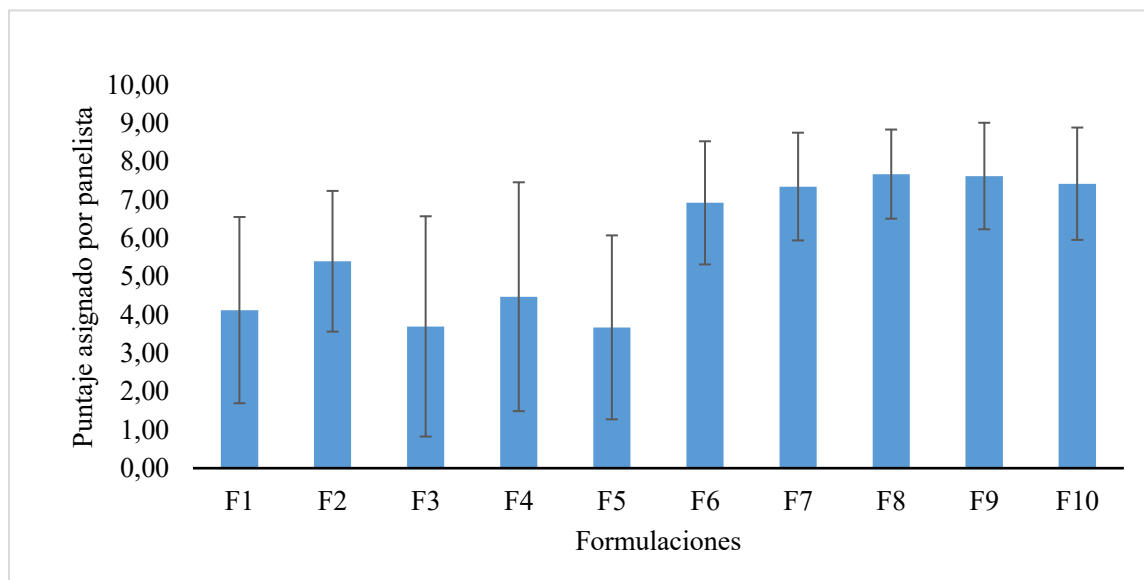
Evaluación Sensorial de las formulaciones realizadas.

Los resultados de la evaluación sensorial de las diez formulaciones de torta de zanahoria vegana, elaboradas con harinas de cáscara de piña, orujo de uva y maní crudo con cáscara, mostraron una clara diferenciación en la percepción de los atributos sabor, aroma, color, textura y aceptación global por parte de los 40 panelistas no entrenados, quienes utilizaron una escala

hedónica de 9 puntos donde 1 representaba “me disgusta mucho” y 9 “me gusta mucho”; tal como se mostraron en las siguiente figuras.

Figura 13.

Evaluación sensorial del atributo sabor en las diferentes formulaciones de torta vegana



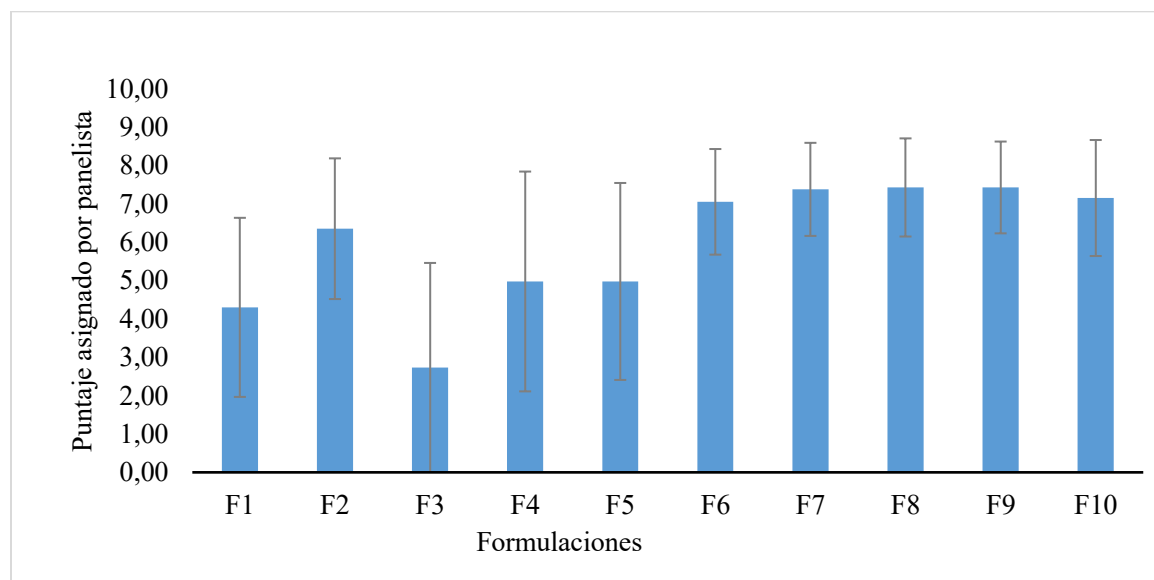
Nota. La Figura 13 presentó los puntajes promedio de sabor de las diez formulaciones de torta de zanahoria vegana evaluadas en escala hedónica de 9 puntos. Se observó un aumento progresivo de la aceptabilidad al pasar de formulaciones con una sola harina dominante a mezclas equilibradas de las tres harinas. *Fuente.* Autoría propia.

En la gráfica de sabor se observó que las formulaciones iniciales, como F1, F2, F3, F4 y F5, habían recibido puntuaciones bajas a moderadas, generalmente cercanas a la zona central de la escala hedónica, lo que indicaba que los consumidores percibieron estos productos con agrado limitado, con algunos niveles de indiferencia o incluso ligera desaprobación; en particular, las formulaciones con una sola harina en alta proporción, como F1 (predominio de harina de cáscara de piña) y F3 o F5 (con alto contenido de harina de maní u orujo), habían mostrado sabores

menos equilibrados, con posibles notas intensas o residuales que no resultaron del todo agradables para la mayoría de panelistas. A medida que se avanzó hacia las formulaciones F6, F7, F8, F9 y F10, las gráficas reflejaron un incremento marcado en los promedios de sabor, superando el valor de 7 en la escala de 9 puntos; esto evidenció que las mezclas ternarias, donde ninguna harina predominó de forma extrema, habían generado perfiles de sabor más armónicos, con menor sensación de amargor, astringencia o sabores extraños, lo que se tradujo en un mayor gusto por el producto. Entre todas, F10, F9 y especialmente F8 se destacaron en la gráfica de sabor como las formulaciones que habían alcanzado el mayor nivel de agrado con un promedio $7,68 \pm 1,163$, lo que indica que casi todos los jueces puntuaron cerca de 7–8, con buena aceptación y consenso, lo que confirmó que la combinación de una porción mayor de harina de maní con cantidades moderadas de cáscara de piña y orujo de uva había proporcionado un sabor más redondeado y aceptable para los consumidores.

Figura 14.

Evaluación sensorial del atributo aroma en las diferentes formulaciones de torta vegana

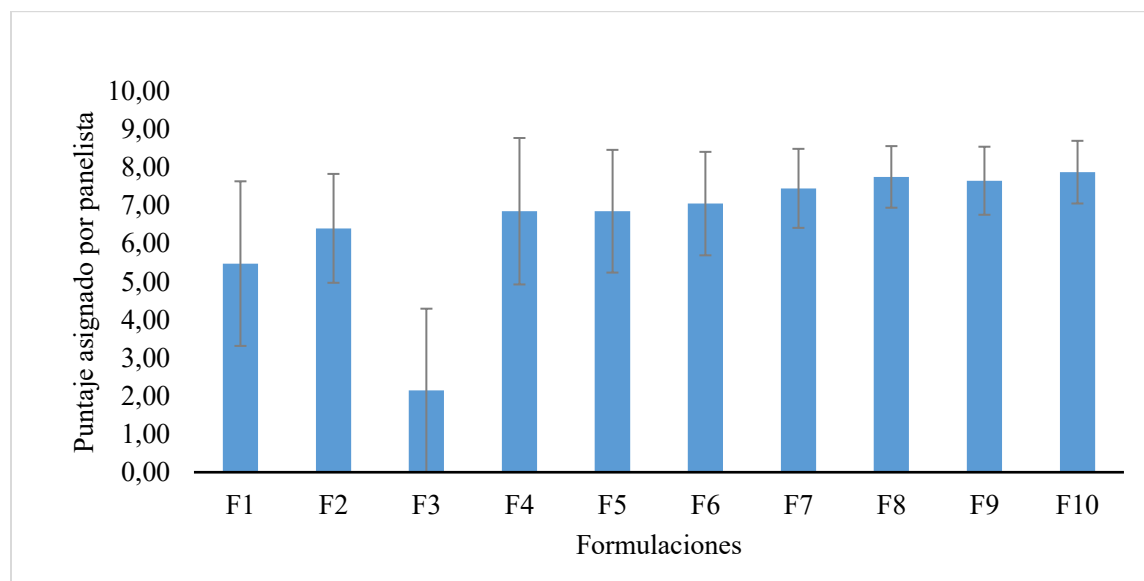


Nota. La Figura 14 mostró la valoración del atributo aroma para las diferentes formulaciones, evidenciando que las combinaciones ternarias con proporciones balanceadas obtuvieron calificaciones superiores a 7 puntos. Esto sugirió un perfil aromático más armónico y agradable en presencia de las tres harinas. *Fuente.* Autoría propia.

En cuanto al aroma, los resultados siguieron una tendencia muy similar, en la que las formulaciones con una sola harina o con proporciones muy desbalanceadas (como F1, F2, F3, F4 y F5) habían recibido calificaciones menores, ubicadas alrededor de valores intermedios en la escala, lo que indicó que los panelistas percibieron aromas menos agradables, quizá demasiado intensos, planos o con notas características de los subproductos que no se integraron bien con el perfil típico de una torta de zanahoria. Estas formulaciones iniciales parecieron presentar aromas que podían asociarse a materias primas poco refinadas o con presencia marcada de compuestos fenólicos y volátiles propios de las cáscaras y el orujo, lo que redujo la preferencia sensorial. Sin embargo, la gráfica mostró que, en las formulaciones F6, F7, F8, F9 y F10, los valores de aroma se habían elevado de forma consistente por encima de 7 puntos, evidenciando que las combinaciones equilibradas de harinas generaron un bouquet aromático más complejo y agradable, donde las notas de zanahoria, los componentes tostados del maní y las tonalidades frutales del orujo y la cáscara de piña se integraron mejor. F6, F8, F9 y F10 se habían destacado en esta gráfica como las formulaciones con aromas más aceptados, lo que sugirió que el ajuste de las proporciones de harina permitió atenuar olores fuertes o invasivos y potenciar un aroma más suave, dulce y congruente con la categoría de producto de repostería

Figura 15.

Evaluación sensorial del atributo color en las diferentes formulaciones de torta vegana.



