

Efectos sinérgicos de kiwicha, yacón y aceite de oliva extra virgen sobre la calidad nutricional y sensorial de galletas funcionales sin gluten

Synergistic Effects of Kiwicha, Yacon, and Extra Virgin Olive Oil on the Nutritional and Sensory Quality of Functional Gluten-Free Cookies

FREDY DAVID QUENAYA LAYME^{1*}  | NORMAN TOMÁS DELGADO CABRERA²  | LINLEY SALOMÓN VEGA VEGA³ **Afiliación:**^{1,2,3}Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú**Información del artículo:**Recibido: 10/03/2026
Aceptado: 18/06/2026
Publicado: 26/06/2026**Autor de correspondencia:** E-mail: *fquenayal@unjbg.edu.pe**Resumen**

La creciente demanda de alimentos sin gluten con mayor valor nutricional ha impulsado el uso de ingredientes funcionales capaces de mejorar las propiedades nutricionales y sensoriales de los productos de panificación. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto sinérgico de la harina de kiwicha, la harina de yacón y el aceite de oliva extra virgen sobre la calidad de galletas sin gluten. Se aplicó un diseño de mezclas simplex centroide para optimizar la formulación en función de atributos sensoriales. Las galletas fueron evaluadas mediante análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales, este último realizado por 31 jueces semientrenados utilizando una escala hedónica de nueve puntos. Los resultados mostraron que el color y el sabor fueron los atributos significativamente influenciados por la composición de la mezcla ($p < 0,05$). La formulación óptima estuvo compuesta por 17,70 % de aceite de oliva extra virgen, 29,30 % de harina de kiwicha y 13,00 % de harina de yacón, alcanzando una deseabilidad de 0,993. El producto optimizado presentó 8,90 % de proteína, 6,33 % de fibra cruda, un índice de peróxidos de 3,34 meq O₂/kg y adecuada calidad microbiológica. Se concluye que la combinación de estos ingredientes mejora la calidad nutricional y sensorial de las galletas sin gluten.

Palabras clave: alimentos funcionales; diseño de mezclas; galletas sin gluten; optimización.

Abstract

The growing demand for gluten-free foods with enhanced nutritional value has driven the use of functional ingredients capable of improving the nutritional and sensory properties of bakery products. The objective of this study was to evaluate the synergistic effect of kiwicha flour, yacon flour, and extra virgin olive oil on the quality of gluten-free cookies. A simplex-centroid mixture design was applied to optimize the formulation based on sensory attributes. The cookies were evaluated through physicochemical, microbiological, and sensory analyses, the latter being conducted by 31 semi-trained panelists using a nine-point hedonic scale. The results showed that color and flavor were the attributes significantly influenced by the mixture composition ($p < 0.05$). The optimal formulation consisted of 17.70 % extra virgin olive oil, 29.30 % kiwicha flour, and 13.00 % yacon flour, achieving a desirability value of 0.993. The optimized product contained 8.90 % protein, 6.33 % crude fiber, a peroxide value of 3.34 meq O₂/kg, and satisfactory microbiological quality. It was concluded that the combination of these ingredients improves the nutritional and sensory quality of gluten-free cookies.

Keywords: functional foods; gluten-free cookies; mixture design; optimization.



1. Introducción

Los alimentos funcionales representan una categoría cada vez más relevante en la industria alimentaria debido a su capacidad para proporcionar beneficios adicionales a la salud más allá de su valor nutricional básico. Estos productos incorporan compuestos bioactivos, fibra dietética, antioxidantes y prebióticos que pueden contribuir a la prevención de enfermedades crónicas y al mejoramiento de la calidad de vida de los consumidores. En este contexto, los productos libres de gluten constituyen uno de los segmentos de mayor crecimiento dentro del mercado alimentario; sin embargo, muchos de ellos presentan limitaciones nutricionales asociadas al uso predominante de almidones refinados y harinas altamente procesadas, caracterizados por menores contenidos de proteína, fibra, vitaminas y minerales en comparación con productos elaborados a partir de cereales tradicionales (Malik et al., 2023; Schmidt y Vernaza, 2021). Entre estos productos, las galletas destacan por su amplia aceptación y prolongada vida útil. No obstante, las formulaciones comerciales suelen presentar deficiencias nutricionales y limitaciones tecnológicas que han impulsado la búsqueda de ingredientes alternativos capaces de mejorar simultáneamente la calidad nutricional y las características sensoriales del producto final (Avila-Nava et al., 2022; Toimbayeva et al., 2025).

En los últimos años, los pseudocereales andinos han despertado especial interés debido a su potencial para enriquecer productos sin gluten. Entre ellos, la kiwicha (*Amaranthus caudatus*) destaca por su elevado valor nutricional y funcional. Este pseudocereal contiene aproximadamente 14 % de proteína y presenta un perfil aminoacídico equilibrado, caracterizado por su elevado contenido de lisina. Además, aporta fibra dietética, minerales y ácidos grasos insaturados (Mérida-López et al., 2023). Asimismo, Osei et al. (2025) reportaron contenidos relevantes de fitoesteroles, escualeno, tocoferoles y compuestos fenólicos en semillas de amaranto procedentes de diferentes regiones, destacando su elevada actividad antioxidante y su potencial aplicación

en el desarrollo de productos alimentarios con valor agregado.

