

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Optimización de la concentración de polvo de hornear y de la sustitución parcial de harina de avena por harina de amaranto en la elaboración de ponqués

Martina Isabela Bucheli Dobronsky

Paula Rafaela Clerque Flores

Ingeniería en Alimentos

Trabajo de fin de carrera presentado
como requisito para la obtención del
título de

Ingeniería en Alimentos

Quito, 10 de diciembre de 2024

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

Título del Trabajo de la materia final de carrera

**Martina Isabela Bucheli Dobronsky
Paula Rafaela Clerque Flores**

María José Andrade Cuvi, Ph.D.

Quito, 10 de diciembre de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Martina Isabela Bucheli Dobronsky

Código: (00215737)

Cédula de identidad: 1722254313

Lugar y fecha: Quito, 10 de diciembre de 2024

Nombres y apellidos: Paula Rafaela Clerque Flores

Código: (00321972)

Cédula de identidad: 1722822663

Lugar y fecha: Quito, 10 de diciembre de 2024

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de QuitoUSFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en la optimización de la concentración de polvo de hornear y la sustitución parcial de harina de avena por harina de amaranto en la elaboración de ponqués, con el objetivo de desarrollar un producto que combine atributos funcionales, nutricionales y sensoriales. Se empleó la metodología de superficie de respuesta utilizando un diseño central compuesto a partir de un diseño factorial 2^2 que permitió evaluar el efecto de ambas variables sobre elasticidad, masticabilidad, color (Hue y Chroma) y simetría. La formulación optimizada (10% de harina de amaranto y 2% de polvo de hornear) alcanzó una deseabilidad compuesta de 0,91. mostró un equilibrio en textura, buen aporte proteico (8,28 g/100 g) y bajo contenido de azúcares (2,22 g/100 g), calificándose como un producto bajo en calorías. Sin embargo, el análisis sensorial de la formulación optimizada reveló una aceptabilidad global moderada, con puntuaciones bajas en dulzor (5,5) y sabor (5,9), lo que podría atribuirse al uso de ingredientes no convencionales como el monkfruit, el orito y el amaranto. En términos de composición química, el ponqué destacó por un bajo contenido de azúcares (2,22 g/100 g) y un aporte significativo de proteínas (8,27 g/100 g) y un aporte calórico 332 KJ. En conclusión, el uso de harinas no convencionales y edulcorantes saludables presenta un alto potencial para la elaboración de productos horneados más nutritivos. No obstante, su impacto en las características sensoriales requiere realizar ajustes adicionales en la formulación para mejorar la aceptación del consumidor. Este estudio contribuye al desarrollo de alternativas saludables y funcionales en el sector de panificación, evidenciando que es posible balancear calidad nutricional y tecnológica con una adecuada aceptación sensorial.

Palabras clave: optimización, amaranto, leudante, propiedades texturales, ponqué funcional

ABSTRACT

The present study focused on optimizing the concentration of baking powder and the partial substitution of oat flour with amaranth flour in the preparation of cakes, aiming to develop a product that combines functional, nutritional, and sensory attributes. The response surface methodology was applied using a central composite design based on a 2^2 factorial design, allowing the evaluation of the effect of both variables on elasticity, chewiness, color (Hue and Chroma), and symmetry. The optimized formulation (10% amaranth flour and 2% baking powder) achieved a composite desirability of 0.91, demonstrating a balance in texture, a good protein contribution (8.28 g/100 g), and low sugar content (2.22 g/100 g), qualifying as a low-calorie product. However, the sensory analysis of the optimized formulation revealed moderate overall acceptability, with low scores in sweetness (5.5) and flavor (5.9), which could be attributed to the use of unconventional ingredients such as monk fruit, orito, and amaranth. In terms of chemical composition, the cake stood out for its low sugar content (2.22 g/100 g) and a significant protein contribution (8.27 g/100 g), with a caloric intake of 332 KJ. In conclusion, the use of non-conventional flours and healthy sweeteners presents high potential for the development of more nutritious baked goods. Nevertheless, their impact on sensory characteristics requires further adjustments in the formulation to enhance consumer acceptance. This study contributes to the development of healthy and functional alternatives in the bakery sector, demonstrating that it is possible to balance nutritional and technological quality with adequate sensory acceptance.

Key words: optimization, amaranth, leavening agent, textural properties, functional cake

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	11
Objetivos	16
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
2.1. Materiales	17
2.2. Diseño Experimental	17
2.3. Formulación y elaboración del ponqué	18
2.4. Ensayos preliminares	20
2.5. Determinaciones analíticas	21
2.5.1. <i>Color</i>	21
2.5.2. <i>Propiedades texturales</i>	21
2.5.3. <i>Análisis de Altura</i>	21
2.5.4. <i>Volumen específico, índice de volumen, simetría y uniformidad</i>	21
2.6. Análisis Estadístico	22
2.7. Propiedades nutricionales y valor energético	23
2.7.1. <i>Determinación de azúcares totales</i>	24
2.7.2. <i>Determinación de fibra cruda</i>	24
2.7.3. <i>Determinación de sodio</i>	24
2.8. Evaluación sensorial ponqués	25
2.9. Volumen de la formulación optimizada	25
2.10. Diseño del prototipo	26
3 .RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
3.1. Análisis Preliminares	27
3.2. Efecto de la variación de concentración de harina de amaranto y leudante sobre la calidad del ponqué	27
3.3. Optimización de la formulación de ponqué	32
3.4. Análisis sensorial de la formulación optimizada de ponqué	34
3.5. Análisis del volumen de la formulación optimizada de ponqué	37
3.6. Composición química de la formulación optimizada de ponqué	38
3.7. Diseño del prototipo	41
4 CONCLUSIONES.....	43
5 RECOMENDACIONES.....	44
6 .REFERENCIAS.....	45

7 .ANEXOS.....50

7.1. ANEXO A: Consentimiento Informado..... 50

7.2. ANEXO B: Cuestionario Prueba de nivel de agrado 51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores codificados y reales de las variables independientes utilizadas en el diseño experimental.	18
Tabla 2. Formulación base de ponqué	18
Tabla 3. Coeficientes de regresión de modelos polinomiales predichos para las características de calidad del ponqué.	288
Tabla 4. Calificación de los atributos sensoriales de la formulación optimizada.....	344
Tabla 5. Composición química de la formulación óptima del ponqué.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de ponqué en base a la sustitución parcial de harina de avena por harina de amaranto y diferentes niveles de polvo de hornear	20
Figura 2. Vista frontal de un ponqué horneado.....	22
Figura 3. Gráficos de superficie de respuesta para el efecto de la sustitución parcial de harina amaranto (X_1) y la concentración de leudante (X_2) sobre el Hue (a), Chroma (b), masticabilidad (c) y elasticidad (d) del ponqué.....	30
Figura 4. Gráficos de superficie de respuesta para el efecto de la sustitución parcial de harina de amaranto (X_1) y la concentración de leudante (X_2) sobre el índice de simetría (e) del ponqué.....	31
Figura 5. Gráfico de superficie de respuesta para el efecto de la sustitución parcial de harina de amaranto (X_1) y la concentración de leudante (X_2) del ponqué.....	333
Figura 6. Atributos sensoriales de la formulación optimizada.	36
Figura 7. Apariencia global (a) e imagen 3D (b) del ponqué (formulación optimizada).....	37
Figura 8. Etiqueta nutricional (a)y etiqueta semáforo (b) del ponqué.	41
Figura 9. Arte visión parte frontal y posterior del ponqué.	422
Figura 10. Arte completa del ponqué.	422

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de reformular productos de panadería es especialmente relevante en contextos donde la obesidad y el sobrepeso son problemas globales críticos. Según la OMS, el 13% de los adultos y el 39% de la población mundial sufren de sobrepeso u obesidad, mientras que 41 millones de niños menores de cinco años se encuentran en esta condición. En Ecuador, según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) el 35% de los niños presenta sobrepeso u obesidad, evidenciando una problemática vinculada al consumo de alimentos hipercalóricos y al sedentarismo (INEC, 2019).

La innovación en alimentos saludables ha emergido como una tendencia clave, ofreciendo alternativas que combinan sabor con una reducción en grasas saturadas y azúcares refinados, promoviendo una menor ingesta calórica. Este cambio refleja las demandas crecientes de los consumidores por productos que favorezcan la salud y el bienestar. En el sector de productos horneados, particularmente en panes y tortas, estas preferencias han impulsado transformaciones significativas, con un crecimiento anual del 10% en las ventas de panificación saludable, superando ampliamente el 5% registrado en otros productos de consumo masivo (Baella Mendoza & Pereira Meza, 2022).

A nivel global, los productos horneados representan un mercado significativo, con un valor de 37,3 billones de dólares en 2020. En Ecuador este sector está dominado por PYMES que emplean a más de 22,000 personas generando ventas por 265,2 millones de dólares en 2021, con un crecimiento promedio anual del 4,5% entre 2006 y 2021 (Mayorga, 2023). Sin embargo, el consumo habitual de productos de panadería como galletas, pasteles y panes presenta inconvenientes importantes. Estos productos presentan altos contenidos de azúcares refinados, grasas saturadas y son bajos en fibra dietética siendo opciones altamente calóricas. Además, la

harina de trigo es un ingrediente base en estas preparaciones, que, si bien contribuye a la estructura y el volumen, también plantea preocupaciones por su elevado índice glucémico y escaso valor nutricional (Siddiqui et al., 2022).