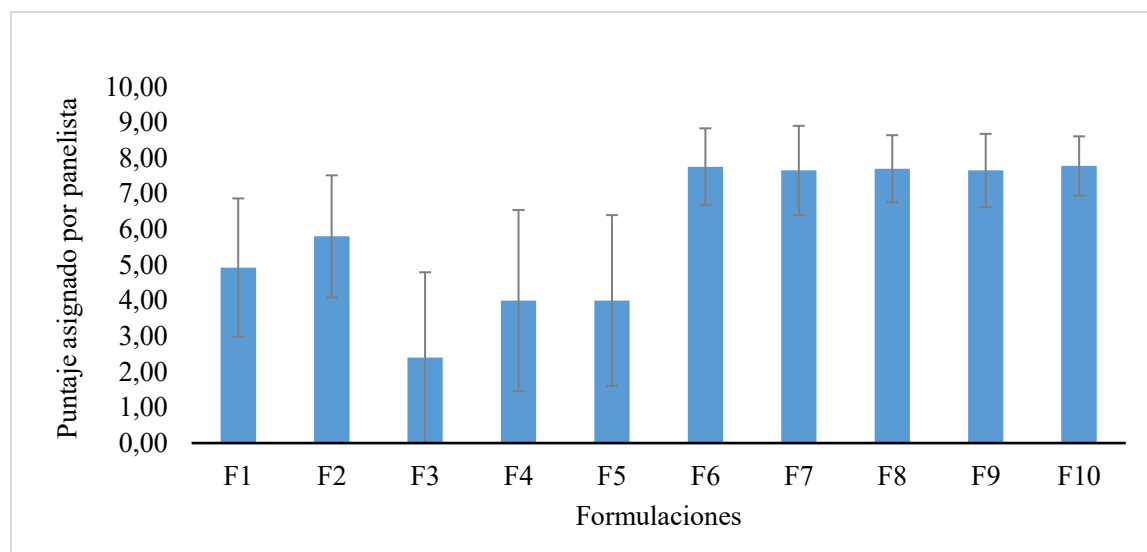
Nota. La Figura 15 representó los promedios de color de las formulaciones, donde todas mostraron valores aceptables y las mezclas equilibradas superaron los 7 puntos, excepto la F3. Estos resultados indicaron que la harina de maní con cascara en alta proporción no aportó una apariencia homogénea ni visualmente atractiva al producto final. *Fuente.* Autoría propia.

Respecto al color, los paneles asignaron puntuaciones medias a altas (entre 5,48 y 7,88) a casi todas las muestras, lo que indica que los productos fueron percibidos en general con tonalidades aceptables a buenas. Visualmente, la incorporación de harinas de subproductos agroindustriales aportó matices marrón-anaranjados propios de la combinación de zanahoria y harinas ricas en compuestos fenólicos que resultaron atractivos para los consumidores. Sin embargo, la formulación F3, con una proporción elevada de harina de maní crudo con cáscara, representó una excepción notable al obtener el valor más bajo (2,15), lo que reflejó un rechazo marcado y una desviación clara del estándar visual esperado.

Por otra parte, todas las formulaciones mostraron valores moderados a altos en color. Incluso aquellas con menor aceptación en sabor o aroma (como F1, F2, F4 y F5) alcanzaron puntuaciones de 5,5 a 6,8, mientras que las mezclas más equilibradas (F8, F9 y F10) superaron los 7,65. Esto sugiere que el balance de pigmentos de la cáscara de piña, el orujo de uva y el maní generó un aspecto uniforme, atractivo y consistente con un producto de panadería saludable, lo que probablemente influyó positivamente en las expectativas sensoriales previas a

Figura 16.

Evaluación sensorial del atributo textura en las diferentes formulaciones de torta vegana.

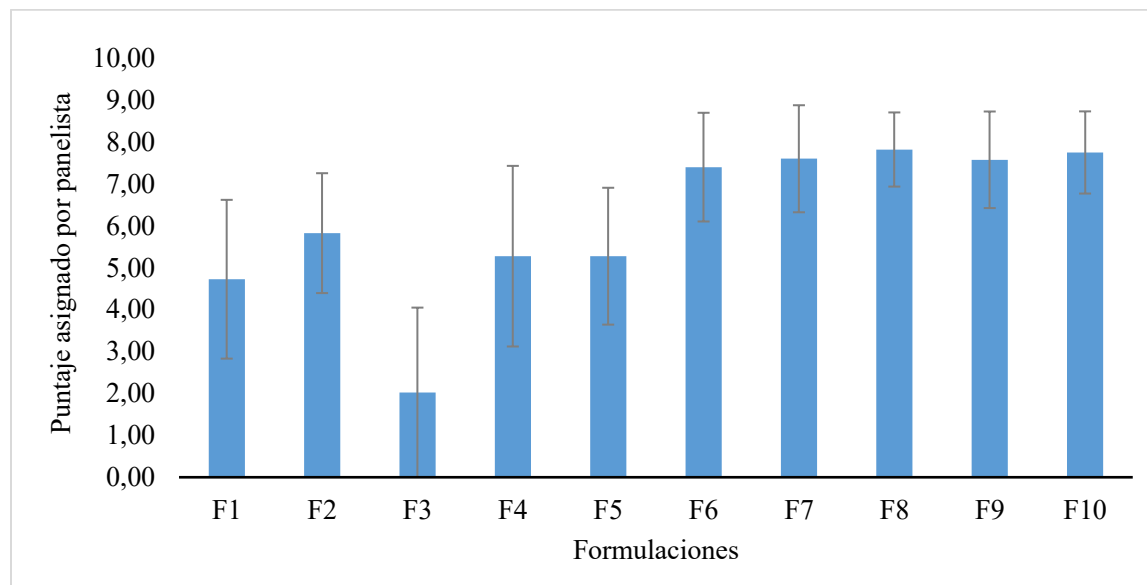


Nota. La Figura 16 ilustró la percepción de textura de las formulaciones, evidenciando una mejora marcada en los tratamientos que combinaron las tres harinas en proporciones más equilibradas. Las formulaciones 6 a 10 alcanzaron valores superiores a 7, asociados a una miga más suave y uniforme. *Fuente.* Autoría propia.

La textura mostró una variabilidad más marcada y fue uno de los atributos decisivos en la diferenciación entre formulaciones. En las primeras formulaciones, los valores obtenidos fueron moderados a bajos, destacándose F3, que presentó la menor aceptación en términos de textura, con un puntaje promedio claramente inferior al resto (2,40), lo que indicó una percepción desfavorable de su estructura o sensación en boca. Las formulaciones F1 y F2 alcanzaron valores intermedios, reflejando una textura aceptable, aunque todavía distante de las mejor evaluadas. A partir de F6, se observó un incremento en los puntajes, con valores cercanos o superiores a 7,5, lo que evidenció una alta aceptación sensorial por parte de los panelistas. La F6, F7, F8, F9 y F10 mostraron un comportamiento homogéneo, con escasas diferencias entre ellas y con desviaciones relativamente controladas, lo que sugirió una percepción consistente de la textura de los tratamientos que combinaron las tres harinas en proporciones más equilibradas. En particular, F10 alcanzó el mayor puntaje promedio, indicando que fue considerada la formulación con la textura más agradable.

Figura 17.

Evaluación sensorial del atributo aceptación global en las diferentes formulaciones de torta vegana



Nota. La Figura 17 resumió la aceptación global de las diez formulaciones, destacándose que las formulaciones 6 a 10 superaron los 7 puntos en la escala hedónica. Esto confirmó que el equilibrio entre las harinas de cáscara de piña, orujo de uva y maní mejoró la percepción integral del producto. *Fuente.* Autoría propia.

Finalmente, la aceptación global resumió el comportamiento de todos los atributos y permitió identificar con claridad las formulaciones preferidas: Las formulaciones iniciales presentaron niveles de aceptación bajos a moderados, destacándose F3 como la menos aceptada, con el puntaje promedio más bajo, lo que indicó una percepción global desfavorable del producto. F1 y F2 alcanzaron valores intermedios, reflejando una aceptación limitada, mientras que F4 y F5 mostraron puntajes similares entre sí, ubicándose en un rango medio que sugirió una evaluación aceptable, aunque sin generar una preferencia clara. A partir de la formulación F6 se observó un aumento notable en la aceptación global, con valores superiores a 7, lo que evidenció

una mejora significativa en la percepción general del producto por parte del panel sensorial. Las formulaciones F6, F7, F8, F9 y F10 presentaron puntajes elevados y relativamente homogéneos, indicando una alta aceptación y una respuesta consistente entre los evaluadores. En particular, F8 alcanzó el mayor puntaje promedio, posicionándose como la formulación mejor valorada en términos de aceptación global.

Validación estadística del Modelo.

Sabor

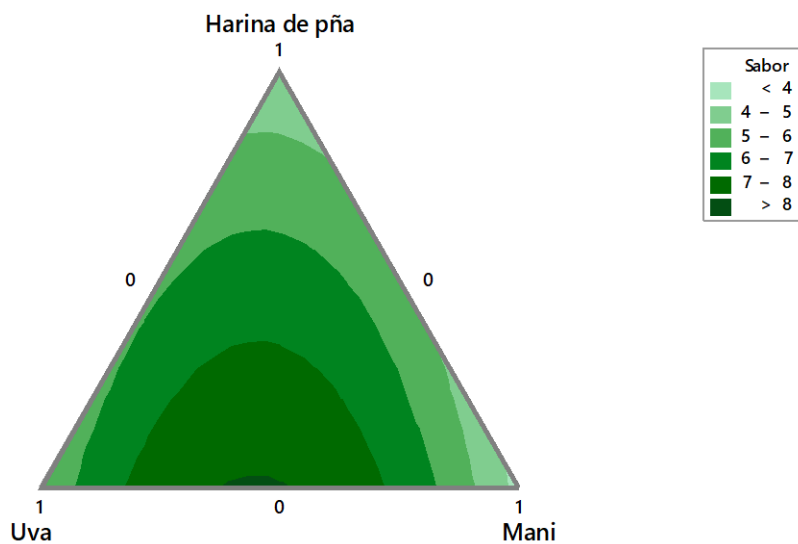
El análisis de varianza indicó que el modelo de regresión para mezclas no fue estadísticamente significativo para la variable sabor ($p = 0,453$). Tanto los efectos lineales como las interacciones entre los componentes no presentaron diferencias significativas, lo que sugirió que las variaciones en las proporciones de cáscara de piña, uva y maní no influyeron de manera determinante en la percepción del sabor por parte de los panelistas.