Por su parte, el yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es un tubérculo andino reconocido por su elevado contenido de fructooligosacáridos (FOS) e inulina, compuestos no digeribles con actividad prebiótica que favorecen el crecimiento de microorganismos beneficiosos en el tracto intestinal. Se han reportado contenidos de aproximadamente 25,7 g/100 g de oligofruktanos en harina de yacón deshidratada y concentraciones de FOS entre 17,6 y 52,7 g/100 g en concentrados derivados de la raíz. Además, el yacón aporta fibra dietética, minerales y compuestos fenólicos con actividad antioxidante, entre los que destacan el ácido clorogénico y el ácido cafeico. Estas características han favorecido su incorporación en productos de panificación enriquecidos, donde contribuye a incrementar el contenido de fibra y el potencial saludable de las formulaciones (Chessum et al., 2023; Rodrigues et al., 2011).

De manera complementaria, el aceite de oliva extra virgen (AOEV) se caracteriza por su elevado contenido de ácido oleico y por la presencia de compuestos bioactivos como tocoferoles, fitoesteroles, escualeno y compuestos fenólicos, responsables de gran parte de su capacidad antioxidante. Estos compuestos han sido vinculados con efectos protectores frente al estrés oxidativo y procesos inflamatorios relacionados con enfermedades crónicas (Gorzynik-Debicka et al., 2018). Asimismo, el AOEV contribuye a mejorar la estabilidad oxidativa de los alimentos al reducir la formación de productos de oxidación durante el almacenamiento y preservar la calidad lipídica de productos horneados (Giuffrè et al., 2022). Su utilización como sustituto de grasas convencionales también ha mostrado resultados favorables en términos de aceptación sensorial, conservación de propiedades físicas y mantenimiento de características texturales adecuadas en productos de panificación (Giarnetti et al., 2015; Kaçar y Özay, 2019; Matsakidou et al., 2010).

Aunque diversos estudios han evaluado individualmente la incorporación de pseudocereales, ingredientes prebióticos y aceites vegetales en productos de panificación, la



evidencia disponible sobre el efecto combinado de harina de kiwicha, harina de yacón y aceite de oliva extra virgen en formulaciones sin gluten aún es limitada. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar los efectos sinérgicos de la kiwicha, el yacón y el aceite de oliva extra virgen sobre la calidad nutricional y sensorial de galletas funcionales sin gluten mediante un diseño experimental de mezclas.

2. Metodología

2.1. Materiales

Se emplearon harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*), harina de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y aceite de oliva extra virgen (AOEV) como ingredientes funcionales principales para la formulación de galletas sin gluten. La harina de kiwicha y la harina de yacón fueron adquiridas de proveedores nacionales con registro sanitario vigente, mientras que el AOEV procedió de productores de la región Tacna, Perú. Como ingredientes complementarios se utilizaron harina de nopal, huevo fresco, estevia líquida, esencia de vainilla, canela en polvo, sal y polvo de hornear, manteniéndose constantes en todas las formulaciones experimentales.

2.2. Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental de mezclas tipo I-Optimal para evaluar los efectos de las proporciones de AOEV (10–30 %), harina de kiwicha (20–40 %) y harina de yacón (10–30 %) sobre la calidad de galletas funcionales sin gluten. El diseño generó 16 formulaciones experimentales, manteniéndose constante el 40 % restante de la formulación. Los datos obtenidos fueron ajustados mediante modelos polinomiales de mezclas y analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 5 %. La adecuación de los modelos se verificó mediante el coeficiente de determinación (R^2) y la prueba de falta de ajuste. Asimismo, se construyeron superficies de respuesta y diagramas de contorno para evaluar los efectos individuales y combinados de los componentes de la mezcla. La formulación óptima se determinó mediante la función de deseabilidad propuesta por Derringer y Suich en

1980, siguiendo los principios descritos por Cornell (2011).

2.3. Elaboración de las galletas

Las formulaciones experimentales fueron elaboradas a partir de las proporciones definidas por el diseño de mezclas. Los ingredientes secos y líquidos fueron homogenizados durante 5 min utilizando una mezcladora de mesa. Posteriormente, la masa se laminó hasta alcanzar un espesor de 4–6 mm y se moldeó en piezas circulares de 4 cm de diámetro. Las muestras fueron horneadas en un horno eléctrico a 120 °C durante 25 min, enfriadas a temperatura ambiente (20–25 °C) durante 1 h y almacenadas en envases herméticos hasta su posterior evaluación.