Con estos antecedentes, la reformulación de productos de panadería como galletas, pasteles y bizcochos se presenta como una estrategia clave para mejorar su perfil nutricional y abordar problemas de salud pública como el sobrepeso, la obesidad y la malnutrición en Ecuador (Mayorga, 2023). En los últimos años, diversos estudios han explorado la sustitución de ingredientes convencionales por harinas funcionales en productos de panadería y pastelería, con el objetivo de mejorar tanto sus propiedades nutricionales como fisicoquímicas y sensoriales. Diversas investigaciones han evaluado el uso de harinas no convencionales como alternativas a la reformulación de productos con mayor calidad nutricional como harina de legumbres (garbanzo) y derivados de subproductos ricos en polifenoles: semilla de uva, hueso de aceituna (Giannoutsos, 2023), harina de cáscaras de plátano (Al-Sahlany & Al-Musafer, 2020) y harina de batata y polvo de zanahoria (Halim et al., 2024) que se incorporan en la formulación como sustitutos de la harina de trigo en productos como panes, galletas y muffins. Estudios en pasteles o bizcochos resultan menos comunes.

El ponqué se define como un bizcocho pequeño horneado en moldes unitarios. Es uno de los productos más dulces y grasos dentro de la pastelería (Baella Mendoza & Pereira Meza, 2022). Este producto es consumido globalmente y representa una excelente oportunidad para incorporar ingredientes funcionales que promuevan la salud. Investigaciones recientes han explorado el uso de proteínas y fibras dietéticas de diversas fuentes en la preparación de bizcochos convencionales y sin gluten, con el objetivo de equilibrar sabor y beneficios nutricionales (Hatlim et al., 2024). Estas reformulaciones ofrecen una oportunidad para promover el uso de materias

primas locales o no convencionales como la avena, amaranto, lo que no solo mejora el valor nutricional, sino que también contribuye a la sostenibilidad y al fortalecimiento de la economía local, al rescatar cultivos en riesgo de desaparición y preservar la biodiversidad agrícola (González, Alcántara & Fernández, 2019).

La avena (*Avena sativa*) es reconocida como el quinto cultivo de mayor producción a nivel mundial. El cultivo de avena en el Ecuador ha conseguido una mejor aceptación debido a las condiciones del suelo que permiten un buen desarrollo de la planta principalmente en las provincias de Azuay, Cotopaxi, Chimborazo, Loja, Tungurahua y el Oro. El consumo de avena se ha establecido alrededor de 2,96 kg/persona/día (Moposita, 2023). La avena contiene fibra soluble como β -glucanos con resistencia a la digestión y absorción en el intestino delgado y además se ha comprobado que reduce los niveles de colesterol en la sangre; contiene micronutrientes entre los que destacan vitamina E, folatos, zinc, hierro, selenio, cobre y manganeso. Aporta lípidos con un buen perfil de ácidos grasos insaturados y proteínas con un óptimo equilibrio de aminoácidos (Biel et al., 2020).

La producción de amaranto (*Amaranthus spp.*) en Ecuador no supera las 15 hectáreas, a pesar de que el país cuenta con aproximadamente 80 000 hectáreas de tierras cultivables. El consumo de este cereal es muy bajo, principalmente porque es poco conocido en el mercado. Solo el 4% de la población ecuatoriana está familiarizada con el amaranto y lo consume, por lo que se busca fomentar su aceptación en el mercado (Fierro et al., 2020). El valor nutricional del amaranto es excelente debido a su elevado aporte de proteína destacando por su contenido de lisina, un aminoácido esencial en la alimentación humana y que generalmente es limitado en otros cereales. Posee cantidades importantes de fibra dietética, vitaminas E y B, minerales como hierro y calcio, propiedades nutricionales que superan a otros cereales (Fuentes et al., 2021).

Tanto la avena como el amaranto pueden ser usados como grano entero o en harinas y han sido estudiados como sustitutos de la harina de trigo en productos como bizcocho edulcorado con panela (Conde Pumarimay, 2019), galletas dulces (Tamayo Rendón, 2024), tortillas y crackers (Gebreil, Ali, & Mousa, 2020). Por otro lado, desde una perspectiva relacionada con el sabor dulce característico de los ponqués, aunque se utilizan edulcorantes químicos como acesulfamo- K, sucralosa, alitamo, neotamo y otros naturales como estevia, raíz de regaliz, monkfruit, baya milagrosa (*Synsepalum dulcificum*), entre otros, existen otras alternativas que se pueden utilizar para sustituirlos (Ghusn et al., 2023). Por ello es relevante explorar opciones naturales como el camote, la remolacha y el banano, los cuales además de aportar dulzor contribuyen con nutrientes adicionales como vitaminas y minerales enriqueciendo el perfil nutricional del producto sin comprometer sus características organolépticas. En este sentido se ha estudiado el uso de pulpa de manzana (Dana & Sonia, 2024) y fruto de palmera datilera (Ibidunni, 2019), como sustituto de azúcares en panificados.

La elaboración de productos horneados con harinas no convencionales representa un desafío, ya que se debe equilibrar la maximización de los beneficios nutricionales con la preservación de la calidad sensorial y tecnológica, aspectos esenciales para la aceptación del consumidor (Carboni, 2024). El uso de ingredientes libres de gluten altera el comportamiento viscoelástico de las masas debilitando la red de gluten y afectando negativamente los parámetros clave que se estudian en el análisis de perfil de textura (TPA), el color, el alveolado de la miga y el volumen (Halim et al., 2024). El volumen y la esponjosidad son propiedades cruciales en bizcochos y pasteles, ya que influyen directamente en la percepción del consumidor. Por lo tanto, el uso de agentes leudantes es fundamental para obtener la textura y el volumen deseado, asegurando así la aceptación del producto (Sandoval, 2019).

El agente leudante se denomina a cualquier sustancia que se utiliza en masas y batidos para provocar la formación de gases para crear una mezcla ligera y ablandada. Estos agentes pueden ser productos químicos, biológicos o sintéticos. En cuanto a su función, los agentes leudantes provocan la expansión de la masa y consecuentemente su rebozado a través de la liberación de gases dentro de la mezcla, con lo que se obtienen productos horneados con poros dentro de su estructura. Su uso además de crear estructura, otorga textura mediante la expansión de los gases (Neeharika et al., 2020).

A pesar de que existen varios agentes leudantes los más utilizados son el bicarbonato de sodio y el polvo de hornear (compuesto por elementos alcalinos de bicarbonato de sodio, sales ácidos y almidón de maíz) (Nugroho et al., 2024). Por un lado, el polvo de hornear permite conseguir una mayor altura y volumen en masas debido a que actúa mediante un mecanismo de doble acción. El ácido de acción rápida es activado durante el mezclado liberando CO_2 , mientras que el resto es liberado por el ácido de acción lenta que se activa por calor durante el proceso de horneado. En esta fase se forman bolsas de aire que son las que otorgan volumen al producto horneado (Alkaloo & Cao, 2021).

El bicarbonato de sodio también libera CO_2 cuando se mezcla con un ácido y esto genera la expansión de la masa. Además de su función leudante, actúa como regulador de acidez, lo que aporta a la textura y sabor del producto final (Neeharika et al., 2020). En relación con los agentes leudantes, se encuentran numerosas investigaciones sobre bizcochos donde se analiza el uso de bajas concentraciones de polvo de hornear demostrando afectaciones negativas (Asamoah, et al 2023), así como la comparación de diferentes concentraciones de agentes leudantes en muffins (Sandoval, 2019).

El uso de materias primas no convencionales en formulaciones de productos panificados y de pastelería constituye una alternativa nutricional y tecnológica que debe ser optimizada para obtener un producto saludable que pueda ser introducido al mercado. El propósito de este estudio fue sustituir la harina de trigo en ponqués por harinas no convencionales, como la harina de avena y amaranto, con el fin de incrementar el contenido de proteína, fibra y otros nutrientes, y desarrollar un producto que mantenga un sabor, textura y apariencia agradables, que se asemeje lo más posible a los productos elaborados con harina de trigo común, además de evaluar el valor nutricional y los efectos de estas harinas en las propiedades sensoriales, características físicas y parámetros nutricionales del producto.

Objetivos

Objetivo general

- Optimizar la concentración de polvo de hornear y la sustitución parcial de harina de avena por harina de amaranto en la elaboración de ponqués.

Objetivo específico

- Analizar el efecto de los diferentes niveles de polvo de hornear y de harina de amaranto sobre la calidad fisicoquímica de ponqué.
- Diseñar un prototipo de ponqué basado en la formulación optimizada, evaluando tanto sus características bromatológicas como su aceptabilidad sensorial.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Se utilizó orito (madurez comercial), harina de avena, harina de amaranto, bebida de almendra de chocolate, huevo, pasta de avellana, cacao puro en polvo, aceite de oliva, polvo de hornear, bicarbonato de sodio, vinagre blanco y monkfruit (edulcorante) adquiridos en el mercado local. Los huevos (tamaño mediano) fueron adquiridos en la Asociación Avicultores Puéllaro (AAP), parroquia rural de la provincia de Pichincha.