En la Figura 18 se mostró la gráfica de contorno para el sabor, en donde se apreció que el orujo de uva fue el componente determinante para obtener las mayores puntuaciones sensoriales, ubicándose la región óptima en formulaciones con alta proporción de este ingrediente. En contraste, el maní mostró un efecto negativo sobre la aceptabilidad del sabor, observándose las puntuaciones más bajas cerca de su vértice puro y en mezclas donde desplazó a la uva. Las cáscaras de piña presentaron un rol complementario, manteniendo valores intermedios de sabor en combinaciones balanceadas, pero sin alcanzar por sí solas la máxima aceptabilidad. Estos resultados sugirieron que, para maximizar el sabor, la formulación debió priorizar la uva como ingrediente principal, utilizar la piña como componente de estructura y limitar significativamente

la proporción de maní, el cual pareció generar una percepción sensorial menos favorable en el producto final.

Figura 18.

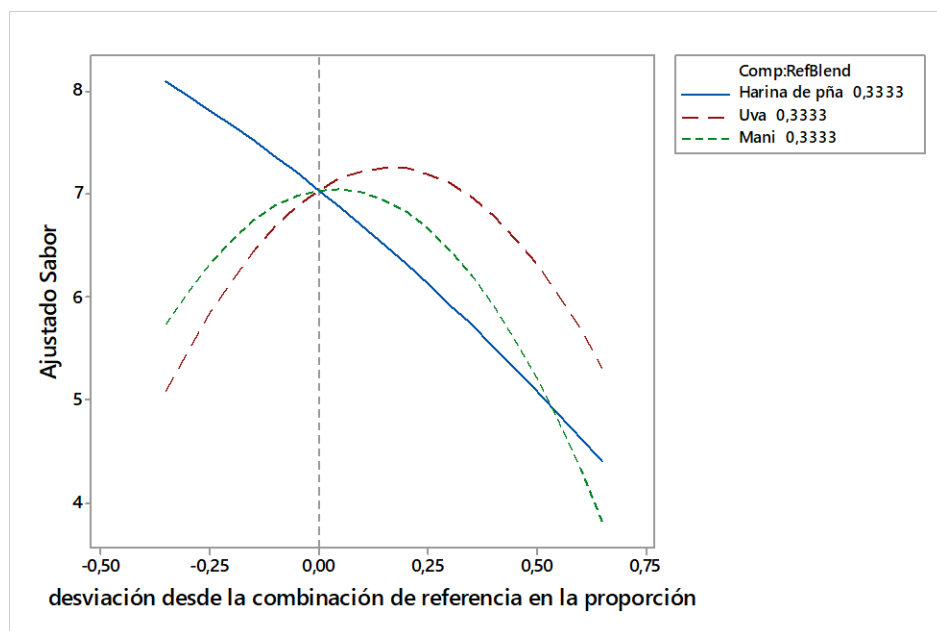
Grafica de contorno de mezcla para sabor



Nota. La grafica evidenció que las formulaciones que contenían proporciones combinadas harina de orujo de uva con maní crudo con cascara presentaron mayor aprobación en atributos como el sabor. *Fuente.* autoría propia

Figura 19.

Grafica de rastreo de respuesta de Cox



Nota. La gráfica de rastreo evidenció. *Fuente.* autoría propia

Aroma

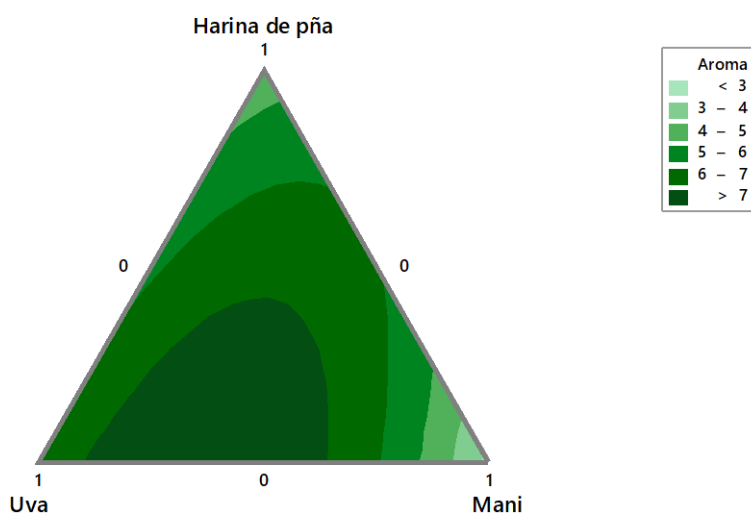
El análisis de varianza demostró que el modelo de regresión para las mezclas no presentó significancia estadística en relación con la variable del aroma ($p = 0.150$). Aunque los efectos lineales no fueron significativos, los términos cuadráticos demostraron una contribución mayor ($p = 0.120$). No obstante, se destacaron tendencias claras en el comportamiento de las diferentes componentes.

En la figura 20 se observó el gráfico de contorno para el aroma, donde las puntuaciones sensoriales más altas se encontraron en formulaciones con una mayor cantidad de orujo de uva, en especial en aquellas que contenían dosis bajas de harina de maní crudo con cáscara. La harina a partir de cáscara de piña presentó un efecto complementario con el orujo de uva. Esto se

confirmó con el gráfico de rastreo, ya que al aumentar la proporción de harina a partir de orujo de uva se mejoró la respuesta aromática, mientras que al aumentar las dosis de harina a partir de maní crudo con cáscara tendió a reducirse la aceptabilidad del aroma. Estos hallazgos sugirieron que la harina a partir de orujo de uva fue un ingrediente clave para potencializar el aroma del producto.

Figura 20.

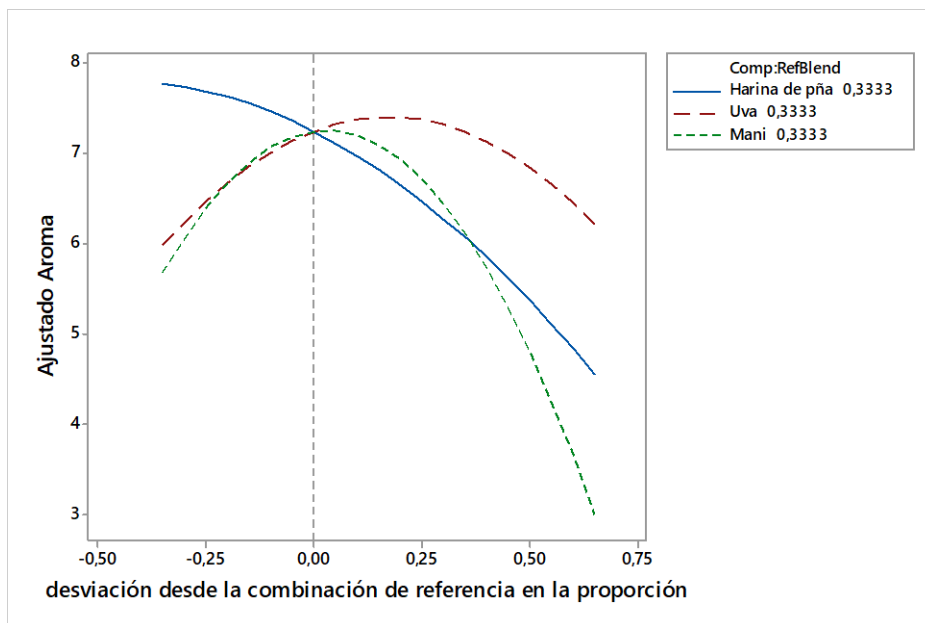
Grafica de contorno de mezcla para Aroma



Nota. La grafica evidenció que las formulaciones que contenían proporciones combinadas de orujo de uva presentaron mayor aprobación en atributos como Aroma. *Fuente.* autoría propia

Figura 21.

Grafica de rastreo de respuesta de Cox



Nota. La gráfica de rastreo evidenció el efecto individual de la variación en la proporción de cáscara de piña, orujo de uva y cáscara de maní sobre la respuesta aromática. Las curvas permitieron identificar la dirección y magnitud de la influencia de cada componente, evidenciando los ingredientes que contribuyeron positiva o negativamente a la percepción del aroma del producto. *Fuente.* autoría propia

Color

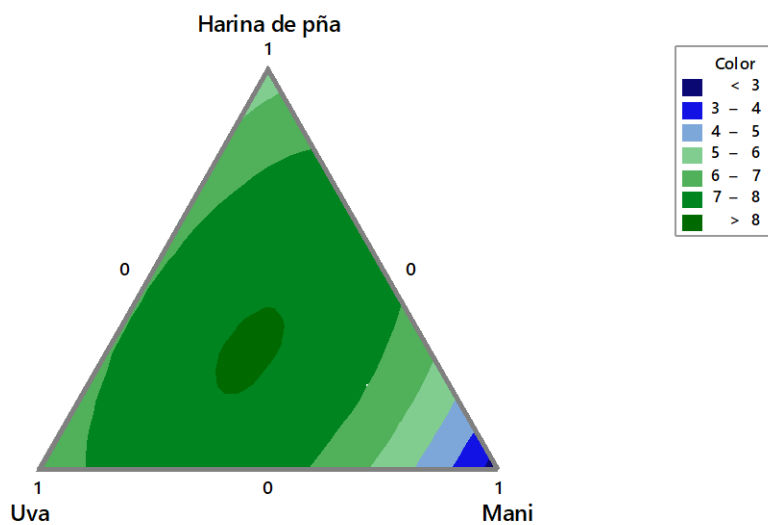
El análisis de varianza mostró que el modelo de regresión para las mezclas fue estadísticamente relevante en relación con el color ($p = 0,041$), lo que indicó que las proporciones de los diferentes componentes afectaron significativamente esta respuesta sensorial del producto.

En la Figura 22 se presentó el gráfico de contorno correspondiente al color, en el cual se observó una amplia zona óptima con altos valores de color en formulaciones intermedias, donde

la uva y la harina de piña estuvieron presentes en cantidades equilibradas. El maní tuvo un efecto totalmente opuesto cuando su proporción fue alta, lo que reflejó puntuaciones más bajas cercanas a su punto puro. El gráfico de rastreo respaldó que altos incrementos en la proporción de maní provocaron una notable caída en el color, mientras que la uva y la harina de piña mantuvieron patrones más consistentes. Estos hallazgos sugirieron que el color del producto se mejoró mediante formulaciones equilibradas, evitando altos niveles de maní.