2.4. Caracterización fisicoquímica microbiológico y sensorial

Las formulaciones obtenidas fueron caracterizadas mediante la determinación de humedad, cenizas, proteína, lípidos, fibra cruda, carbohidratos, pH, acidez titulable e índice de peróxidos. Los análisis se realizaron siguiendo metodologías oficiales de la AOAC International (2023). La formulación optimizada fue evaluada microbiológicamente mediante la determinación de mohos y levaduras, coliformes totales, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp., verificándose el cumplimiento de los criterios microbiológicos establecidos por la normativa sanitaria peruana para productos de panificación. La aceptabilidad sensorial de las formulaciones fue evaluada por un panel conformado por 31 jueces semientrenados. Las muestras fueron codificadas mediante números aleatorios de tres dígitos y presentadas en orden aleatorizado a los evaluadores. Se analizaron los atributos de olor, color, sabor y textura utilizando una escala hedónica estructurada de nueve puntos, donde los valores más altos indicaron una mayor aceptación del producto.

3. Resultados

3.1. Modelado de mezclas y superficies de respuesta sobre los atributos sensoriales

Los modelos de mezcla evidenciaron que la influencia de las proporciones de aceite de oliva extra virgen (AOEV), harina de kiwicha y harina de yacón dependió del atributo sensorial evaluado. La textura y el olor no presentaron efectos estadísticamente significativos ($p > 0,05$), indicando una limitada influencia de las variaciones de la mezcla sobre estas respuestas. Por el contrario, el color y el sabor fueron significativamente afectados por las interacciones entre los componentes de la formulación. Los términos significativos identificados en los modelos ajustados se presentan en la Tabla 1.

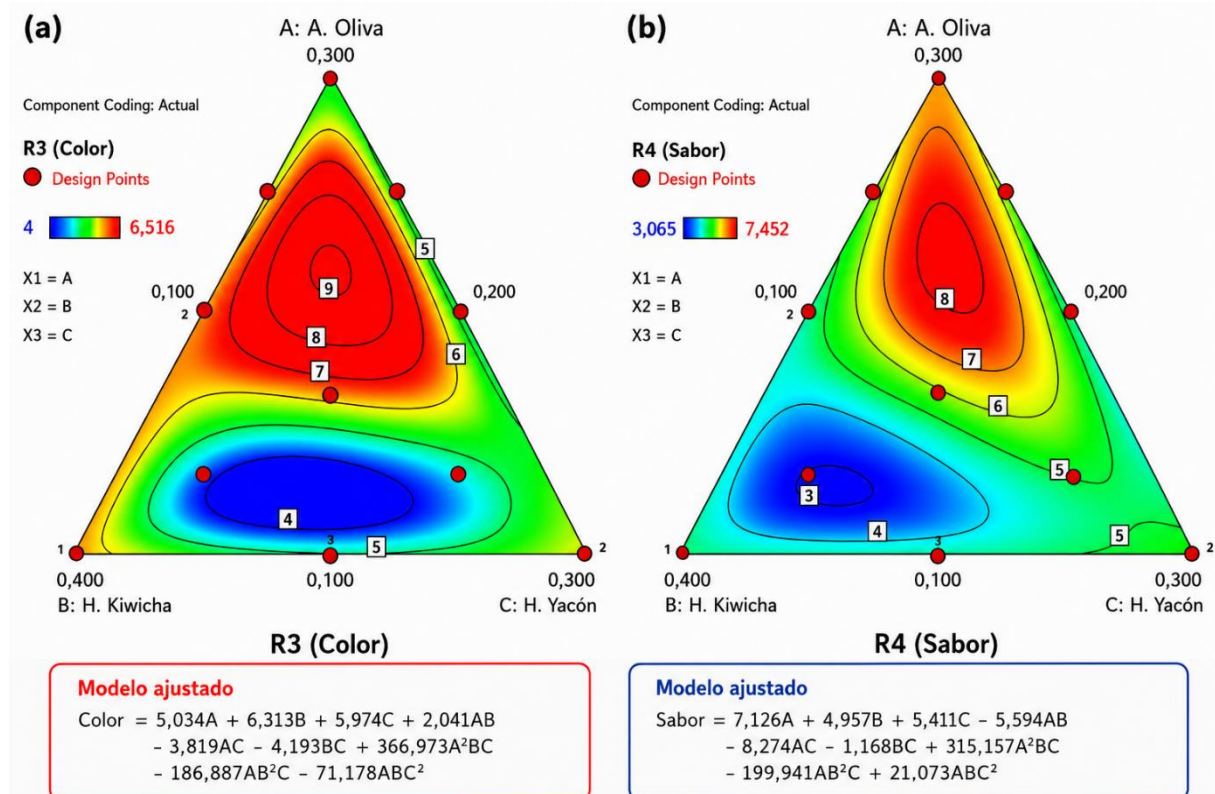
Tabla 1
Términos significativos de los modelos de mezcla ajustados

Respuesta	Término	Coficiente	p-valor
Color	A ² BC	2,041	0,0298
Sabor	AC	-8,274	0,0086
Sabor	A ² BC	315,2	0,0357
Sabor	AB ² C	-199,9	0,0283

Para el atributo color, el término A²BC presentó un efecto significativo ($p = 0,0298$), indicando que la respuesta cromática estuvo asociada a la interacción simultánea de los tres ingredientes evaluados. La Figura 1a muestra la superficie de contorno correspondiente, donde las mayores puntuaciones se localizaron en regiones caracterizadas por proporciones intermedias de los componentes de la mezcla.