2.2. Diseño Experimental

Se configuró y analizó una metodología de superficie de respuesta (MSR) con un diseño central compuesto (CCD) factorial 2^2 utilizando el software Statgraphics 18 (Virginia, EEUU.) para investigar la influencia de dos factores independientes: 1) sustitución de harina de amaranto (Factor A) (10 a 40%) y 2) concentración de leudante químico polvo de hornear (Factor B) (niveles: 1 a 5%) sobre los parámetros de calidad (variables dependientes) de las muestras de ponqué.

Como se muestra en la Tabla 1, la matriz experimental CCD consistió en 12 ejecuciones (realizadas en orden aleatorio) en las que se asignaron tres niveles a cada factor (bajo: -1, central: 0 y alto: +1), con cuatro puntos centrales adicionales replicados para garantizar la reproducibilidad, así como para evaluar el error experimental del modelo. Los niveles máximo y mínimo de cada variable independiente se seleccionaron de acuerdo con los resultados obtenidos en estudios preliminares (Sanz-Penella et al., 2013 & Otero-Guzmán, Rodríguez-Sandoval & Tabares-Londoño, 2020). El diseño tuvo un total de 24 unidades experimentales, pues se realizaron dos mediciones repetidas por cada medición de la variable de respuesta.

Tabla 1. Valores codificados y reales de las variables independientes utilizadas en el diseño experimental.

ESCALA NORMALIZADA		ESCALA REAL EN BASE PANADERA	
AMARANTO	LEUDANTE	AMARANTO [%]	LEUDANTE [%]
-1	1	14,37	4,41
1	-1	35,63	1,58
1	1	35,63	4,41
-1	-1	14,37	1,58
0	1,41	25	5
0	-1,41	25	1
1,41	0	40	3
-1,41	0	10	3
0	0	25	3
0	0	25	3
0	0	25	3
0	0	25	3

Fuente: Statgraphics 18, Virginia, EE. UU (2024).

2.3. Formulación y elaboración del ponqué

La formulación base del ponqué se muestra en la Tabla 2, donde se indican los porcentajes de los ingredientes. Los porcentajes de harina de avena por harina de amaranto y los niveles de polvo de hornear se colocaron según el diseño experimental (Tabla 1).

Tabla 2. Formulación base de ponqué.

Ingredientes	Porcentaje (%)
Orito	37
Harina de Avena	21
Bebida de almendra de chocolate	19
Huevo	11
Pasta de Avellana	6
Cacao Puro en Polvo	3
Aceite de Oliva	1
Polvo de hornear	0,5
Bicarbonato de Sodio	0,5
Vinagre Blanco	0,5
Monkfruit	0,4
Total	100

Para la elaboración de los ponqués se utilizó el método de batido. Las claras y yemas se batieron por separado usando una batidora manual. Se pesaron todos los ingredientes secos con una balanza de precisión (Precisa Gravimetrics, serie BJ, España). El orito junto con el vinagre y el bicarbonato de sodio fueron licuados conjuntamente. A esta mezcla se añadieron las grasas: pasta de avellana, yema de huevo y aceite de oliva. A continuación, se incorporaron los ingredientes secos (harina de avena, harina de amaranto, polvo de hornear y monkfruit) alternadamente con la bebida de almendra, manteniendo el batido a velocidad baja durante 5 minutos. Se incorporó también el polvo de hornear como agente leudante. Posteriormente se agregó la clara de huevo batida, se mezcló manualmente en forma envolvente con una espátula flexible. Finalmente, se vertió la masa en moldes de silicona con dimensiones 5x5x5 cm, con un volumen de 8x125 ml; se llenó cada molde con un peso de $70,4 \pm 0,5$ g. Finalmente el producto fue horneado en un horno de convección (Frinox, G200, México) a 180 °C durante aproximadamente 18 minutos, hasta que la superficie adquirió un color marrón oscuro característico. En la Figura 1 se indica el proceso de elaboración del ponqué.

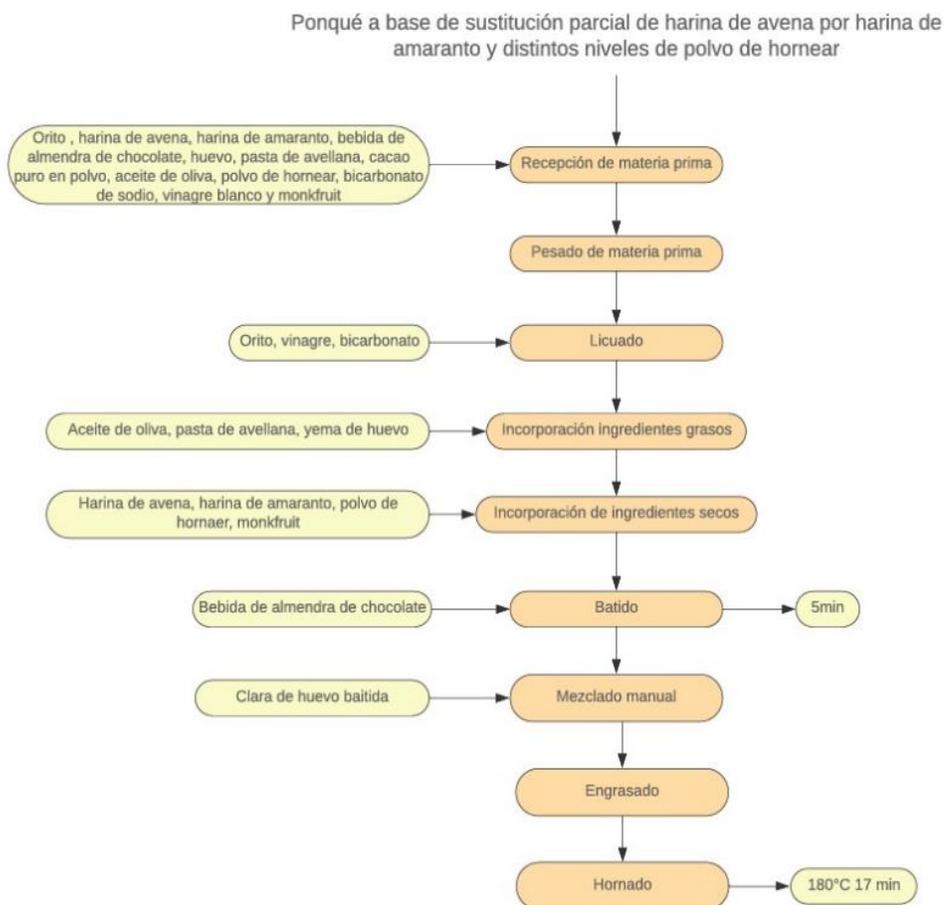


Figura 1. Diagrama de flujo de ponqué en base a la sustitución parcial de harina de avena por harina de amaranto y diferentes niveles de polvo de hornear.

2.4. Ensayos preliminares

En el desarrollo de este proyecto se elaboraron ponqués considerando inicialmente la medición de 14 variables que podrían influir en su calidad, estas fueron: color (L, a, b, Cr y Hue), propiedades texturales (fracturabilidad/dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad, resiliencia y masticabilidad), altura, volumen específico, simetría y uniformidad. Posteriormente, se realizó un análisis preliminar utilizando la metodología de superficie de respuesta, con el que se evaluó el comportamiento de estas variables y la calidad del ajuste de los modelos generados por el software Statgraphics. Con base en estos resultados, se seleccionaron 4 variables clave que mostraron mayor relevancia y ajuste en el modelo, para lograr una formulación más eficiente y representativa.

2.5. Determinaciones analíticas

2.5.1. Color

Las mediciones de color de corteza fueron tomadas el mismo día de la cocción de los ponqués mediante el uso de un colorímetro (Konika Minolta modelo CR-400). El colorímetro se calibró previamente y luego se midió el color de la corteza en el punto central y dos puntos distales. Los parámetros fueron expresados en términos de luminosidad L, Chroma (intensidad u opacidad) y hue (tono o matiz). Los análisis se realizaron por duplicado.

2.4.2. Propiedades texturales

La evaluación de las propiedades texturales del ponqué se llevó a cabo mediante un análisis del perfil de textura (TPA) en cubos de 2,5x2,5cm de ancho utilizando un analizador de textura (TX 700, Texture Analyser) equipado con una sonda cilíndrica de 100 mm de diámetro (TX-CY10H56SS). Las muestras de ponqué se comprimieron dos veces hasta el 50% de su altura original a una velocidad constante de 1 mm/s, con un intervalo de 5 s entre compresiones y una fuerza de compresión de 0.01N. A partir de las curvas de fuerza-tiempo resultantes, se obtuvieron los parámetros: fracturabilidad/dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad, resiliencia y masticabilidad.

2.5.3. Análisis de Altura

La altura del ponqué se midió en la zona central usando un calibrador. A partir de estas mediciones se evaluó la consistencia de tamaño. Los resultados se expresaron en cm.

2.5.4. Volumen específico, índice de volumen, simetría y uniformidad

El volumen específico se determinó por el método de desplazamiento de semillas, adaptación del método 10-05,01 de la AACC (2000) después del horneado (Calvo-Carrillo et al., 2020). La simetría, uniformidad y el índice de volumen se determinaron según la AACC (2010)

(método 10-91). Este método se basa en medir la altura del ponqué en tres puntos específicos (Rodrigues et al., 2023), según se observa en la Figura. 2.