Figura 22

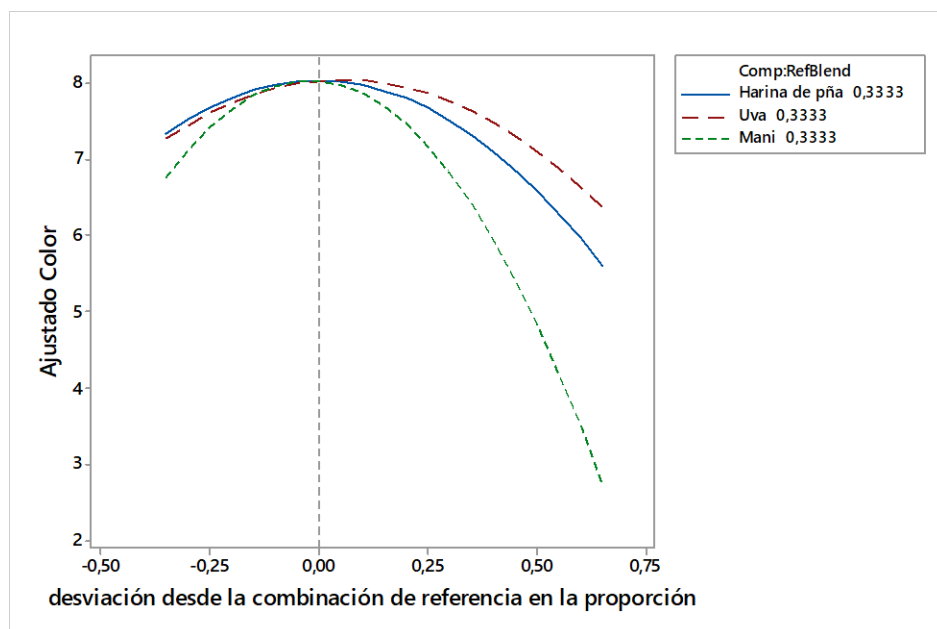
Grafica de contorno de mezcla para color



Nota. La grafica evidenció que las formulaciones que contenían proporciones combinadas de las tres harinas presentaron mayor aprobación en atributos de color. *Fuente.* autoría propia

Figura 23.

Grafica de rastreo de respuesta de Cox



Nota. La gráfica de rastreo evidenció de qué manera los cambios en las cantidades de cáscara de piña, orujo de uva y cáscara de maní afectan la forma en que el producto fue percibido visualmente. Se noto que el orujo de uva tiene el efecto más significativo de mejora sobre la intensidad y la aceptación del color, en tanto que aumento la cantidad de piña y maní produjo alteraciones menos marcadas en la reacción. *Fuente.* autoría propia

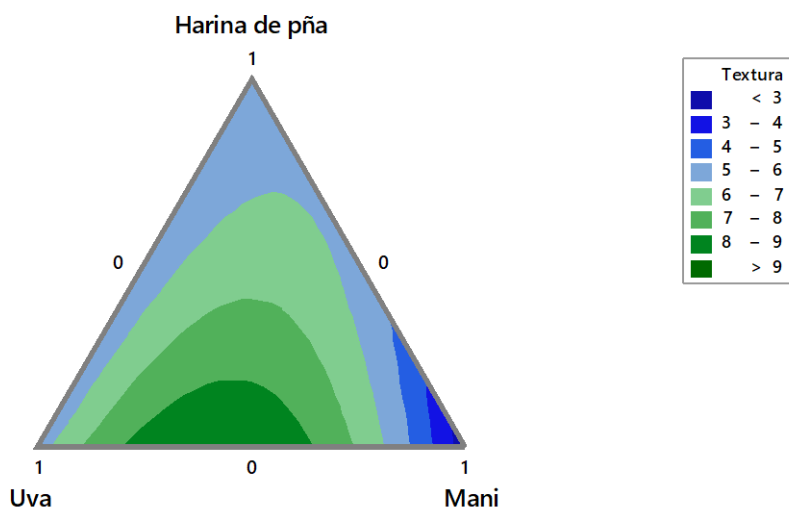
Textura

El análisis de regresión para las mezclas indicó que la textura del producto se vio afectada por las proporciones de harina de piña, uva y maní, mostrando un comportamiento característico de mezcla donde la respuesta no varió de forma estrictamente lineal con cada componente.

En la figura 24 se evidenció el gráfico de rastreo de textura, en donde se observó que, alrededor de la combinación de referencia (0,3333 de cada ingrediente), la uva y el maní presentaron curvas con un máximo cercano a ligeros incrementos sobre dicha proporción, mientras que la harina de piña mostró una tendencia descendente más marcada a medida que aumentó su participación. Esto sugirió que la textura se favoreció en formulaciones intermedias donde la uva y el maní se incrementaron moderadamente respecto a la mezcla base, evitando niveles altos de harina de piña, los cuales se asociaron con valores ajustados de textura más bajos. Esto se confirmó con el gráfico de contorno, en donde se evidenció una zona óptima en formulaciones con mezcla de harina a partir de orujo de uva y harina a partir del maní crudo con cáscara. En conjunto, los resultados apuntaron a que la mejor textura se logró con mezclas balanceadas que potenciaron la contribución conjunta de la uva y el maní, manteniendo controlada la proporción de harina de piña para no deteriorar la estructura percibida del producto.

Figura 24.

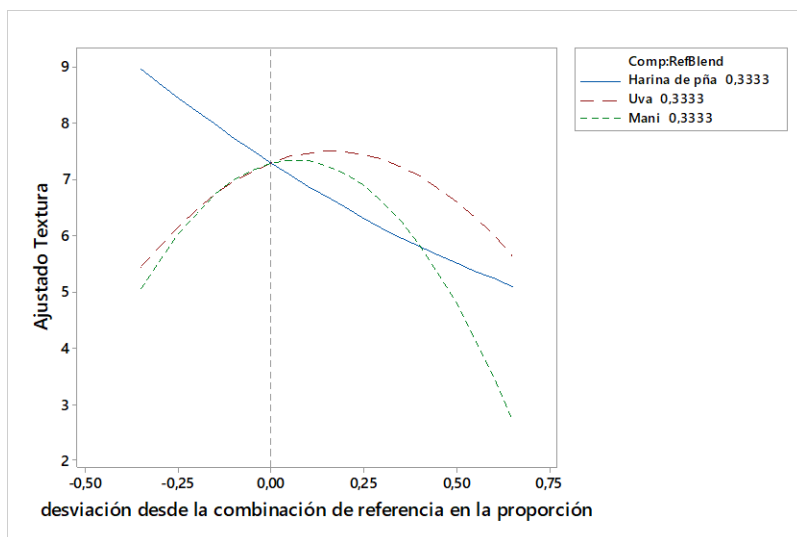
Grafica de contorno de mezcla para textura



Nota. La grafica evidenció que las formulaciones que contenían una sola harina en alta proporción presentaron menor aprobación en atributo de textura. *Fuente.* autoría propia

Figura 25.

Grafica de rastreo de respuesta de Cox



Nota. La gráfica de rastreo evidenció que la mejor aceptación en cuanto a textura se logra con formulaciones que combinan cantidades medias de orujo de uva y cáscara de maní. *Fuente.* autoría propia.

Aceptación global

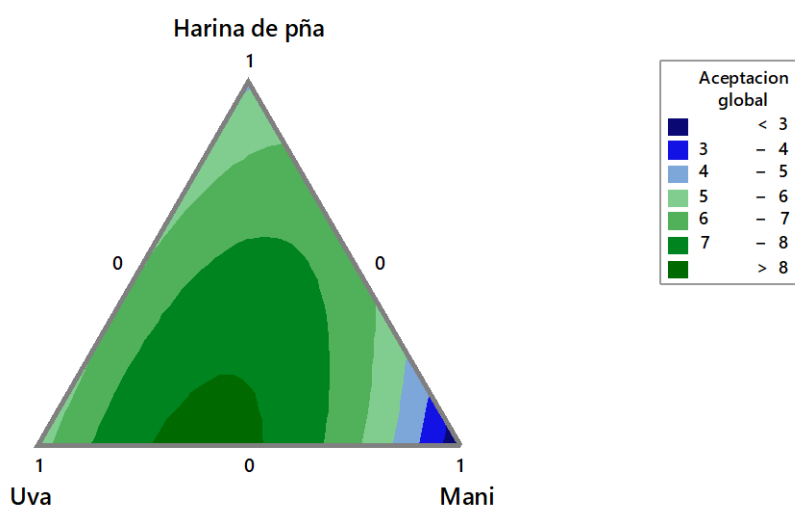
El análisis de varianza indicó que la regresión para la mezcla no fue estadísticamente significativa para la variable de aceptación global ($p = 0,112$); sin embargo, se encontró una interacción importante entre la uva y el maní ($p = 0,031$).

En la Figura 26 se mostró el gráfico de contorno para la aceptación global, en el que se pudo ver que las puntuaciones sensoriales más altas se obtuvieron en formulaciones que tuvieron una gran cantidad de uva y cantidades medias de maní. La harina de piña desempeñó un papel

secundario, proporcionando estabilidad a la mezcla, pero sin dominar la percepción sensorial, lo cual se reflejó en el gráfico de rastreo de la Figura 27. Estos hallazgos indicaron que la aceptación general del producto dependió en gran medida de la uva y su combinación con el maní.

Figura 26.

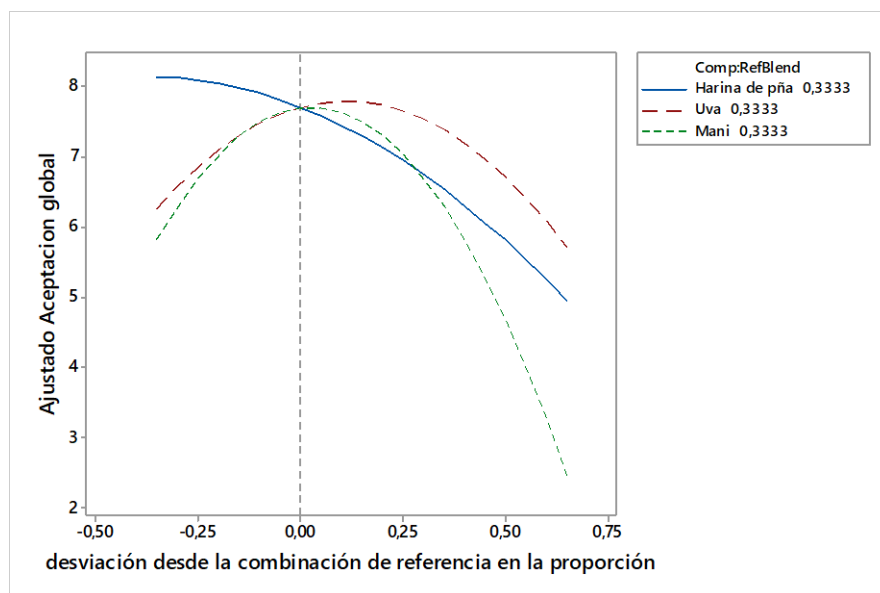
Grafica de contorno de mezcla para aceptación global



Nota. La grafica evidenció que la formulación que contenían una sola harina en alta proporción, específicamente harina de maní crudo con cascara, presento menor aprobación en atributo de aceptación sensorial. *Fuente.* autoría propia.

Figura 27.

Grafica de rastreo de respuesta de Cox



Nota. La gráfica de rastreo evidenció que las puntuaciones más altas se alcanzan en las formulaciones que contienen principalmente orujo de uva, las formulaciones extremas, que están dominadas por un único componente, tienen una aceptación general inferior. *Fuente.* autoría propia

Discusión de los resultados

La selección de la formulación óptima se basó en un enfoque de compromiso que integró las propiedades funcionales (contenido de compuestos fenólicos) y la respuesta sensorial (sabor, aroma, color, textura y aceptación global) obtenida de panelistas no entrenados. En lugar de maximizar una sola variable, se buscó una combinación que mantuviera un alto potencial funcional sin comprometer la aceptabilidad del consumidor.