El sabor fue la respuesta más sensible a las variaciones de la formulación. La interacción entre AOEV y harina de yacón (AC) presentó un efecto negativo significativo ($p = 0,0086$), mientras que los términos A²BC ($p = 0,0357$) y AB²C ($p = 0,0283$) también contribuyeron significativamente al modelo. Estos resultados indican que la aceptabilidad del sabor estuvo condicionada principalmente por las interacciones entre los ingredientes. La Figura 1b muestra la distribución de esta respuesta dentro del espacio experimental y las regiones asociadas a una mayor aceptación.

Figura 1
Curvas de contorno de la respuesta sensorial obtenidas mediante el diseño de mezclas



Nota. a) Color; (b) Sabor. A = aceite de oliva extra virgen; B = harina de kiwicha; C = harina de yacón.



Las superficies de respuesta mostraron que las mayores puntuaciones de color y sabor se obtuvieron en zonas donde las proporciones de AOEV, harina de kiwicha y harina de yacón permanecieron relativamente equilibradas, reflejando la importancia de las interacciones entre los componentes para maximizar la aceptación sensorial.

3.2. Optimización de la formulación

La optimización multirrespuesta mediante la función de deseabilidad permitió identificar la formulación con el mejor desempeño global considerando simultáneamente las respuestas sensoriales evaluadas. El procedimiento generó cinco soluciones potenciales, seleccionándose la formulación 1 debido a que presentó el mayor valor de deseabilidad global (0,993). La formulación óptima estuvo constituida por 17,70 % de aceite de oliva extra virgen, 29,30 % de harina de kiwicha y 13,00 % de harina de yacón dentro del 60 % correspondiente a los componentes variables de la mezcla (Tabla 2).

Tabla 2
Formulación óptima obtenida mediante la función de deseabilidad

Insumos	Rango evaluado (%)	Nivel óptimo (%)
Aceite de oliva extra virgen	10–30	17,70
Harina de kiwicha	20–40	29,30
Harina de yacón	10–30	13,00
Deseabilidad global	–	0,993

La composición seleccionada se ubicó dentro de rangos intermedios de los tres insumos evaluados, coincidiendo con las regiones de mayor aceptación identificadas en las superficies de respuesta. El elevado valor de deseabilidad obtenido evidencia una alta concordancia entre las respuestas predichas por los modelos y las condiciones objetivo definidas durante el proceso de optimización.

3.3. Caracterización fisicoquímica, sensorial y microbiológica de la formulación optimizada

Los resultados de la composición proximal y las características fisicoquímicas de la formulación optimizada se muestran en la Tabla 3. La galleta presentó contenidos apreciables de proteína, fibra y lípidos, además de un bajo índice de peróxidos, evidenciando condiciones favorables de estabilidad fisicoquímica.

Tabla 3
Composición proximal y propiedades fisicoquímicas

Parámetro	Valor
Proteína (g/100 g)	8,90 ± 0,17
Carbohidratos (g/100 g)	52,21 ± 0,10
Lípidos (g/100 g)	26,21 ± 0,10
Fibra cruda (g/100 g)	6,33 ± 0,05
Humedad (g/100 g)	7,79 ± 0,04
Cenizas (g/100 g)	4,89 ± 0,01
pH	6,64
Índice de peróxidos (meq/kg)	3,34
Densidad aparente (g/mL)	0,76
Densidad absoluta (g/mL)	0,85

Por otro lado, los resultados de la evaluación sensorial de la formulación optimizada se presentan en la Tabla 4. El atributo olor presentó la mayor valoración por parte de los jueces, con una mediana de 6 puntos, mientras que color, sabor y textura registraron medianas de 5 puntos.

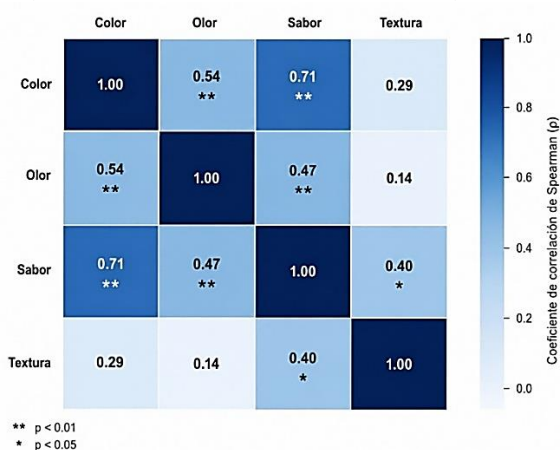
Tabla 4
Puntuaciones hedónicas obtenidas para los atributos sensoriales evaluados

Atributo	Mediana	Rango intercuartílico (Q1–Q3)
Color	5	5,0–6,0
Olor	6	5,0–6,5
Sabor	5	4,0–6,0
Textura	5	4,0–6,0
Color	5	5,0–6,0

La dispersión de las respuestas fue moderada, evidenciando una percepción relativamente homogénea de los atributos evaluados.