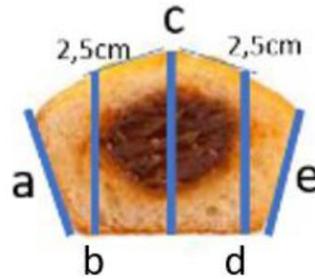


Figura 2. Vista frontal de un ponqué horneado.

Las líneas indican los puntos donde se mide la altura para evaluar la simetría, índice de volumen y uniformidad, y las letras marcan cada punto.

En base a las medidas realizadas en el ponqué se calculó la simetría, la uniformidad y el índice de volumen según las ecuaciones 1, 2 y 3. Los análisis se realizaron por triplicado.

$$\text{Simetría} = 2 * C - (B + D) \quad (1)$$

$$\text{Uniformidad} = |B - D| \quad (2)$$

$$\text{Índice de volumen} = B + C + D \quad (3)$$

2.6. Análisis Estadístico

Para analizar los resultados se utilizó el software Statgraphics 18 (Virginia, EE. UU, 2024). Se aplicó la metodología de Toumi et al (2022). Se examinaron los efectos de los dos factores individuales, así como sus interacciones sobre las características de calidad (variables de respuesta) de los ponqués utilizando gráficos de superficie tridimensionales con sus respectivos modelos polinómicos de segundo orden, como el representado por la ecuación 4:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2 + \varepsilon \quad (4)$$

donde Y es la variable de respuesta prevista, X_1 y X_2 son los factores independientes, b_0 es una constante, b_1 y b_2 son los efectos lineales, b_{11} y b_{22} los efectos cuadráticos, b_{12} es el efecto de interacción y ε es el error experimental aleatorio. La significancia estadística de cada término de la ecuación en los modelos se validó mediante análisis de varianza (ANOVA) para cada respuesta, con base en el valor $p < 0,05$. El coeficiente de determinación (R^2), que explica cuán cercanas son las respuestas predichas a las medidas, y el R^2 ajustado ($Adj-R^2$), que tiene en cuenta el número de variables independientes y observaciones, se utilizaron para evaluar la adecuación, precisión y confiabilidad del modelo al describir la relación entre los factores y las diferentes respuestas.

Para la optimización de la formulación del ponqué se utilizó la herramienta de análisis de respuesta múltiple del Statgraphics. El valor óptimo fue el resultado de la combinación de las ecuaciones de superficie de respuesta de las variables que mostraron efecto significativo y valores de R^2 adecuados al modelo propuesto; así se obtuvieron los valores óptimos de harina de amaranto y polvo de hornear según la conveniencia óptima obtenida en el software y se analizó el valor de deseabilidad obtenido también en el software estadístico.

En la formulación óptima se determinó sus propiedades nutricionales (composición proximal, azúcares totales, fibra cruda y sodio), valor energético y aceptabilidad sensorial. Posteriormente se diseñó un prototipo con su etiqueta nutricional y empaque.

2.7. Propiedades nutricionales y valor energético

La composición proximal de los ponqués se realizó según la AOAC (2005) a través del análisis de humedad (método 935.29), grasa bruta (método Soxhlet, número 920.85), proteína (método micro-Kjeldahl N, método 920.87) y cenizas (método número 923.03). El contenido total de carbohidratos (extracto libre de nitrógeno – ELN) se obtuvo por cálculo por diferencia (Rodrigues et al., 2023), según la Ecuación 5.

$$ELN = 100 - [(humedad (\%) + cenizas (\%) + proteínas (\%) + grasa (\%))] \quad (5)$$

El valor energético de las muestras de ponqués se determinó utilizando el método de Atwater con base en los coeficientes calóricos correspondientes a proteína, carbohidrato y grasa, según la Ecuación 6 (Rodrigues et al., 2023).

$$\text{Valor energético} \left(\frac{100\text{kCal}}{\text{g}} \right) = [\text{proteína(g)} * 4] + [\text{grasa(g)} * 9] + [\text{carbohidrato(g)} * 4] \quad (6)$$

2.7.1. Determinación de azúcares totales

Se utilizó el método fenol-ácido sulfúrico. Para ello, se preparó un extracto mediante la mezcla de 50 mg de muestra con 5 mL de etanol (80%), la mezcla se calentó a 98°C por 10 minutos en agitación enfriándola rápidamente en hielo. Luego se centrifugó y filtró para su posterior análisis. Se tomaron 0,5 mL del extracto y se añadió 1 mL de fenol al 2% y 2,5 mL de ácido sulfúrico al 95%. Tras homogeneizar y dejar reposar en oscuridad por 10 minutos, se incubó a 20°C durante 30 minutos y se midió la absorbancia a 490 nm. La concentración de azúcares se determinó a partir de una curva de calibración realizada con soluciones estándar de glucosa de concentración 0.4 mM (Espinosa-Negrín, López-González & Casdelo-Gutiérrez, 2022).

2.7.2. Determinación de fibra cruda

Se determinó con el método Weende, técnica descrita por AOAC 1992, método 962.09. A partir de muestra seca y desengrasada se realizan dos hidrólisis: un ácido (H₂SO₄ al 1,25%) y una básica (NaOH 1,25%); luego se seca a 105 °C por 3 horas y finalmente se calcina a 600°C, se enfría y se pesa. El contenido de fibra cruda corresponde a la diferencia de peso. El resultado se expresó en porcentaje.

2.7.3. Determinación de sodio

Se utilizó la estimación de cloruro por método de titulación (argentométrico de Mohr). Se diluyó la muestra utilizando 1 g de muestra y 25 mL de agua destilada y se añadió 1 mL del

K₂CrO₄ al 0,5%. La titulación se realizó con AgNO₃ (0.1 M) hasta observar un cambio de color a rojo anaranjado. Los iones cloruro se calcularon empleando la ecuación 7 (Jain, Pandey & Goswami, 2024):

$$Na\% = \frac{V_T \cdot C_T \cdot PE_{Na}}{\text{peso muestra}} \cdot 100 \quad (7)$$

donde V_T es el volumen del titulante, C_T concentración del titulante, PE_{Na} peso equivalente del sodio sobre el peso de la muestra por 100.

2.8. Evaluación sensorial ponqués

La evaluación sensorial se realizó con panelistas no entrenados. Participaron 74 personas (32 hombres y 42 mujeres) con edades entre 17 y 46 años. La prueba se llevó a cabo en cabinas individuales ubicadas en el aula de evaluación sensorial de la Universidad San Francisco de Quito. La prueba se realizó entre las 11:30 y las 13:30. Se utilizó ponqué recién elaborado, enfriado a temperatura ambiente. Se entregaron muestras de 2 cm de diámetro (aproximadamente 10 g) tomadas mediante un sacabocados circular. Cada panelista recibió una muestra codificada y evaluó la formulación óptima utilizando una escala hedónica de 9 puntos (1 = me disgusta extremadamente; 9 = me gusta extremadamente). Los atributos evaluados fueron color, aroma, sabor, textura, dulzor y percepción global (Halim et al., 2024). El consentimiento informado y el cuestionario utilizados se encuentran en los Anexos 1 y 2.

Se verificó la distribución normal de los datos obtenidos y los resultados se expresaron como la media \pm desviación estándar de cada atributo, con el fin de resumir las percepciones generales del panel de consumidores.

2.9. Volumen de la formulación optimizada

Se determinó el volumen en 3D mediante un escáner láser (modelo mini 2 3D scanner revopoint) que capturó la geometría completa del ponqué. Se colocó el producto en una plataforma

rotatoria y las imágenes se procesaron mediante el software Statgraphics que generó una representación tridimensional y calculó su volumen con precisión.

2.10. Diseño del prototipo

Los resultados del análisis proximal obtenidos mediante los métodos descritos en la sección 2,7 se utilizaron para el diseño de etiquetas bajo el sistema GDA (Guías Diarias de Alimentación)-semáforo. La etiqueta GDA se determinó siguiendo el método descrito por Pineda Soto y del Socorro Estrada Oré (2020), mientras que el sistema de color se definió conforme al Reglamento Sanitario de Etiquetado de Alimentos Procesados para el Consumo Humano, Artículo 9 (Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria). El cálculo se realizó en base a una porción de 55 g (1 unidad).

Para la presentación del producto se seleccionó un embalaje primario de polipropileno aluminizando de acuerdo con las propiedades de conservación que este material otorga a este tipo de productos, con dimensiones de 12,5 cm largo y 23 cm de ancho. Estas dimensiones han sido diseñadas específicamente para ajustarse de manera óptima a una unidad de ponqué (Sousa et al., 2019).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis Preliminares

Como parte de los análisis preliminares en el desarrollo del producto se evaluaron 14 variables relacionadas con la calidad del ponqué, estas fueron características físicas, estructurales y texturales, tales como altura, parámetros de color (L^* , Hue, y Chroma de la corteza), volumen real, índices de volumen y simetría, uniformidad, y propiedades mecánicas de la miga (como cohesividad, masticabilidad, gomosidad, elasticidad, fracturabilidad y resiliencia). A partir de estos resultados se seleccionaron las variables que se ajustaban el modelo según el análisis del coeficiente de determinación (R^2). Sabiendo que este indicador representa el porcentaje de variabilidad de datos; un valor de R^2 cercano a 100% representa un mayor ajuste y valores bajos muestran una mayor dispersión (Madroñero et al., 2021).