Los resultados respondieron directamente a la pregunta de investigación al demostrar que fue posible desarrollar formulaciones innovadoras de tortas veganas funcionales mediante la

valorización de subproductos agroindustriales, como harinas de cáscara de piña, orujo de uva y maní crudo con cáscara. El modelo de mezclas reveló interacciones complejas entre estos ingredientes; la formulación F1, dominada por harina de cáscara de piña, emergió como la de mayor contribución a los compuestos fenólicos totales un indicador clave de capacidad antioxidante. Sin embargo, la evaluación sensorial indicó que esta formulación generó un perfil poco armónico en atributos como sabor, aroma, color, textura y aceptación global, lo que resaltó un comportamiento inherente de las mezclas con alta dominancia de un solo subproducto.

Con base en estos hallazgos, se determinó que la formulación óptima fue la F8, compuesta por 22 g de harina de cáscara de piña, 5,5 g de harina de orujo de uva y 5,5 g de harina de maní crudo con cáscara, lo que logró un equilibrio favorable entre propiedades funcionales y aceptación sensorial. Su alto contenido de compuestos fenólicos (0,2629 mg EAG/g, segundo lugar) se atribuyó principalmente a la harina de cáscara de piña con elevado contenido fenólico en proporciones individuales y a cantidades equilibradas de orujo de uva. Esta valorización de subproductos no solo redujo el desperdicio agroindustrial, sino que también añadió valor nutricional y funcional al producto vegano.

Por otra parte, la evaluación sensorial mostró que las mezclas ternarias equilibradas (F6-F10) superaron consistentemente 7 puntos en todos los atributos, con F8 destacando en aceptación global (máximo reportado), sabor ($7,68 \pm 1,163$), aroma (>7), color ($>7,65$) y textura ($>7,5$). Esto se debió a la participación de la harina de orujo de uva, ya que los modelos sensoriales revelaron tendencias claras que identificaron su capacidad para maximizar atributos como sabor, aroma y aceptación en las formulaciones.

En síntesis, la formulación F8 constituyó una respuesta clave al desarrollo de torta vegana innovadora a partir de subproductos agroindustriales, al mejorar su perfil nutricional y funcional, reducir el desperdicio y promover la economía circular.

Conclusiones

En conclusión, el desarrollo de un alimento funcional a partir de la valorización de subproductos agroindustriales, como cáscaras de piña, orujo de uva y maní crudo con cáscara, evidenció una alternativa viable, sostenible y nutricionalmente relevante. La revisión de la literatura corroboró que estos residuos concentran compuestos bioactivos valiosos (fenoles, flavonoides, taninos e isoflavonas) con efectos antioxidantes, antiinflamatorios y protectores frente a enfermedades crónicas, cuyo aprovechamiento mediante tecnologías convencionales y emergentes (extracción asistida por ultrasonido, hidrólisis enzimática o fluidos supercríticos) alinea con los principios de economía circular y reduce el impacto ambiental.

El análisis de las harinas obtenidas reveló perfiles nutricionales complementarios, con alto contenido de fibra dietética, proteína vegetal, carbohidratos energéticos y niveles moderados de lípidos y minerales, superando en algunos parámetros a harinas convencionales pese a diferencias en rendimientos. Su incorporación en tortas de zanahoria veganas generó productos con estabilidad fisicoquímica óptima, pérdidas de horneado controladas y densidad calórica ajustada, enriqueciendo el perfil nutricional sin comprometer textura, estructura ni vida útil. Las formulaciones ternarias, optimizadas mediante modelos de regresión de mezclas, destacaron por su elevado contenido de compuestos fenólicos totales, especialmente aquellas con mayor proporción de cáscara de piña y por interacciones sinérgicas que respaldan su valor agregado.

Desde el punto de vista sensorial, las tortas alcanzaron alta aceptación en sabor, aroma, color, textura y aceptación global (puntuaciones superiores a 7/9 en paneles hedónicos), con las formulaciones ternarias equilibrando sabores intensos, miga agradable y notas frutales

armoniosas que evocan repostería tradicional vegana. La formulación F8 se consolidó como la más balanceada, con mayor potencial comercial por su aceptación integral.

En conjunto, los resultados de esta investigación demuestran que los subproductos agroindustriales pueden ser transformados exitosamente en ingredientes funcionales para la elaboración de alimentos veganos, contribuyendo tanto a la mejora nutricional como a la sostenibilidad del sistema alimentario. Este enfoque no solo revaloriza los subproductos agroindustriales considerados residuos, sino que también abre nuevas oportunidades para el desarrollo de productos innovadores, saludables y ambientalmente responsables. Sin embargo, se sugiere avanzar hacia la optimización industrial de la formulación F8, determinar vida útil microbiológica y análisis de ácidos grasos que permitan respaldar su estabilidad y potencial beneficio cardiovascular. Asimismo, resulta pertinente explorar la aplicación de estas harinas en otros productos veganos, como galletas o barras energéticas, integrando tecnologías emergentes de extracción con el fin de maximizar la disponibilidad de compuestos bioactivos, y evaluar la aceptabilidad en consumidores específicos (veganos certificados o pacientes con dietas restringidas).

Referencias Bibliográficas

- Al-Hilphy, A. R., Al-Fekaiki, D. F., Al Hilfi, M. K., Lee, P.-H., Mousavi Khaneghah, A., & Gavahian, M. (2021). Pilot-scale hydraulic-pressure extraction of Sukari date honey (*Phoenix dactylifera* L.) to enhance resource efficiency: Effects of processing parameters on bioactive compounds and physicochemical quality. *Journal of Food Process Engineering*, 44(7). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13746>
- Anderson, J. W., Baird, P., Davis Jr, R. H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V., & Williams, C. L. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*, 67(4), 188–205. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x>
- Angulo Arias, L. V., De Souza Silva, V., Augustus de Oliveira, R., & Matta Fakhouri, F. (2018). Caracterización de subproductos agroindustriales: naranja y maracuyá. *Ingeniería y Región*, 20, 59–66. <https://doi.org/10.25054/22161325.1916>
- Anshika, Pandey, R. K., & Singh, L. (2022). *Plant bioactive compounds and their mechanistic approaches in the treatment of diabetes: a review. Futur J Pharm Sci* 8, 52.
- Ansorena, D., Cartagena, L., & Astiasaran, I. (2022). A Cake Made with No Animal Origin Ingredients: Physical Properties and Nutritional and Sensory Quality. *Foods*, 12(1), 54. <https://doi.org/10.3390/foods12010054>
- Antonić, B., Jančíková, S., Dordević, D., & Tremlová, B. (2020). Grape Pomace Valorization: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Foods*, 9(11), 1627. <https://doi.org/10.3390/foods9111627>
- APATA, O. C., FASHIPE, J. T., & MELUDU, N. T. (2024). PROXIMATE AND ORGANOLEPTIC ANALYSIS OF CARROT-FORTIFIED AND VANILLA

FLAVOURED CAKES. *Nigeria Journal of Home Economics (ISSN: 2782-8131)*, 12(9), 119–128. <https://doi.org/10.61868/njhe.v12i9.287>

A.R., S., M., S., H.Z., U., Koh, S. P., & Shukor, M. Y. A. (2023). Local pineapple waste as potential bio-ingredient. *Food Research*, 6(Supplementary 3), 35–44.

[https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(S3\).002](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(S3).002)

Asghar, A., Afzaal, M., Saeed, F., Ahmed, A., Ateeq, H., Shah, Y. A., Islam, F., Hussain, M., Akram, N., & Shah, M. A. (2023). Valorization and food applications of okara (soybean residue): A concurrent review. *Food Science & Nutrition*, 11(7), 3631–3640.

<https://doi.org/10.1002/fsn3.3363>

Aune, D., Keum, N., Giovannucci, E., Fadnes, L. T., Boffetta, P., Greenwood, D. C., & Nora, T. (2018). *Dietary intake and blood concentrations of antioxidants and the risk of cardiovascular disease, total cancer, and all cause mortality: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies.*

Aydogdu, A., Sumnu, G., & Sahin, S. (2018). Effects of addition of different fibers on rheological characteristics of cake batter and quality of cakes. *Journal of Food Science and Technology*, 55(2), 667–677. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2976-y>

Barajas Otálora, M. X., & Rodríguez Chiquillo, L. D. (2022). *Evaluación De La Producción De Harina De Orujo Fermentado De Uva Para Su Uso Como Aditivo.*

Beltrán-Medina, E. A., Guatemala-Morales, G. M., Padilla-Camberos, E., Corona-González, R. I., Mondragón-Cortez, P. M., & Arriola-Guevara, E. (2020). Evaluation of the use of a coffee industry by-product in a cereal-based extruded food product. *Foods*, 9(8).

<https://doi.org/10.3390/foods9081008>

- Bianchi, F., Cervini, M., Giuberti, G., Rocchetti, G., Lucini, L., & Simonato, B. (2022). Distilled grape pomace as a functional ingredient in vegan muffins: effect on physicochemical, nutritional, rheological and sensory aspects. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(8), 4847–4858. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15720>
- Boggia, R., Zunin, P., & Turrini, F. (2020). *Functional foods and food supplements. Applied Sciences*, 10(23), 1–5.
- Bragagnolo, F. S., Funari, C. S., Ibáñez, E., & Cifuentes, A. (2021). Metabolomics as a tool to study underused soy parts: In search of bioactive compounds. *Foods*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/foods10061308>
- Brito Cangussu, L., P. Leão, D., Oliveira, L. S., & Franca, A. S. (2021). Profile of bioactive compounds in pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) peel flours. *Food Chemistry*, 350. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129221>
- Campos, D. A., Ribeiro, T. B., Teixeira, J. A., Pastrana, L., & Pintado, M. M. (2020). Integral Valorization of Pineapple (*Ananas comosus* L.) By-Products through a Green Chemistry Approach towards Added Value Ingredients. *Foods*, 9(1), 60. <https://doi.org/10.3390/foods9010060>
- Capanoglu, E., Nemli, E., & Tomas-Barberan, F. (2022). Novel Approaches in the Valorization of Agricultural Wastes and Their Applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), 6787–6804. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07104>
- Castro SOUSA, E., Athayde UCHÔA-THOMAZ, A. M., Beserra CARIOCA, J., Galvão MARTINS, C., Duarte ALEXANDRINO, C., Travassos FERREIRA, P., & Lages RODRIGUES, L. (2014). *Composición química y compuestos bioactivos del orujo de uva*

(*Vitis vinifera L.*), variedad Benitaka, cultivada en la región semiárida del Nordeste de Brasil. .