Con el propósito de evaluar la asociación entre los atributos sensoriales, se realizó un análisis de correlación de Spearman. La correlación positiva más alta se observó entre color y sabor ($\rho = 0,706$; $p < 0,001$), seguida de las asociaciones entre color y olor ($\rho = 0,542$; $p = 0,002$) y entre olor y sabor ($\rho = 0,473$; $p = 0,007$). La textura presentó una correlación moderada con el sabor ($\rho = 0,397$; $p = 0,027$), mientras que sus asociaciones con color y olor no alcanzaron significancia estadística ($p > 0,05$). Estos resultados indican que la percepción visual y gustativa estuvieron estrechamente relacionadas durante la valoración del producto (Figura 2).

Figura 2
Mapa de calor de las correlaciones de Spearman



Finalmente, los resultados microbiológicos de la formulación optimizada se presentan en la Tabla 5. Los recuentos de mohos y levaduras fueron inferiores a 10 UFC/g, mientras que los coliformes totales y Escherichia coli registraron valores inferiores a 3 NMP/g. Asimismo, no se detectó la presencia de Salmonella spp. en 25 g de muestra. Estos resultados evidencian condiciones microbiológicas favorables del producto elaborado y sugieren la aplicación adecuada de prácticas higiénicas durante su procesamiento.

Todos los parámetros microbiológicos evaluados se encontraron dentro de los límites establecidos por la normativa sanitaria peruana para productos de panificación, confirmando la

inocuidad microbiológica de la formulación desarrollada.

Tabla 5
Características microbiológicas

Parámetro	Resultado
Mohos (UFC/g)	< 10
Levaduras (UFC/g)	< 10
Coliformes totales (NMP/g)	< 3
Escherichia coli (NMP/g)	< 3
Salmonella spp.	Ausencia en 25 g

4. Discusión

4.1. Efecto de la mezcla sobre la aceptación sensorial

Los resultados demostraron que el color y el sabor fueron los atributos sensoriales mmmmmmm influenciados por la composición de la mezcla, mientras que el olor y la textura permanecieron relativamente estables. Este comportamiento indica que la aceptación del producto dependió principalmente de la interacción entre la harina de kiwicha, la harina de yacón y el aceite de oliva extra virgen (AOEV), más que del efecto individual de cada ingrediente. Las superficies de respuesta y el elevado valor de deseabilidad (0,993) evidenciaron que las mayores puntuaciones sensoriales se alcanzaron con proporciones intermedias de los componentes de la formulación.

Estos resultados coinciden con investigaciones en productos de panificación sin gluten, donde las interacciones entre harinas alternativas modifican principalmente el color y el sabor, siendo estos los atributos que condicionan en mayor medida la aceptación del consumidor (Ferreira et al., 2020). De forma similar, Liu et al. (2017) y Shukla et al. (2020) reportaron que formulaciones con niveles moderados de harina de amaranto presentaron mejor aceptación sensorial que aquellas con mayores porcentajes de sustitución, destacando la importancia de mantener un equilibrio entre los componentes de la mezcla.

Además de la formulación, las condiciones de horneado pudieron contribuir al



comportamiento sensorial observado. En el presente estudio se empleó un régimen de 120 °C durante 25 min, inferior al utilizado habitualmente en la elaboración de galletas (160–190 °C), lo que posiblemente redujo la intensidad de las reacciones de Maillard y caramelización responsables del desarrollo del color y del sabor característicos de los productos horneados (Purlis, 2010; Chauhan et al., 2016). Paralelamente, esta condición térmica podría haber favorecido una mayor conservación de fructooligosacáridos e inulina presentes en la harina de yacón, compuestos cuya estabilidad disminuye conforme aumenta la severidad del tratamiento térmico (Campos et al., 2016; Ojansivu et al., 2011).

La formulación óptima estuvo constituida por 17,70 % de AOEV, 29,30 % de harina de kiwicha y 13,00 % de harina de yacón, proporciones que respaldan la existencia de un efecto sinérgico entre los ingredientes. Resultados similares han sido descritos en otros productos de panificación sin gluten, donde las formulaciones intermedias alcanzan mayores niveles de aceptación que aquellas con elevadas concentraciones de ingredientes funcionales (Singla et al., 2024; Bravi et al., 2024). Asimismo, estudios han demostrado que la sustitución parcial de grasas convencionales por AOEV mejora las propiedades sensoriales de productos horneados sin afectar negativamente su aceptabilidad, siempre que se empleen niveles moderados de incorporación (Matsakidou et al., 2010; Kaçar y Özay, 2019; Giarnetti et al., 2015; Giuffrè et al., 2022).