Se seleccionaron las variables con un R^2 superior a 70%, lo que indica un ajuste adecuado. Estas variables fueron: Chroma y Hue (parámetros relacionados al color de la corteza), índice de simetría, elasticidad y masticabilidad (propiedades texturales de la miga). La elección de estas variables permitió centrar el análisis en aquellas características que presentan una menor variabilidad residual, facilitando una interpretación más robusta de los resultados (Madroñero et al., 2021).

3.2. Efecto de la variación de concentración de harina de amaranto y leudante sobre la calidad del ponqué

El análisis de varianza y estadística de ajuste mostraron que los modelos cuadráticos seleccionados fueron significativos ($p < 0,05$) y representaron adecuadamente los datos experimentales para las características de calidad del ponqué como propiedades de color y textura e índice de simetría, tal como se evidencia en los niveles de R^2 y Adj- R^2 que variaron de 0,70 a 0,90 (Tabla 1).

Tabla 3. Coeficientes de regresión de modelos polinomiales predichos para las características de calidad del ponqué.

Parámetros de Calidad	Constante	X_1	X_2	X_1X_2	X_1^2	X_2^2	R^2	$Adj - R^2$
Hue	93,2837	-	*-20,9499	*0,5259	*-0,0224	-	0,89	0,86
Chroma	44,9534	-	*-10,0491	*0,2209	-	-	0,68	0,59
Índice de Simetría	3,8543	-	-	*0,0539	-	*-0,1375	0,89	0,85
Masticabilidad	0,26689	*0,0175	*0,1864	*-0,0163	-	*0,0557	0,76	0,70
Elasticidad	1,67672	-	*-0,5892	*-0,0157	*-0,0018	-	0,70	0,62

ns: no significativo ($p < 0,05$); * $p < 0,05$.

X_1 : Amaranto; X_2 : Leudante

El análisis del color en productos como los ponqués es esencial para evaluar su calidad y aceptación por parte del consumidor. El color no solo influye en la percepción visual, sino que también está relacionado con atributos como el sabor y la frescura. En la Figura 3a se observa que a medida que aumenta el porcentaje de amaranto en la formulación el valor de Hue disminuye; en tanto que al aumentar porcentaje de leudante este valor aumenta ligeramente. El análisis de los coeficientes de regresión indica que el leudante es la variable que tiene mayor efecto que la variación de amaranto sobre el valor de Hue, siendo este significativo según el ANOVA. Se encontró también que el valor de Hue varía significativamente por el efecto cuadrático de la concentración de amaranto y de la interacción de factores (concentración de amaranto y leudante en la formulación, $R^2 > 0,80$). Hue es una variable importante en la calidad de un ponqué porque es el atributo de percepción visual a partir del que un área es identificada de acuerdo con el matiz de colores (Zhang et al., 2019).

Además de Hue, la intensidad del color (chroma), es un aspecto directamente relacionado con la calidad visual y posibles cambios durante el procesamiento o almacenamiento del producto. El incremento del porcentaje de amaranto produjo disminución del valor de Chroma, a diferencia de que el incremento de leudante produjo un ligero aumento de la intensidad del color (Figura 3b). Al igual que en Hue, el análisis

de los coeficientes de regresión muestra que el leudante es el factor que presenta el mayor efecto sobre la variable Chroma, siendo significativo según el ANOVA. Además, el efecto de la interacción entre el leudante y amaranto resultó significativa. La variación de concentración de amaranto y leudante en la formulación del ponqué produce una tendencia de aumento más evidente de la variable Chroma respecto a Hue con un mayor efecto a altos niveles de leudante y a niveles bajos de amaranto. Chroma resulta ser una variable importante para la calidad del ponqué porque indica la intensidad y saturación del color, como la proporción de brillo de alta transmisión (Zhang et al., 2019). El análisis de los parámetros de color muestra que existe incidencia directa del nivel de amaranto. Trabajos similares han demostrado que el color se puede ver afectado por altos niveles de amaranto que generan productos más oscuros en comparación a los elaborados con harina de trigo. Este efecto se atribuye a los niveles altos de fibra y pigmentos naturales del amaranto (Hamzhepour & Dastgerdi, 2023). El amaranto contiene compuestos fenólicos y otros componentes que pueden reaccionar con el cacao durante el horneado, afectando los pigmentos del chocolate, como las melanoidinas formadas en la reacción de Maillard (Paquiyauri, 2023).

La composición química de un ponqué influye directamente en sus características texturales, las cuales influyen directamente en la percepción sensorial y la calidad del producto. La masticabilidad, definida como el tiempo de masticación de un alimento antes de ser deglutido, permite evitar texturas densas o difíciles de consumir (Santos & Areli, 2018). Se encontró que la masticabilidad aumenta de forma directamente proporcional con el aumento de amaranto en la formulación, y asimismo disminuye con niveles bajos de leudante, como se puede observar en la Figura 3c. La masticabilidad se vio influenciada en mayor medida por el agente leudante (efecto significativo). Además, se observó una relación directa y proporcional entre la masticabilidad y el nivel de amaranto, y un efecto cuadrático con el nivel de leudante. Los coeficientes de los términos lineales y cuadráticos en la ecuación ajustada del modelo reflejan la magnitud y dirección del efecto. En este sentido, Bedón (2020) demostró que mientras mayor es la sustitución de amaranto en pasteles sin azúcar, la masticabilidad tiende a disminuir.

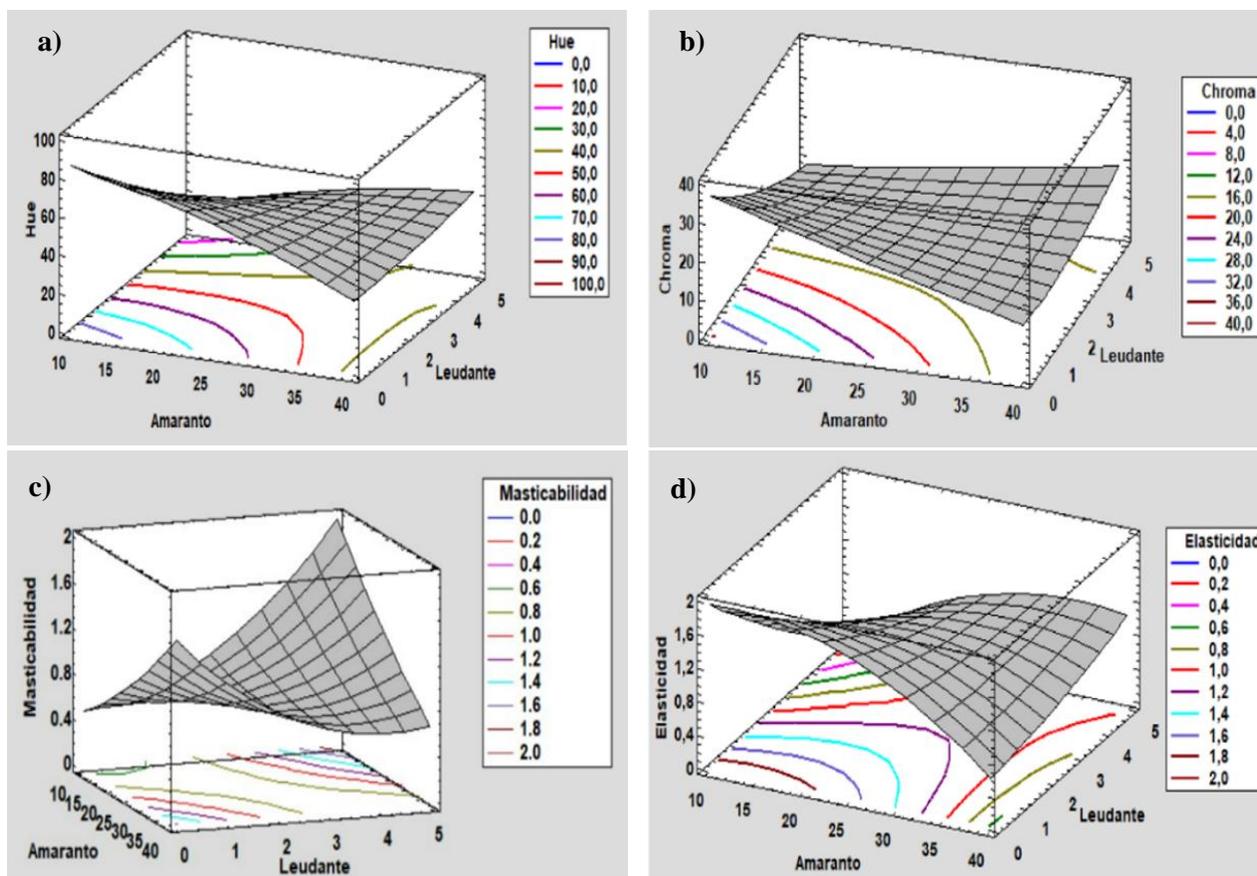


Figura 3. Gráficos de superficie de respuesta para el efecto de la sustitución parcial de harina amaranto (X_1) y la concentración de leudante (X_2) sobre el Hue (a), Chroma (b), masticabilidad (c) y elasticidad (d) del ponqué.