- Chabi, I. B., Omiyalé, O. J., Dèdéhou, S. E. C. A., Ayégnon, B. P., Idrissou, I., Boya, B., Kpoclou, Y. E., & Kayodé, A. P. P. (2024). Tomato Seed (*Solanum lycopersicum*) Meal Derived From Agrifood Waste as Functional Ingredient: Nutritional Value, Antioxidant and Antimicrobial Activities, and Functional Properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2024(1). <https://doi.org/10.1155/2024/8824581>
- Chamorro, F., Carpena, M., Fraga-Corral, M., Echave, J., Riaz Rajoka, M. S., Barba, F. J., Cao, H., Xiao, J., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2022). Valorization of kiwi agricultural waste and industry by-products by recovering bioactive compounds and applications as food additives: A circular economy model. *Food Chemistry*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131315>
- Cornejo-Figueroa, M. H., Cartagena-Cutipá, R., & Alcázar-Alay, S. C. (2020). Tecnologías ecoeficientes para la valoración de residuos agroindustriales en frutas y hortalizas. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 2(01), 294–311. <https://doi.org/10.47796/ing.v2i01.300>
- Cuadrado-Osorio, P. D., Ramírez-Mejía, J. M., Mejía-Avellaneda, L. F., Mesa, L., & Bautista, E. J. (2022). Agro-industrial residues for microbial bioproducts: A key booster for bioeconomy. *Bioresource Technology Reports*, 20, 101232. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101232>
- Cury R, K., Aguas M, Y., Martinez M, A., Olivero V, R., & Chams Ch, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(S1), 122–132. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530>

- del Toro Martínez, J. J., Herrera, A. C., & Román, L. R. (2011). *Valoración de las propiedades nutricionales de Moringa oleífera en el departamento de Bolívar*.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255–266. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>
- Diario la República. (2022). *Consumo de productos basados en proteína vegetal crecerá 14% a 2035 en Latam*.
- Dimou, C., Karantonis, H. C., Skalkos, D., & Koutelidakis, A. E. (2019). Valorization of Fruits by-products to Unconventional Sources of Additives, Oil, Biomolecules and Innovative Functional Foods. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 20(10), 776–786. <https://doi.org/10.2174/1389201020666190405181537>
- Durán-Aranguren, D. D., Muñoz-Daza, L. F., Castillo-Hurtado, L. J., Posada, J. A., Mussatto, S. I., Sierra, R., & Hernández-Carrión, M. (2023). Design of a baked good using food ingredients recovered from agro-industrial by-products of fruits. *LWT*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115174>
- Emmanuella, B., Ijeoma, N., Sunday, A., Ogo, O., & Ogbene, I. (2025). Nutritional Composition, Bioactive Compounds and Antioxidant Potential of Pineapple Rind Flour as Functional Food Ingredient. *Journal of Food Biochemistry*, 2025(1). <https://doi.org/10.1155/jfbc/8832878>
- Fayaz, G., Mhamadi, M., Rodrigue, D., Turgeon, S. L., & Khalloufi, S. (2024). Mapping Approach for Selecting Promising Agro-Waste Dietary Fibers as Sustainable and Functional Food Ingredients. *Food and Bioprocess Technology*, 17(7), 1797–1813. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03223-w>

- Flores, R. V. (2018). *Fibra dietaria: una alternativa para la alimentación*.
- Flórez Montes, C., & Rojas González, A. F. (2019). Aprovechamiento potencial de residuos de la agroindustria caldense según su composición estructural. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(2), 143–151. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3411>
- Galchenko, A., Gapparova, K., & Sidorova, E. (2023). The influence of vegetarian and vegan diets on the state of bone mineral density in humans. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(7), 845–861. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1996330>
- Gamez-Villazana, & Jordy Javier. (2020). *AVANCES EN LA DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN ALIMENTOS*.
- Gloriselle Negrón-Ríos, J. D. , M. S. (2020). *La economía circular*.
- González Morales, D. H. , & Manobanda Jimenez, G. E. (2024). *Innovación Culinaria en Alimentos Vegetarianos y Veganos: Técnicas y Ciencia*.
- Henriques, J., Ribeiro, M. J., Falé, P. L., Pacheco, R., Ascensão, L., Florêncio, M. H., & Serralheiro, M. L. M. (2017). Valorization of kiwifruit production: leaves of the pruning branches of *Actinidia deliciosa* as a promising source of polyphenols. *European Food Research and Technology*, 243(8), 1343–1353. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2845-y>
- Huang, Y.-C., Sridhar, K., & Tsai, P.-J. (2022). Enzymatically hydrolysed asparagus (*Asparagus officinalis* L.) hard-stem exhibits the ability to inhibit angiotensin-converting enzyme (ACE). *International Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 3196–3203. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15653>
- Huang, Y.-L., Chow, C.-J., & Fang, Y.-J. (2020). Preparation and physicochemical properties of fiber-rich fraction from pineapple peels as a potential ingredient. *Journal of Food and Drug Analysis*, 19(3). <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2179>

- Jaramillo, N. A., Natalia Andrea Mendoza Isaza, & Jorge Andrés Hoyos–Arbeláez. (2020). Capacidad antioxidante y contenido de polifenoles totales de extractos de tallo de *Stevia rebaudiana* en varios modelos in vitro. *Carlos Alberto Peláez*.
- Jiménez Alfaro, D., Sobalvarro Mena, J. L., & Elizondo Salazar, J. A. (2020). Enriquecimiento proteico de dos especies forrajeras y cáscara de piña por medio de fermentación en estado sólido. *Agronomía Costarricense*. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i2.43111>
- Jurado-Erazo, D. K., Tulcán-Cuasapud, Y. A., & Rojas González, A. F. (2023). Perspectivas de valorización de residuos de frutas a partir de sus características físicas. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:3016
- Kaur, R., Goyal, N., Panesar, G., & Panesar, P. S. (2025). Unraveling the nutritional potential of millet by-products through extraction of high value compounds for the development of novel food products. *Food Chemistry*, 472, 142983. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.142983>
- Kırbaşlar, Ş. İ., & Şahin, S. (2023). Recovery of bioactive ingredients from biowaste of olive tree (*Olea europaea*) using microwave-assisted extraction: a comparative study. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(4), 2849–2861. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01194-y>
- Kuckertz, A., & Block, J. (2021). Reviewing systematic literature reviews: ten key questions and criteria for reviewers. *Management Review Quarterly*, 71(3), 519–524. <https://doi.org/10.1007/s11301-021-00228-7>
- Kurek, M., Benaida-Debbache, N., Elez Garofulic, I., Galic, K., Avallone, S., Voilley, A., & Waché, Y. (2022). *Antioxidants and Bioactive Compounds in Food: Critical Review of Issues and Prospects*. *Antioxidants*, 11, 742.

- Lakhlifi El Idrissi, Z., Oubihi, A., Ibourki, M., El Youssfi, M., Gharby, S., El Guezzane, C., Ullah, R., Iqbal, Z., Goh, K. W., Gallo, M., Bouyahya, A., Harhar, H., & Tabyaoui, M. (2024). Peanut (*Arachis hypogaea* L.) flour and oilcake flour: Exploring the influence of roasting and varietal differences on proximal composition, elemental profiling, antimicrobial and antioxidant properties. *Food Chemistry: X*, 24, 101791. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101791>
- Lau, K. Q., Sabran, M. R., & Shafie, S. R. (2021). Utilization of Vegetable and Fruit By-products as Functional Ingredient and Food. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.661693>
- Lazzaroli, C., Sordini, B., Daidone, L., Veneziani, G., Esposto, S., Urbani, S., Selvaggini, R., Servili, M., & Taticchi, A. (2023). Recovery and valorization of food industry by-products through the application of *Olea europaea* L. leaves in kombucha tea manufacturing. *Food Bioscience*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102551>
- Lee, J., Kim, Y., & Kim, S. (2023). The Study of an Adaptive Bread Maker Using Machine Learning. *Foods*, 12(22), 4160. <https://doi.org/10.3390/foods12224160>
- Liliana G. González Rodríguez, José Miguel Perea Sánchez, & Rosa M. Ortega Anta. (2015). Los alimentos funcionales en el contexto de la dieta mediterránea. *Mediterráneo Económico*, 27, 139–160.
- Lim, J.-Y., & Jin, S.-Y. (2021). Quality Characteristics of Vegan Nutritional Bars with Fermented Soybean Curd Residue Powder. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 50(8), 849–857. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2021.50.8.849>
- Lopez-Nunez, J. S., Salcedo-Mendoza, J. G., Arteaga-Marquez, M. R., & Perez-Sierra, O. A. (2017). Effect of Drying on the Physicochemical and Techno- Functional Properties of

Pineapple Peel Flour. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(46), 1–7.

<https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i46/137450>

Macoto C., & Cristian J. (2014). Evaluación de mermas en la materia prima durante la elaboración de panes en la Panadería y Repostería “El Hogar”, Tegucigalpa, Honduras. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano*.

Mala, T., Piayura, S., & Itthivadhanapong, P. (2024). Characterization of dried pineapple (*Ananas comosus* L.) peel powder and its application as a novel functional food ingredient in cracker product. *Future Foods*, 9, 100322. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100322>

Maza-De la Quintana, R., & Paucar-Menacho, L. (2020). Lucuma (*Pouteria lucuma*): Composition, bioactive components, antioxidant activity, uses and beneficial properties for health. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 135–142.

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.15>

Melini, V., Melini, F., Luziatelli, F., & Ruzzi, M. (2020). Functional Ingredients from Agri-Food Waste: Effect of Inclusion Thereof on Phenolic Compound Content and Bioaccessibility in Bakery Products. *Antioxidants*, 9(12), 1216. <https://doi.org/10.3390/antiox9121216>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Plan de Acción para la Gestión Sostenible de la Biomasa Residual*. <https://economiecirculaire.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/04/Plan-de-Accion-para-la-Gestion-Sostenible-de-la-Biomasa-Residual.pdf>

Nartea, A., Kuhalskaya, A., Fanesi, B., Orhotohwo, O. L., Susek, K., Rocchetti, L., Di Vittori, V., Bitocchi, E., Pacetti, D., & Papa, R. (2023). Legume byproducts as ingredients for food applications: Preparation, nutrition, bioactivity, and techno-functional properties.

Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 22(3), 1953–1985.

<https://doi.org/10.1111/1541-4337.13137>

Nirmal, N. P., Khanashyam, A. C., Mundanat, A. S., Shah, K., Babu, K. S., Thorakkattu, P., Al-Asmari, F., & Pandiselvam, R. (2023). *Valorization of Fruit Waste for Bioactive Compounds and Their Applications in the Food*.

Oliveira, B. E., Contini, L., Garcia, V. A. D. S., Cilli, L. P. D. L., Chagas, E. G. L., Andreo, M. A., Vanin, F. M., Carvalho, R. A., Sinnecker, P., Venturini, A. C., & Yoshida, C. M. P. (2022). Valorization of grape by-products as functional and nutritional ingredients for healthy pasta development. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12).