4.2. Implicancias nutricionales de la formulación optimizada

La formulación optimizada presentó 8,90 g/100 g de proteína y 6,33 g/100 g de fibra cruda, valores superiores a los reportados para numerosas galletas sin gluten formuladas principalmente con almidón de arroz, maíz o fécula de yuca, materias primas que limitan el aporte de proteína y fibra dietética (Sresatan et al, 2024). En este sentido, Melo et al. (2023) señalaron que el enriquecimiento nutricional continúa siendo uno de los principales desafíos tecnológicos en el desarrollo de galletas libres de gluten.

El contenido proteico obtenido fue superior al informado por Liu et al. (2017), quienes desarrollaron galletas sin gluten con mezclas de harina de amaranto y harina de frijol y obtuvieron valores cercanos al 7 % de proteína. Asimismo, Chauhan et al. (2016) observaron que la incorporación de harina de amaranto incrementó progresivamente el contenido proteico de las galletas, aunque niveles elevados de sustitución redujeron la aceptación sensorial. Estos antecedentes respaldan la estrategia empleada en el presente estudio, donde la optimización permitió alcanzar un equilibrio entre calidad nutricional y aceptabilidad.

El contenido de fibra también fue superior al descrito para formulaciones comerciales de galletas libres de gluten, que generalmente contienen menos de 3 g/100 g debido al predominio de ingredientes refinados (Mukherjee y Uppaluri, 2025). Arif et al. (2025) destacaron que incrementar el contenido de fibra constituye una de las principales estrategias para mejorar el perfil nutricional de productos de panificación destinados a consumidores que siguen dietas libres de gluten.

Los resultados obtenidos sugieren que la combinación de ingredientes funcionales representa una alternativa eficaz para desarrollar productos con una composición nutricional más equilibrada. Ronie et al. (2021) indicaron que la utilización conjunta de materias primas con características complementarias favorece simultáneamente el valor nutricional y las propiedades tecnológicas de productos de panificación, en cambio Melo et al. (2023) señalaron que esta estrategia constituye una de las tendencias más prometedoras para el desarrollo de alimentos funcionales libres de gluten.

Aunque en este estudio no se determinaron compuestos bioactivos específicos ni la capacidad antioxidante de la formulación, Kaushik y Singh (2026) recomendaron que futuras investigaciones en productos sin gluten incorporen, además de la caracterización proximal, la evaluación de compuestos funcionales y su biodisponibilidad para fortalecer la evidencia sobre sus beneficios nutricionales.

4.3. Estabilidad fisicoquímica y microbiológica del producto

Los parámetros fisicoquímicos obtenidos indican que la formulación optimizada presentó condiciones favorables de estabilidad durante el almacenamiento. El contenido de humedad se encontró dentro de los rangos comúnmente reportados para galletas y otros productos horneados de baja actividad de agua, condición que limita el crecimiento microbiano y contribuye a conservar la textura característica del producto. Šmídová y Rysová (2022) señalaron que el control de la humedad constituye uno de los principales factores que determinan la estabilidad física y la vida útil de productos de panificación sin gluten, mientras que Melo et al. (2023) indicaron que este parámetro influye directamente en la textura, la crocancia y la estabilidad del producto durante el almacenamiento. De forma complementaria, Giuffrè et al. (2022) observaron que bajos contenidos de humedad favorecen la conservación de las propiedades de productos horneados elaborados con aceite de oliva extra virgen.

El índice de peróxidos (3,34 meq O₂/kg) evidenció un bajo grado de oxidación primaria de la fracción lipídica, indicando una adecuada estabilidad oxidativa de la formulación. Giuffrè et al. (2022) demostraron que la sustitución de grasas convencionales por aceite de oliva extra virgen disminuye la formación de productos de oxidación y contribuye a preservar la calidad sensorial durante el almacenamiento, atribuyendo este comportamiento a la mayor estabilidad oxidativa y al contenido de compuestos antioxidantes presentes en este aceite.

La evaluación microbiológica confirmó la inocuidad del producto, evidenciada por la ausencia de *Salmonella* spp. y los bajos recuentos de mohos, levaduras, coliformes totales y *Escherichia coli*. Šmídová y Rysová (2022) señalaron que la combinación de un tratamiento térmico adecuado con una baja actividad de agua constituye una de las principales barreras para controlar el crecimiento microbiano en productos de panificación. De manera consistente, Paucar-Menacho et al. (2022) reportaron que galletas enriquecidas con

pseudocereales presentaron adecuada estabilidad microbiológica durante el almacenamiento cuando fueron elaboradas bajo condiciones de baja humedad y buenas prácticas de procesamiento.

5. Conclusiones

La interacción entre harina de kiwicha, harina de yacón y aceite de oliva extra virgen influyó significativamente en la calidad sensorial de las galletas sin gluten, particularmente en los atributos de color y sabor. La formulación óptima estuvo compuesta por 17,70 % de aceite de oliva extra virgen, 29,30 % de harina de kiwicha y 13,00 % de harina de yacón, alcanzando una deseabilidad global de 0,993.