Respecto a la elasticidad (Figura 3d), definida como la recuperación de la muestra alimenticia después de comprimirla con la lengua contra el paladar (Santos & Areli, 2018), se observó que a medida que aumentaron los niveles de amaranto este parámetro disminuye significativamente especialmente en niveles bajos de leudante. El análisis de coeficiente de regresión muestra que la interacción es la que presentó mayor efecto sobre la elasticidad siendo esta significativa. Se observó también que el efecto del leudante es mayor a niveles intermedios de amaranto. En niveles altos de amaranto, el impacto del leudante se atenúa y la elasticidad permanece casi constante o disminuye ligeramente. Este comportamiento es favorable para el producto ya que se quiere minimizar esta variable. Existió variación significativa de la elasticidad del producto por el efecto lineal del leudante y cuadrático del amaranto ($R^2 > 0,70$). La elasticidad se ve influenciada por el amaranto, dado que posee una alta capacidad de hidratación,

característica que le permite una mayor absorción de líquidos. Esto produce que el producto final presente mayor extensibilidad y elasticidad (Coțovanu & Mironeasa, 2021).

El análisis de textura es fundamental dado que el amaranto es un cereal que carece de gluten (clave para la estructura y elasticidad de productos horneados). Esta ausencia genera masas caracterizadas por una menor cohesión y contrariamente baja elasticidad, además de otras características sensoriales no deseadas (Capelli et al., 2020).

Asimismo, la ausencia de gluten puede provocar una expansión desigual de la masa durante el horneado, afectando la apariencia, el volumen y la simetría del panificado. En la Figura 4 se observa que a mayores el nivel de amaranto el producto pierde simetría (disminuye el índice de simetría), en contraste, a un mayor porcentaje de leudante el índice de simetría es más alto. Se encontró que la interacción entre la variación de amaranto y el agente leudante tiene mayor efecto sobre la simetría (siendo significativa según el ANOVA). El mayor efecto del leudante se observó a niveles bajos de amaranto, con un efecto significativo lineal del leudante y cuadrático del amaranto ($R^2 > 0,70$). La variación del índice de simetría permite identificar cómo optimizar las condiciones experimentales para maximizar esta característica de calidad, debido a que este parámetro está directamente relacionado con la calidad visual y estructural del producto.

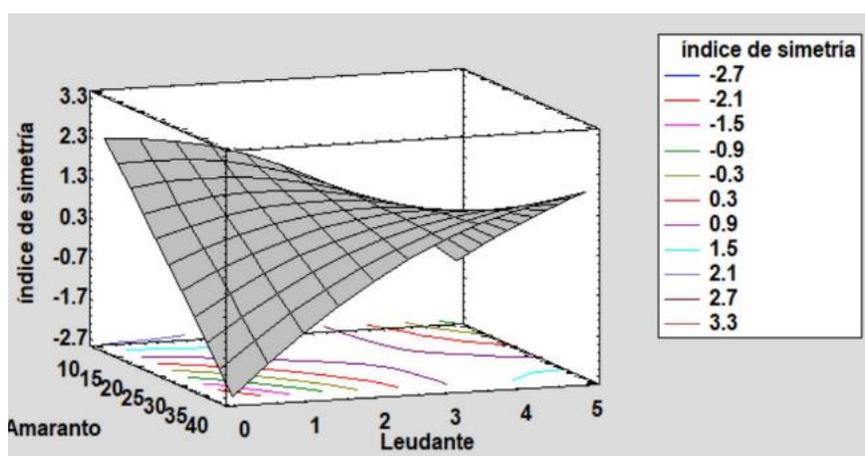


Figura 4. Gráficos de superficie de respuesta para el efecto de la sustitución parcial de harina de amaranto (X_1) y la concentración de leudante (X_2) sobre el índice de simetría (e) del ponqué.

Este análisis del índice de simetría es importante dado que esta variable refleja una forma consistente del producto, así como la uniformidad y equilibrio de la estructura del producto. Se ha demostrado que el leudante afecta directamente a la simetría dado que la acción de leudado genera la estructura del producto (Asamoah et al., 2023), y según los resultados obtenidos en el presente estudio, el uso de harina de amaranto estaría afectando a la apariencia visual del ponqué. Un índice de simetría óptimo permite identificar problemas en la formulación, como desequilibrios en la estructura, proporción de ingredientes o ajustes térmicos en el proceso de horneado, lo que resulta esencial para garantizar consistencia en la producción y calidad del producto final.

3.3. Optimización de la formulación de ponqué

El análisis del modelo ajustado, la interacción y la visualización de las gráficas de superficie y contornos, donde los términos lineales aparecen como planos y los cuadráticos como curvas, se utilizaron para optimizar los factores (niveles de amaranto y leudante), con el objetivo de maximizar la calidad textural, sensorial y funcional del producto. La optimización numérica consideró maximizar los parámetros de hue y chroma, que mejoran la apariencia visual, así como el índice de simetría, que contribuye a una percepción de mayor uniformidad y calidad. Por otro lado, se debe tomar en cuenta que se especificó la minimización de la masticabilidad y el valor objetivo o target value de la elasticidad.

Como parte de la optimización, se analizó la deseabilidad compuesta mediante el software Statgraphics, como una evaluación de qué tan bien la combinación de variables satisfizo los objetivos de las respuestas (de la Vara Salazar & Domínguez, 2002).

La figura 5 muestra la superficie de respuesta y contornos que evalúa el efecto combinado de las dos variables: sustitución parcial de harina de amaranto (X_1) y la concentración de leudante (X_2), sobre la deseabilidad del ponqué. La deseabilidad varía entre 0 y 1, donde 1

representa las mejores condiciones para alcanzar la calidad óptima. Las áreas más altas del gráfico indican una mayor deseabilidad.

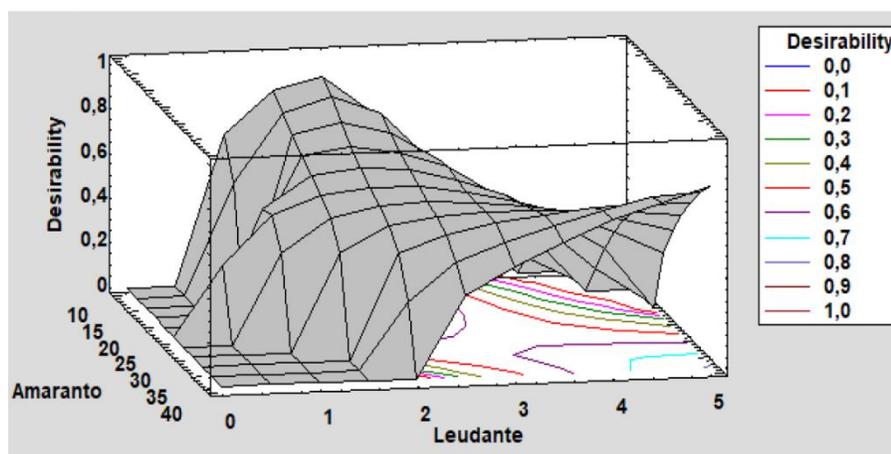


Figura 5. Gráfico de superficie de respuesta para el efecto de la sustitución parcial de harina de amaranto (X_1) y la concentración de leudante (X_2) del ponqué.

A bajas concentraciones de amaranto (10-20%), la deseabilidad tiende a ser mayor, especialmente si la concentración de leudante es baja a media. En tanto que a niveles altos de amaranto (30-40%), la deseabilidad disminuye, probablemente debido a cambios en la textura (estructura) del ponqué, ya que el amaranto influye en la capacidad de formación de la red respecto a la avena utilizada en la formulación.

En relación al agente leudante (polvo de hornear), aproximadamente entre 2 y 4%, la deseabilidad aumenta, indicando que esta cantidad es óptima para lograr un buen volumen y textura del ponqué. A concentraciones extremas (muy bajas o muy altas), la deseabilidad disminuye, posiblemente por una insuficiente o excesiva aireación. El punto más alto en la superficie de respuesta se encuentra en niveles intermedios de ambas variables: una baja a moderada cantidad de amaranto (10-35%) y una concentración de leudante entre 2 y 4 %. Este análisis sugiere que existe una interacción significativa entre la sustitución de harina de amaranto

y el agente leudante. Usar niveles bajos a moderados de amaranto y leudante (polvo de hornear) maximiza la deseabilidad del ponqué, equilibrando el color, la textura, y la simetría.

La combinación óptima de amaranto (10) y leudante (2%) resultó en una alta deseabilidad (0,91173), evidenciando que el producto cumple con los parámetros deseados para estos productos. Este enfoque permitió obtener un producto que maximiza las características de calidad esperadas. En consecuencia, se utilizó una formulación con 10% de harina de amaranto, 90% de harina de avena y 2% de polvo de hornear en su base panadera (Figura 3). A partir de esto se determinó la formulación óptima con 37,6% de orito, 18,8% de bebida de soya, 10% de huevo, 5,64% de pasta de avellana 2,8% de cacao en polvo, 1,4% de aceite de oliva, 0,38% de polvo de hornear y 0,47% de vinagre blanco y bicarbonato respectivamente. Esta formulación fue utilizada para evaluar su aceptabilidad sensorial y determinar su la composición química.