<https://doi.org/10.1111/jfpp.17245>

Owoeye, T. F., Akinlabu, D. K., Ajayi, O. O., Afolalu, S. A., Popoola, J. O., & Ajani, O. O. (2022). Phytochemical constituents and proximate analysis of dry pineapple peels. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 993(1), 012027.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/993/1/012027>

Páez, A. L. C., Haro, E. F. G., & Cecilia, I. C. I. (2022). *Los alimentos funcionales como alternativa a las tendencias de consumo de alimentos rápidos*.

Paucar, Á. M. (2018). *CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE UNA MEZCLA DE CUCUMIS SATIVUS L. Y ALOYSIA TRIPHYLLA (CEDRÓN) CON PROPIEDADES NUTRACÉUTICAS. // PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF MIXTURES CUCUMIS SATIVUS L. AND ALOYSIA TRIPHYLLA (CEDRÓN) WITH NUTRACEUTICALS PROPERTIES. .*

- Pino García, R. del. (2016). *Antioxidant and phenolic characterization, bioavailability and protective effects under oxidative stress and endothelial dysfunction of a red wine pomace seasoning (RWPS)* [Universidad de Burgos]. <https://doi.org/10.36443/10259/5134>
- Pitre, A. A. (2011). *Desarrollo de una galleta a partir del orujo de uva variedad criolla negra Development of a cookie from marc creole black grape variety.* .
- Prosky, L., Asp, N. G., Furda, I., DeVries, J. W., Schweizer, T. F., & Harland, B. F. (1985). *Determination of total dietary fiber in foods and food products: collaborative study. Journal- Association of Official Analytical Chemists, 68(4), 677–679.*
- Putra, N. R., Rizkiyah, D. N., Qomariyah, L., Aziz, A. H. A., Veza, I., & Yunus, M. A. C. (2023). Experimental and modeling for catechin and epicatechin recovery from peanut skin using subcritical ethanol. *Journal of Food Process Engineering, 46(3).*
<https://doi.org/10.1111/jfpe.14275>
- Rao, M., Bast, A., & de Boer, A. (2021). Valorized Food Processing By-Products in the EU: Finding the Balance between Safety, Nutrition, and Sustainability. *Sustainability, 13(8), 4428.* <https://doi.org/10.3390/su13084428>
- Rațu, R. N., Veleșcu, I. D., Stoica, F., Usturoi, A., Arsenoia, V. N., Crivei, I. C., Postolache, A. N., Lipșa, F. D., Filipov, F., Florea, A. M., Chițea, M. A., & Brumă, I. S. (2023). Application of Agri-Food By-Products in the Food Industry. *Agriculture, 13(8), 1559.*
<https://doi.org/10.3390/agriculture13081559>
- Resende, L. M., Oliveira, L. S., & Franca, A. S. (2020). Characterization of jabuticaba (*Plinia cauliflora*) peel flours and prediction of compounds by FTIR analysis. *LWT, 133.*
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110135>

- Rojas Rojas, G. A., Aguiar Moya, J. P., Arias Barrantes, E., & Baldi, A. (2021). Modificación del asfalto con orujo de uva roja como material antioxidante. *Infraestructura Vial*, 23(41), 1–10. <https://doi.org/10.15517/iv.v23i41.44419>
- Rojo-Poveda, O., Barbosa-Pereira, L., Zeppa, G., & Stévigny, C. (2020). Cocoa Bean Shell—A By-Product with Nutritional Properties and Biofunctional Potential. *Nutrients*, 12(4), 1123. <https://doi.org/10.3390/nu12041123>
- Shi, J., Liang, J., Pu, J., Li, Z., & Zou, X. (2023). Nondestructive detection of the bioactive components and nutritional value in restructured functional foods. *Current Opinion in Food Science*, 50, 100986. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100986>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). *Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstenic acid reagents*.
- Solarte-Montúfar, J. G., Díaz-Murangal, A. E., Osorio-Mora, O., & Mejía-España, D. F. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Información Tecnológica*, 30(6), 35–44. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
- Sreenath, H. K., Sudarshanakrishna, K. R., Prasad, N. N., & Santhanam, K. (1996). Characteristics of Some Fiber Incorporated Cake Preparations and their Dietary Fiber Content. *Starch - Stärke*, 48(2), 72–76. <https://doi.org/10.1002/star.19960480208>
- Statista. (2016). *Share of vegetarians, flexitarians and vegans in Colombia as of March 2016*. *Consumer Goods & FMCG Food & Nutrition*.
- Tarahi, M., Mohamadzade Fakhr-davood, M., Ghaedrahmati, S., Roshanak, S., & Shahidi, F. (2023). Physicochemical and Sensory Properties of Vegan Gummy Candies Enriched with

High-Fiber Jaban Watermelon Exocarp Powder. *Foods*, 12(7), 1478.

<https://doi.org/10.3390/foods12071478>

Tarchi, I., Boudalia, S., Ozogul, F., Câmara, J. S., Bhat, Z. F., Hassoun, A., Perestrelo, R.,

Bouaziz, M., Nurmilah, S., Cahyana, Y., & Aït-Kaddour, A. (2024). Valorization of agri-food waste and by-products in cheese and other dairy foods: An updated review. *Food Bioscience*, 58, 103751. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103751>

Tolve, R., & Simonato, B. (2024). Impact of Functional Ingredients on the Technological, Sensory, and Health Properties of Bakery Products. *Foods*, 13(20), 3330.

<https://doi.org/10.3390/foods13203330>

Torres Montero Julio. (2020). Nutritional and economic importance of peanuts (*Arachis hypogaea* L.). *Scielo*.

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>

Tsai, P.-W., Rogio, K. G. G., Hsieh, C.-Y., Cruz, K. A. D. C., Lee, C.-J., Hsueh, C.-C., Huang, T.-N., Lu, W.-Z., Xie, Z.-L., Jheng, Y.-N., & Chen, B.-Y. (2023). Optimal stimulation of Citrus reticulata for bioenergy extraction in MFCs and antioxidant activity via traditional Chinese medicine processing methods. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.104690>

Vargas Aguilar, P., & Hernández Villalobos, D. (2013). Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Revista Tecnología En Marcha*, 26(1), 37. <https://doi.org/10.18845/tm.v26i1.1120>

- Vargas Corredor, Y. A., & Pérez Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 59–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Verma M, & Chandel A. (2020). *Biotechnological Production of Bioactive Compounds*.
- Verni, M., Rizzello, C. G., & Coda, R. (2019). Fermentation Biotechnology Applied to Cereal Industry By-Products: Nutritional and Functional Insights. *Frontiers in Nutrition*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00042>
- Vescovo, D., Manetti, C., Ruggieri, R., Spizzirri, U. G., Aiello, F., Martuscelli, M., & Restuccia, D. (2025). The Valorization of Potato Peels as a Functional Ingredient in the Food Industry: A Comprehensive Review. *Foods*, 14(8), 1333. <https://doi.org/10.3390/foods14081333>
- Viana, H. N. A. C., Sganzerla, W. G., Castro, L. E. N., & Veeck, A. P. de L. (2023). Characterization of baru (*Dipteryx alata* Vog.) and application of its agro-industrial by-product in the formulation of cookies. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12, 100577. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100577>
- Villamil-Galindo, E., Gastélum-Estrada, A., Chuck-Hernandez, C., Antunes-Ricardo, M., Reza-Zaldivar, E. E., Piagentini, A., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2023). Kinetic Ultrasound-Assisted Extraction as a Sustainable Approach for the Recovery of Phenolics Accumulated through UVA Treatment in Strawberry By-Products. *Foods*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/foods12162989>
- Wang, Q. (2016). *Processing Technology and Product Development*. .
- Yábar Villanueva, E. (2019). LA MACA (*LEPIDIUM MEYENII* WALPERS) ALIMENTO FUNCIONAL ANDINO: BIOACTIVOS, BIOQUÍMICA Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA.

Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research, 21(2), 139–152. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.457>

Yu, J., Wu, Y., & Shin, W. (2025). From waste to value: Integrating legume byproducts into sustainable industrialization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(3). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70174>

Zambare, A. V. (2024). Development of Cookies Using Fruit Waste Peel Powder.

INTERANTIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT, 08(06), 1–5. <https://doi.org/10.55041/IJSREM35501>

Zamora, J. D. (2007). *ANTIOXIDANTES: MICRONUTRIENTES EN LUCHA POR LA SALUD*.

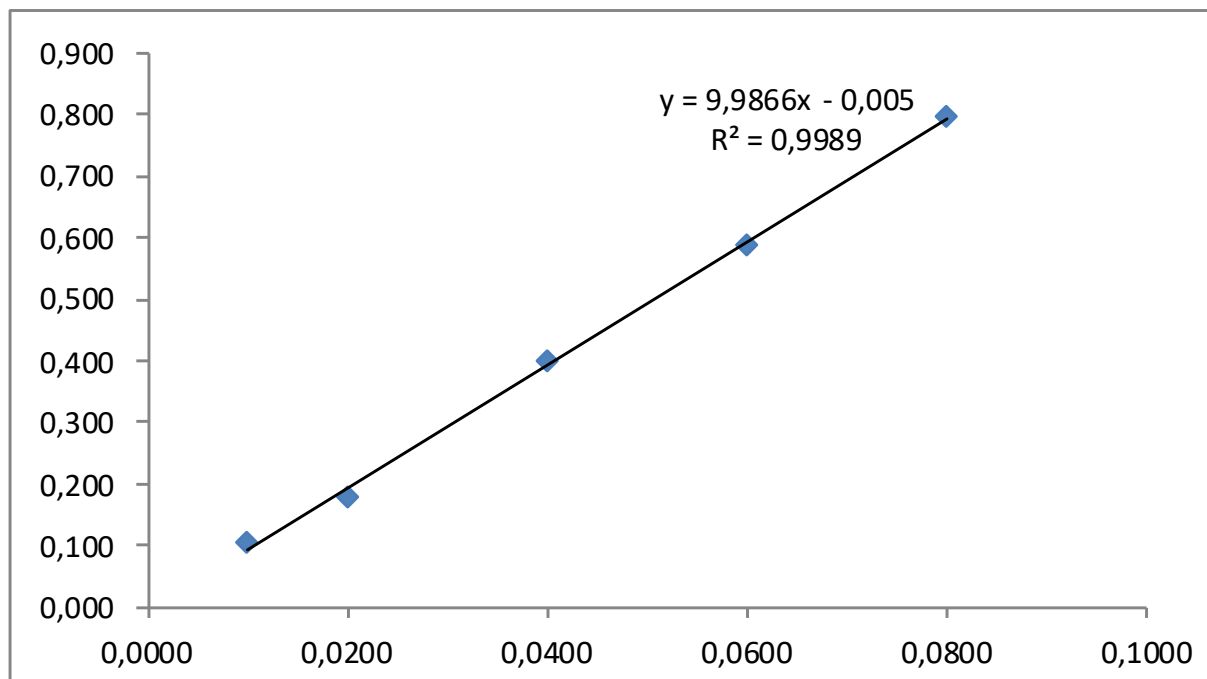
Zevallos, D. R. (2018). *ESTUDIO FITOQUÍMICO CUALITATIVO PRELIMINAR Y CUANTIFICACIÓN DE FLAVONOIDES Y TANINOS DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE HOJAS DE *Desmodium vargasianum* Schubert*.