La formulación optimizada presentó un perfil nutricional mejorado, con 8,90 % de proteína, 6,33 % de fibra cruda y 26,21 % de lípidos, evidenciando el aporte complementario de la kiwicha como fuente de proteína de alta calidad, del yacón como fuente de fibra prebiótica y del aceite de oliva extra virgen como fuente de lípidos saludables y compuestos bioactivos.

El producto desarrollado mostró condiciones favorables de estabilidad e inocuidad, reflejadas en un índice de peróxidos de 3,34 meq O₂/kg, humedad de 7,79 %, ausencia de *Salmonella* spp. en 25 g y recuentos inferiores a los límites de detección para mohos, levaduras, coliformes totales y *Escherichia coli*, confirmando su potencial para el desarrollo de alimentos funcionales sin gluten con adecuada calidad tecnológica y microbiológica.

Contribución de los autores

F. D. Quenaya: Conceptualización, investigación y redacción del borrador original. **N. T. Delgado:** Conceptualización, curación de datos, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, supervisión, validación, visualización, redacción del borrador original y redacción, revisión y edición. **L. S. Vega:** Conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, software,



validación, visualización, redacción del borrador original y redacción, revisión y edición.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés relacionados con este estudio.

6. Referencias bibliográficas

- Arif, M. R., Hussain, A., Najam, A., Ashfaq, M., Bakhtawar, F., Zulfiqar, N., Gorski, F. I., Firdous, N., Elkhedir, A. E., y Wang, Y. (2025). A review on gluten-free and low-glycemic index bakery products, especially corn based breads, noodles, and multigrain flours. *Discover Applied Sciences*, 7(6).
<https://doi.org/10.1007/s42452-025-07153-4>
- Avila-Nava, A., Alarcón-Telésforo, S. L., Talamantes-Gómez, J. M., Corona, L., Gutiérrez-Solis, A. L., Lugo, R., y Márquez-Mota, C. C. (2022). Development of a Functional Cookie Formulated with Chaya (*Cnidioscolus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnston) and Amaranth (*Amaranthus cruentus*). *Molecules* (Basel, Switzerland), 27(21), 7397.
<https://doi.org/10.3390/molecules27217397>
- Bravi, E., Sileoni, V., y Marconi, O. (2024). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as functional ingredient for the formulation of gluten-free shortbreads. *Foods* (Basel, Switzerland), 13(3), 377.
<https://doi.org/10.3390/foods13030377>
- Campos, D., Aguilar-Galvez, A., y Pedreschi, R. (2016). Stability of fructooligosaccharides, sugars and colour of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots during blanching and drying. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(5), 1177–1185.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.13074>
- Chauhan, A., Saxena, D. C., y Singh, S. (2016). Physical, textural, and sensory characteristics of wheat and amaranth flour blend cookies. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1).
<https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1125773>
- Chessum, K., Chen, T., Kam, R., y Yan, M. (2022). A comprehensive chemical and nutritional analysis of New Zealand yacon concentrate. *Foods* (Basel, Switzerland), 12(1), 74.
<https://doi.org/10.3390/foods12010074>
- Cornell, J. A. (2011). *Experiments with mixtures: Designs, models, and the analysis of mixture data* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
<https://doi.org/10.1002/9781118204221>
- Ferreira, F. J. N., Alves, R. de A., Sousa, A. M. B. de, Abreu, V. K. G., Firmino, F., Lemos, T. de O., y Pereira, A. L. F. (2020). Características físico-químicas e sensoriais de cookies sem glúten contendo farinha de linhaça e enriquecido com fibras. *Research, Society and Development*, 9(7), e565974474.
<https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4474>
- Giarnetti, M., Paradiso, V. M., Caponio, F., Summo, C., y Pasqualone, A. (2015). Fat replacement in shortbread cookies using an emulsion filled gel based on inulin and extra virgin olive oil. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 63(1), 339–345.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.063>
- Giuffrè, A. M., Caracciolo, M., Capocasale, M., Zappia, C., y Poiana, M. (2022). Effects of shortening replacement with extra virgin Olive oil on the physical-chemical-sensory properties of Italian Cantuccini biscuits. *Foods* (Basel, Switzerland), 11(3), 299.
<https://doi.org/10.3390/foods11030299>
- Gorzynik-Debicka, M., Przychodzen, P., Cappello, F., Kuban-Jankowska, A., Marino Gammazza, A., Knap, N., Wozniak, M., y Gorska-Ponikowska, M. (2018). Potential