3.4. Análisis sensorial de la formulación optimizada de ponqué

Los resultados del análisis sensorial presentados en la Tabla 2 fueron obtenidos a partir de la evaluación de los atributos de color, aroma, dulzor, sabor, textura y percepción global utilizando una escala hedónica de 9 anclas (1= me disgusta extremadamente y 9 = me gusta extremadamente).

Tabla 4. Calificación de los atributos sensoriales de la formulación optimizada.

Atributo	Formulación Optimizada
Color	7,57 ± 1,35
Aroma	7,09 ± 1,66
Dulzor	5,59 ± 2,09
Sabor	5,86 ± 2,00
Textura	6,24 ± 2,31
Global	6,46 ± 1,52

*Medias ± SD

La valoración del color estuvo ubicada entre las anclas de "Me gustó moderadamente" y "Me gustó mucho". Este atributo fue el que mayor aceptación tuvo entre los consumidores. El color es uno de los atributos sensoriales más determinantes en la preferencia y elección del consumidor, ya que actúa como un indicador visual de calidad en los alimentos (Gebreil, Ali & Mousa, 2020). Como se mencionó anteriormente, la concentración de amaranto es el factor que influye directamente en el color, ya que, a pesar de ser una formulación con chocolate, la harina de amaranto puede oscurecer ligeramente el color (hue) aumentando la intensidad (chroma) del marrón característica del chocolate.

Respecto a la textura, este atributo concentró el mayor número de observaciones críticas. Con un puntaje de 6,24 clasificado como "Me gusta poco". Los consumidores describieron la textura como "chiclosa", "pegajosa" e incluso "cruda". La textura se define como la combinación de atributos mecánicos y geométricos percibidos a través del tacto y la masticación, que incluyen cohesividad, elasticidad, gomosidad, dureza y masticabilidad (Labari et al., 2020). En este caso, el uso de harinas no convencionales parece haber influido significativamente en la percepción de la textura, especialmente en la elasticidad. Este atributo podría atribuirse al elevado contenido proteico de estas harinas, como se ha observado en estudios previos (Samie, Emamifar & Salehi, 2023). La ausencia de azúcar en la formulación podría haber afectado los rasgos sensoriales deseables de los ponqués y las características tecnológicas relacionadas con su calidad general (Huayna Yancán, 2023). Además, al emplear harinas libres de gluten la calidad del ponqué se ve afectada debido a la ausencia de las proteínas esenciales para desarrollar una estructura de red coherente y estable (Halim et al., 2024).

En cuanto al sabor y dulzor, ambos atributos recibieron puntuaciones medias, con valores de 5,5 correspondiente a las anclas de "Indiferente" y "Me gusta poco". Este resultado era

previsible debido al uso de edulcorante no calórico (monkfruit) en lugar de azúcar refinado, lo que impacta en la percepción del dulzor en la formulación. Es importante mencionar que el uso de este tipo de ingredientes para productos sin azúcar, aún es un área poco estudiada. El aroma tuvo un puntaje promedio de 7,09, clasificándose en la escala de "Me gustó moderadamente", lo que indica una buena aceptación, ya que no se encontraron comentarios en los que este atributo afectara negativamente la aceptación del producto.

Respecto a la aceptabilidad global (Figura 6), los consumidores indicaron baja aceptación con un valor promedio de 6,46 ubicada en la escala como "Me gusta poco". Este resultado puede atribuirse mayoritariamente a la falta de dulzor en la formulación. Se debe destacar el hecho de que los consumidores están habituados a productos con alto contenido de azúcar, como pasteles, muffins y ponqués, característica que influye en su alta aceptación (Beraldo et al., 2023).

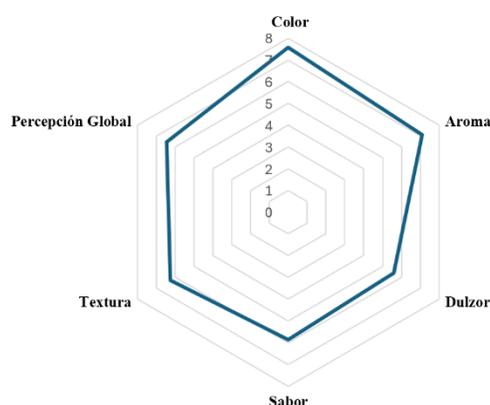


Figura 6. Atributos sensoriales de la formulación optimizada.

Atributos como el dulzor y el sabor que mostraron las puntuaciones más bajas, sugieren oportunidades de mejora en la formulación, posiblemente relacionadas con el uso de edulcorantes no calóricos o la intensidad de los sabores. Atributos como la textura, el aroma, y la percepción global se encuentran en niveles intermedios, lo que indica que, si bien cumplen parcialmente con

las expectativas, podrían beneficiarse de ajustes específicos para mejorar la aceptación general del producto.

3.5. Análisis del volumen de la formulación optimizada de ponqué

En la Figura 7 se presenta la apariencia y la imagen 3D del producto, la cual permite observar que en términos generales la estructura es poco homogénea con la presencia de grietas en la corteza superior. El agrietamiento de pasteles y ponqués puede atribuirse a la alta humedad del producto. Una masa muy hidratada presenta mayor expansión, pero se puede debilitar la red estructural. Este hallazgo es relevante para el avance de la investigación dado que al tratarse de un producto con potencial introducción al mercado, las características visuales juegan un papel fundamental en su aceptación.

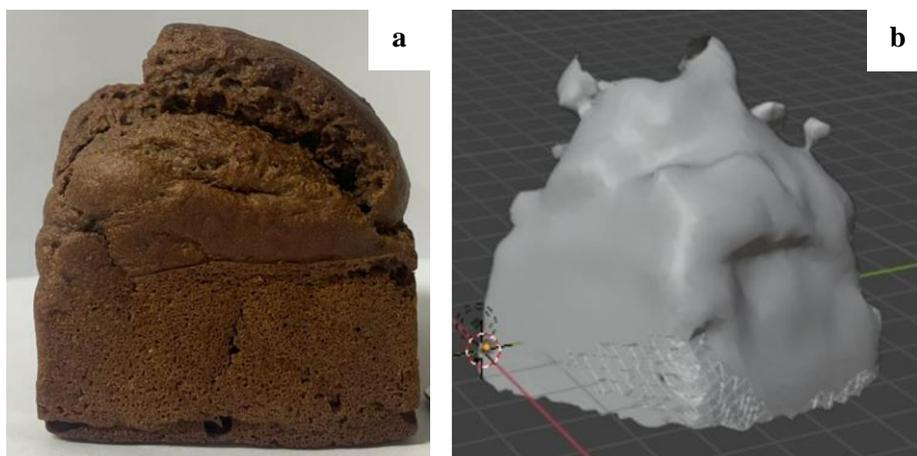


Figura 7. Apariencia global (a) e imagen 3D (b) del ponqué (formulación optimizada).

En este sentido, el uso de aditivos durante la elaboración de productos horneados tiene como propósito principal mejorar las características de la masa con el fin de obtener pasteles, bizcochos o ponqués de alta calidad, específicamente en cuanto al volumen y la textura. En los productos libres de gluten se utilizan gomas para mejorar la textura y el volumen. Las gomas, que son sustancias poliméricas, simulan las propiedades viscoelásticas del gluten presente en la masa del

producto panificado, lo que contribuye a mejorar la estructura del producto, la sensación en boca, aceptabilidad y vida útil (Lazaridou et al., 2006).

Además, es importante indicar que el volumen del ponqué es un factor clave para el diseño de su empaque, ya que determina las dimensiones necesarias para proteger el producto y garantizar su calidad durante el almacenamiento y transporte. Un empaque adecuado debe ajustarse al tamaño del pastel, evitando espacios innecesarios que puedan comprometer su estabilidad o aumentar los costos logísticos, también asegura una presentación atractiva para el consumidor.

3.6. Composición química de la formulación optimizada de ponqué

La composición química de la formulación optimizada se presenta en la Tabla (4). Cabe señalar que en la legislación nacional actual no se encuentra una norma con valores referenciales para productos horneados como el ponqué. El producto presenta 53,01 g/100 de humedad, siendo un valor alto comparable con productos como bizcochos, tortillas y crackers (Beraldo et al., 2023; Gebreil, Ali & Mousa, E. 2020). El alto contenido de humedad podría atribuirse a la capacidad de retención de agua por parte de las harinas de amaranto y avena, lo que provoca una mayor actividad microbiológica y química, en consecuencia, el producto tiene una corta vida útil (Halim et al., 2024). El valor para cenizas fue de 1,42 g/100, similar a los valores reportados por Manalu et al., 2024; Aly et al., 2021 en galletas y muffins, respectivamente. Esta es una medida de calidad crucial para evaluar la contaminación con materiales extraños, y un indicador nutricional del contenido mineral (Halim et al., 2024).