Zuñiga-Martínez, B. S., Domínguez-Avila, J. A., Robles-Sánchez, R. M., Ayala-Zavala, J. F., Villegas-Ochoa, M. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). Agro-Industrial Fruit Byproducts as Health-Promoting Ingredients Used to Supplement Baked Food Products. *Foods*, 11(20), 3181. <https://doi.org/10.3390/foods11203181>

Apéndices

Apéndice A

Curva de calibración de ácido gálico para la determinación de compuestos fenólicos totales



Nota. La gráfica mostró la curva de calibración del ácido gálico, evidenciando una relación lineal entre la concentración del estándar y la absorbancia, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9989$.

Apéndice B

Regresión de los compuestos fenólicos en las diferentes formulaciones de torta vegana

Regresión para mezclas: Compuestos fenól vs. Harina de pña; Uva; Mani

Coefficientes de regresión estimados para Compuestos fenólicos (proporciones del componente)

Término	Coef	EE del coef.	T	P	VIF
Harina de pña	0,3391	0,008380	*	*	1,964
Uva	0,1938	0,008380	*	*	1,964
Mani	0,1636	0,008380	*	*	1,964
Harina de pña*Uva	-0,0841	0,038621	-2,18	0,095	1,982
Harina de pña*Mani	-0,1265	0,038621	-3,28	0,031	1,982
Uva*Mani	0,0055	0,038621	0,14	0,893	1,982

S = 0,00868868 PRESS = 0,00632708
 R-cuad. = 98,76% R-cuad. (pred.) = 73,99% R-cuad. (ajustado) = 97,21%

Análisis de varianza para Compuestos fenólicos (proporciones del componente)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	5	0,024019	0,024019	0,004804	63,63	0,001
Lineal	2	0,022856	0,019378	0,009689	128,34	0,000
Cuadrático	3	0,001164	0,001164	0,000388	5,14	0,074
Harina d*Uva	1	0,000352	0,000358	0,000358	4,74	0,095
Harina d*Mani	1	0,000811	0,000810	0,000810	10,73	0,031
Uva*Mani	1	0,000002	0,000002	0,000002	0,02	0,893
Error residual	4	0,000302	0,000302	0,000075		
Total	9	0,024321				

Nota. El análisis mostró el comportamiento de las formulaciones de tortas de zanahoria veganas evaluadas con relación a los compuestos fenólicos que estas contienen.

Apéndice C

Regresión para el atributo sabor en las diferentes formulaciones de torta vegana.

Regresión para mezclas: Sabor vs. Harina de pña; Uva; Mani

Coefficientes de regresión estimados para Sabor (proporciones del componente)

Término	Coef	EE del coef.	T	P	VIF
Harina de pña	4,316	1,591	*	*	1,964
Uva	5,166	1,591	*	*	1,964
Mani	3,639	1,591	*	*	1,964
Harina de pña*Uva	4,422	7,334	0,60	0,579	1,982
Harina de pña*Mani	4,968	7,334	0,68	0,535	1,982
Uva*Mani	14,568	7,334	1,99	0,118	1,982

S = 1,65006

PRESS = 107,856

R-cuad. = 59,34%

R-cuad. (pred.) = 0,00%

R-cuad. (ajustado) = 8,52%

Análisis de varianza para Sabor (proporciones del componente)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	5	15,8971	15,8971	3,1794	1,17	0,453
Lineal	2	3,0136	1,2884	0,6442	0,24	0,800
Cuadrático	3	12,8835	12,8835	4,2945	1,58	0,327
Harina d*Uva	1	0,9374	0,9899	0,9899	0,36	0,579
Harina d*Mani	1	1,2047	1,2492	1,2492	0,46	0,535
Uva*Mani	1	10,7414	10,7414	10,7414	3,95	0,118
Error residual	4	10,8907	10,8907	2,7227		
Total	9	26,7878				

Nota. La gráfica mostró la tendencia del atributo sabor en las distintas formulaciones de torta vegana, reflejando las variaciones en la aceptación sensorial asociadas a los ingredientes utilizados.

Apéndice D

Regresión para el atributo aroma en las diferentes formulaciones de torta vegana

Regresión para mezclas: Aroma vs. Harina de pña; Uva; Mani

Coefficientes de regresión estimados para Aroma (proporciones del componente)

Término	Coef	EE del coef.	T	P	VIF
Harina de pña	4,449	1,078	*	*	1,964
Uva	6,124	1,078	*	*	1,964
Mani	2,757	1,078	*	*	1,964
Harina de pña*Uva	2,039	4,970	0,41	0,703	1,982
Harina de pña*Mani	9,790	4,970	1,97	0,120	1,982
Uva*Mani	13,240	4,970	2,66	0,056	1,982

S = 1,11817

PRESS = 53,0564

R-cuad. = 79,32%

R-cuad. (pred.) = 0,00%

R-cuad. (ajustado) = 53,47%

Análisis de varianza para Aroma (proporciones del componente)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	5	19,1843	19,1843	3,83687	3,07	0,150
Lineal	2	5,3581	6,2354	3,11768	2,49	0,198
Cuadrático	3	13,8263	13,8263	4,60876	3,69	0,120
Harina d*Uva	1	0,1825	0,2105	0,21048	0,17	0,703
Harina d*Mani	1	4,7712	4,8511	4,85114	3,88	0,120
Uva*Mani	1	8,8726	8,8726	8,87261	7,10	0,056
Error residual	4	5,0012	5,0012	1,25030		
Total	9	24,1855				

Nota. La gráfica mostró el comportamiento del atributo aroma en función de las diferentes formulaciones de torta vegana evaluadas, evidenciando cambios en la percepción sensorial del producto.

Apéndice E

Regresión para el atributo color en las diferentes formulaciones de torta vegana

Regresión para mezclas: Color vs. Harina de pña; Uva; Mani

Coefficientes de regresión estimados para Color (proporciones del componente)

Término	Coef	EE del coef.	T	P	VIF
Harina de pña	5,477	0,7899	*	*	1,964
Uva	6,272	0,7899	*	*	1,964
Mani	2,466	0,7899	*	*	1,964
Harina de pña*Uva	4,047	3,6407	1,11	0,329	1,982
Harina de pña*Mani	13,451	3,6407	3,69	0,021	1,982
Uva*Mani	12,142	3,6407	3,34	0,029	1,982

S = 0,819058

PRESS = 33,4517

R-cuad. = 89,77%

R-cuad. (pred.) = 0,00%

R-cuad. (ajustado) = 76,97%

Análisis de varianza para Color (proporciones del componente)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	5	23,5359	23,5359	4,70718	7,02	0,041
Lineal	2	6,2511	8,8664	4,43320	6,61	0,054
Cuadrático	3	17,2848	17,2848	5,76160	8,59	0,032
Harina d*Uva	1	0,7662	0,8289	0,82887	1,24	0,329
Harina d*Mani	1	9,0568	9,1576	9,15756	13,65	0,021
Uva*Mani	1	7,4618	7,4618	7,46182	11,12	0,029
Error residual	4	2,6834	2,6834	0,67086		
Total	9	26,2193				

Nota. La gráfica mostró la variación del atributo color entre las formulaciones de torta vegana, permitiendo observar su relación con la composición de cada muestra.

Apéndice F

Regresión para el atributo textura en las diferentes formulaciones de torta vegana

Regresión para mezclas: Textura vs. Harina de pña; Uva; Mani

Coefficientes de regresión estimados para Textura (proporciones del componente)

Término	Coef	EE del coef.	T	P	VIF
Harina de pña	5,0608	1,554	*	*	1,964
Uva	5,5017	1,554	*	*	1,964
Mani	2,4413	1,554	*	*	1,964
Harina de pña*Uva	-0,2330	7,162	-0,03	0,976	1,982
Harina de pña*Mani	7,2620	7,162	1,01	0,368	1,982
Uva*Mani	19,6438	7,162	2,74	0,052	1,982

S = 1,61120

PRESS = 106,307

R-cuad. = 71,72%

R-cuad. (pred.) = 0,00%

R-cuad. (ajustado) = 36,37%

Análisis de varianza para Textura (proporciones del componente)

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	5	26,3359	26,3359	5,2672	2,03	0,256
Lineal	2	4,2158	6,0215	3,0108	1,16	0,401
Cuadrático	3	22,1201	22,1201	7,3734	2,84	0,170
Harina d*Uva	1	0,0080	0,0027	0,0027	0,00	0,976
Harina d*Mani	1	2,5814	2,6692	2,6692	1,03	0,368
Uva*Mani	1	19,5307	19,5307	19,5307	7,52	0,052
Error residual	4	10,3838	10,3838	2,5960		
Total	9	36,7197				

Nota. La gráfica mostró la tendencia del atributo textura en las distintas formulaciones de torta vegana, evidenciando cambios en la percepción de suavidad y consistencia asociados a la composición de cada muestra.

Apéndice G

Regresión para el atributo aceptación global en las diferentes formulaciones de torta vegana

Regresión para mezclas: Aceptacion global vs. Harina de pña; Uva; Mani

Coefficientes de regresión estimados para Aceptacion global (proporciones del componente)

Término	Coef	EE del coef.	T	P	VIF
Harina de pña	4,845	1,137	*	*	1,964
Uva	5,585	1,137	*	*	1,964
Mani	2,177	1,137	*	*	1,964
Harina de pña*Uva	3,044	5,240	0,58	0,592	1,982
Harina de pña*Mani	11,433	5,240	2,18	0,095	1,982
Uva*Mani	17,012	5,240	3,25	0,031	1,982

S = 1,17891

PRESS = 57,2427

R-cuad. = 82,48%

R-cuad. (pred.) = 0,00%

R-cuad. (ajustado) = 60,58%

Análisis de varianza para Aceptacion global (proporciones del componente)

Fuente	GL	SC	Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	5	26,1726		26,1726	5,2345	3,77	0,112
Lineal	2	4,6114		7,0682	3,5341	2,54	0,194
Cuadrático	3	21,5611		21,5611	7,1870	5,17	0,073
Harina d*Uva	1	0,4171		0,4690	0,4690	0,34	0,592
Harina d*Mani	1	6,4954		6,6154	6,6154	4,76	0,095
Uva*Mani	1	14,6485		14,6485	14,6485	10,54	0,031
Error residual	4	5,5593		5,5593	1,3898		
Total	9	31,7319					

Nota. La gráfica mostró el comportamiento de la aceptación global de las formulaciones de torta vegana evaluadas, integrando la percepción sensorial general de los panelistas frente a cada muestra.