- health benefits of Olive oil and plant polyphenols. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(3), E686. <https://doi.org/10.3390/ijms19030686>
- Kaçar, D., y Özay, D. (2019). Olive oil shortenings as an alternative to commercial shortenings in cake production: physical and sensory properties. *Journal of Food Measurement & Characterization*, 13(4), 2846–2852. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00205-5>
- Kaushik, A., y Singh, S. (2026). Sustainable grains for gluten-free diets: the potential of millets and pseudocereals in alleviating gluten-related disorders. *Sustainable Food Technology*. <https://doi.org/10.1039/d5fb00786k>
- Lachman, J., Fernández, E. C., y Orsák, M. (2003). Yacon [Smallanthus sonchifolia (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use - a review. *Plant, Soil and Environment*, 49(6), 283–290. <https://doi.org/10.17221/4126-pse>
- Liu, S. X., Chen, D., y Xu, J. (2017). Evaluation of gluten-free amaranth and navy bean flour blends on quality of sugar cookies. *Journal of Food Research*, 6(6), 63. <https://doi.org/10.5539/jfr.v6n6p63>
- Malik, M., Sindhu, R., Dhull, S. B., Bou-Mitri, C., Singh, Y., Panwar, S., y Khatkar, B. S. (2023). Nutritional composition, functionality, and processing technologies for amaranth. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2023/1753029>
- Matsakidou, A., Blekas, G., y Paraskevopoulou, A. (2010). Aroma and physical characteristics of cakes prepared by replacing margarine with extra virgin olive oil. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 43(6), 949–957. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.002>
- Melo, B. G. de, Tagliapietra, B. L., y Clerici, M. T. P. S. (2023). Evolution of the technological, sensory, and nutritional quality of gluten-free cookies: a critical review. *Food Science and Technology*, 43. <https://doi.org/10.5327/fst.75822>
- Mérida-López, J., Pérez, S. J., Bergenståhl, B., Purhagen, J., y Rojas, C. C. (2023). Nutritional Composition of Six Amaranth (Amaranthus caudatus) Andean Varieties. *Crops*, 3(1), 78–87. <https://doi.org/10.3390/crops3010008>
- Mukherjee, P., y Uppaluri, R. (2025). Formulation and characterisation of sustainable nutritious gluten-reduced cookies with indigenous grains from Northeast India. *Sustainable Food Technology*, 3(5), 1589–1609. <https://doi.org/10.1039/d5fb00271k>
- Ojansivu, I., Ferreira, C. L., y Salminen, S. (2011). Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(1), 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.11.005>
- Osei, E. D., Afedzi, A. E. K., Amotoe-Bondzie, A., Ivanišová, E., Encina-Zelada, C. R., Czaplicki, S., Čičová, I., Jančo, I., Gálik, B., y Afoakwa, N. A. (2025). Nutritional and bioactive characterization of Amaranthaceae seeds from Peru, Slovakia, and Poland: A comparative study. *Food Science & Nutrition*, 13(9), e70901. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70901>
- Paucar-Menacho, L. M., Simpalo-López, W. D., Castillo-Martínez, W. E., Esquivel-Paredes, L. J., y Martínez-Villaluenga, C. (2022). Improving nutritional and health benefits of biscuits by optimizing formulations based on sprouted pseudocereal grains. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(11), 1533. <https://doi.org/10.3390/foods11111533>
- Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products - A review. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008>



- Rodrigues, F. C., Castro, A. S. B., Martino, H. S. D., y Ferreira, C. L. de L. F. (2011). Farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): produção e caracterização química. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 70(3), 290–295. <https://doi.org/10.53393/rial.2011.v70.32535>
- Ronnie, M. E., Zainol, M. K., y Mamat, H. (2021). A review on the recent applications of gluten-free flour, functional ingredients and novel technologies approach in the development of gluten-free bakery products. *Food Research*, 5(5), 43–54. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(5\).721](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(5).721)
- Schmidt, D., Verruma-Bernardi, M. R., Forti, V. A., y Borges, M. T. M. R. (2023). Quinoa and amaranth as functional foods: A review. *Food Reviews International*, 39(4), 2277–2296. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1950175>
- Shukla, U., Sehar, M., Tongbram, T., Yaseen, M., y Bora, J. (2020). Physical and sensory characteristics of cookies from rice and amaranth flour blends. *European Food Science and Engineering*, 1(1), 24–29. <https://izlik.org/JA64ZH74KW>
- Singla, P., Mahajan, M., Dhillon, G. K., Sharma, S., y Waseem, M. (2024). Nutritional, physicochemical, and sensorial characterisation of quinoa-millet enriched gluten-free functional cookies. *Acta alimentaria*, 53(4), 673–684. <https://doi.org/10.1556/066.2024.00146>
- Šmídová, Z., y Rysová, J. (2022). Gluten-free bread and bakery products technology. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(3), 480. <https://doi.org/10.3390/foods11030480>
- Sresatan, P., Dhamvithee, P., Nualkaekul, S., Hudthagosol, C., y Sanporkha, P. 2024. Optimization of rice flour, corn starch and modified tapioca starch to produce gluten free cookies. *Natural and Life Sciences Communications*. 23(2): e2024024. <https://doi.org/10.12982/NLSC.2024.024>
- Toimbayeva, D., Saduakhasova, S., Kamanova, S., Kiykbay, A., Tazhina, S., Temirova, I., Muratkhan, M., Shaimenova, B., Murat, L., Khamitova, D., y Ospankulova, G. (2025). Prospects for the use of amaranth grain in the production of functional and specialized food products. *Foods (Basel, Switzerland)*, 14(9), 1603. <https://doi.org/10.3390/foods14091603>