El contenido de proteína en el ponqué fue de 8,28 g/100 equivalente al 9% del valor diario recomendado (VDR) con respecto a la normativa ecuatoriana. Las fuentes de proteína en la formulación son la harina de amaranto y la harina de avena. Los valores obtenidos son similares a los encontrados en productos desarrollados utilizando como ingredientes harinas no convencionales en galletas y muffins (Gebreil, Ali, & Mousa, 2020; Manalu et al., 2024). Sería interesante conocer

el perfil de aminoácidos del ponqué elaborado sabiendo que tanto el amaranto y la avena contienen aminoácidos que los diferencian de cereales como el trigo, cebada o centeno, con lo que el ponqué elaborado constituye una buena fuente proteica.

El ponqué presentó un contenido de grasas de 16,06 g/100 equivalente al 14% del VDR recomendado. El objetivo del presente trabajo se enfocó en un enriquecimiento proteico y reducción de azúcar, no se contempló la reducción del contenido de lípidos. El contenido de grasa del ponqué se asemeja a estudios realizados en brownies y galletas (Xiong et al., 2023 & Moreira et al., 2023). Sin embargo, si se buscó el reemplazo de grasas por grasas saludables como el aceite de oliva y la pasta de avellana, por lo que sería importante determinar el perfil de ácidos grasos comparados con un ponqué elaborado con grasas convencionales como mantequilla o margarina.

Los bizcochos o pasteles son productos horneados dulces con alto contenido calórico y alto contenido de grasa y sacarosa (Hatlim et a., 2024). Respecto al contenido de carbohidratos totales (determinado por cálculo por diferencia), en el ponqué desarrollado se obtuvo un valor de 21,24 g/100, menor al reportado en bizcocho (Toraval Aylas & Rodas Pingus, 2015).

Adicionalmente se determinó un contenido de 3,2% de fibra cruda. Este valor puede estimar un contenido de fibra dietaria 3 a 5 veces mayores que los de fibra cruda (Zuleta, 2015). Sería interesante conocer el contenido de fibra dietaria del ponqué para complementar el análisis de la composición química, debido a las materias primas utilizadas como el amaranto.

El ponqué tuvo un valor azúcares totales de 2,22 g/100, siendo un valor bajo comparado con pasteles, muffins y cupcakes. Un valor bajo de azúcares en la formulación indica una mejora en este tipo de productos y reafirma la necesidad de búsqueda de crear alimentos saludables bajos en calorías (Manalu et al., 2024). De los ingredientes utilizados, el contenido de azúcar se puede

atribuir a al orito (*Musa acuminata*) que es un fruto con alto contenido de azúcares (Caicedo et al., 2019), y resulta una alternativa al uso de edulcorantes comunes como el azúcar.

Tabla 5. Composición química de la formulación óptima del ponqué.

Parámetro	g/100
Humedad	53,01
Cenizas	1,42
Proteína	8,27
Grasas	16,06
Carbohidratos totales	21,24
Azúcares totales	2,22
Sodio	0,124
Fibra	3,2

Por otro lado, los ingredientes utilizados en el ponqué no constituyen fuente de sodio. El contenido de sodio encontrado estaría siendo aportado por el bicarbonato de sodio. Lee, Lee & Ryu (2020) explican que el ion de sodio (Na^+) queda libre en la solución y puede interactuar con otros componentes de la mezcla o ser detectado como parte del contenido de sodio del producto final.

Los valores obtenidos en el análisis de la composición química del ponqué se utilizaron para la elaboración de la etiqueta nutricional (Figura 8a) y etiqueta semáforo (Figura 8b), clasificando el producto como medio en grasa (3-30%), medio en sal (120-600 mg/100g) y bajo en azúcares (< 5g/100g).

Información nutricional		
Tamaño por porción	1 unidad (55 g)	
Número de porciones	1	
Cantidad por porción		
Energías/Calorías	604.18 KJ (144.40 Kcal)	
Energía de grasa	332.54 KJ (79.48 Kcal)	
% del Valor Diario		
Grasa total	9 g	14%
Sodio	68 mg	3%
Carbohidratos totales	12 g	4%
Azúcares totales	1 g	
Proteínas	5 g	9%
*Los porcentajes de los valores diarios están basados en una dieta de 8380 KJ (2000Kcal)		



Figura 8. Etiqueta nutricional (a) y etiqueta semáforo (b) del ponqué.

El producto elaborado tiene un contenido calórico total de 604,18 KJ, menor al encontrado en productos comerciales elaborados con azúcar y harina de trigo con un aporte de 750 KJ para una porción de 110 gramos.

3.7. Diseño del prototipo

Se seleccionó el empaque de polipropileno aluminizado tipo flow pack (Figura 9) por sus propiedades de resistencia mecánica y térmica, lo que permite preservar la humedad del producto y evitar daños durante su almacenamiento. Este material facilita la apertura y manipulación del producto. Además, la película recubierta ofrece una barrera efectiva contra la humedad lo que reduciría el crecimiento de microorganismos, manteniendo la frescura, siendo un factor importante en el producto debido a su alto contenido de humedad (Bauer et al., 2022 & San et al., 2022).

El envase fue diseñado para contener una porción individual de 55 g, siguiendo como referencia productos similares disponibles en el mercado nacional. La selección de esta presentación responde a la intención de resaltar su practicidad y versatilidad como un producto tipo snack.



Figura 9. Arte visión parte frontal y posterior del ponqué.

El diseño gráfico del empaque, tanto en su parte frontal como posterior (figuras 8), se desarrolló empleando una paleta de colores inspirada en las principales materias primas del producto como el chocolate y el orito.



Figura 10. Arte completa para el ponqué.

Este diseño busca comunicar un mensaje que resalte el uso de ingredientes provenientes del mercado local. Además, se asegura el cumplimiento de las normativas NTE INEN 1334:2011, relativas al etiquetado de alimentos destinados al consumo humano, y RTE INEN 022, aplicable a productos procesados, envasados y empaquetados.

4 CONCLUSIONES

El uso de una superficie de respuesta como herramienta para optimizar una formulación, permite encontrar condiciones óptimas para variables como textura, volumen o color, sin embargo, no garantiza la aceptabilidad sensorial del producto. En el este caso, la superficie de respuesta permitió desarrollar una fórmula que maximiza parámetros técnicos específicos, pero los atributos sensoriales, como el dulzor y el sabor, no cumplieron con las expectativas de los consumidores. Esto resalta la necesidad de integrar en el diseño experimental no solo criterios fisicoquímicos, sino también datos sensoriales desde las primeras etapas del desarrollo, para garantizar que la fórmula optimizada sea aceptable tanto tecnológica como sensorialmente.

El desarrollo de un ponqué con la sustitución parcial de harina de avena por 10% de harinade amaranto y 2% de agente leudante (polvo de hornear) representa una alternativa viable para el reemplazode pasteles o bizcochos tradicionales con bajo valor nutricional (altos en azúcar y grasa), logrando un producto con alto contenido de proteína, no obstante son necesarios más estudios para conocer el perfil de aminoácidos y ácidos grasos, antioxidantes y fibra alimentaria para determinar la funcionalidad del producto.

Debido a la combinación de ingredientes poco convencionales como el orito, la pasta de avellana, harina de amaranto y avena, presenta retos significativos en términos de adaptación tecnológica y aceptación del consumidor. Aunque estos ingredientes aportan beneficios nutricionales y funcionales, su interacción en la matriz del producto puede afectar características sensoriales clave como el sabor, la textura y el dulzor. Por lo tanto, serán necesario más estudios como la incorporación de sustitutos funcionales como almidones, hidrocoloides o proteínas alternativas puede ayudar a mejorar la textura y simetría en estos productos.

5 RECOMENDACIONES

Evaluar el uso de gomas en la formulación del producto con la finalidad de mejorar la estructura del producto y minimizar la roturas y grietas en la parte exterior para conseguir una mayor aceptación global del ponqué. Adicionalmente continuar la investigación con análisis para determinar la vida útil debido a la alta humedad del producto.

Es importante realizar estudios tecnológicos más exhaustivos para comprender mejor las propiedades de los ingredientes utilizados y cómo optimizar su uso en la formulación del ponqué. Además, se plantea la necesidad de realizar pruebas sensoriales adicionales y posiblemente ajustes en la formulación para equilibrar los beneficios nutricionales con la preferencia del consumidor, lo que es esencial para aumentar la viabilidad del producto en el mercado.

6 REFERENCIAS

- Alkaloo, M., & Cao, C. (2021). The Effect of Different Leavening Agents on the Volume of the Produced Cake. UBC Library.
- Alòs, N., Costa, E., Sisquella, M., Sala, M., & Teixidó, N. (2023). Packaging sostenible en las centrales hortofrutícolas: retos a afrontar. *Revista de Fruticultura*, 2023, 91, Enero-Febrero, 72-83.
- Al-Sahlany, S. T. G., & Al-Musafer, A. M. S. (2020). Effect of substitution percentage of banana peels flour in chemical composition, rheological characteristics of wheat flour and the viability of yeast during dough time. *Journal Of The Saudi Society Of Agricultural Sciences*, 19(1), 87-91. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.06.005>
- Aly, A. A., El-Deeb, F. E., Abdelazeem, A. A., Hameed, A. M., Alfi, A. A., Alessa, H., & Alrefaei, A. F. (2021). Addition of Whole Barley Flour as a Partial Substitute of Wheat Flour to Enhance the Nutritional Value of Biscuits. *Arabian Journal Of Chemistry*, 14(5), 103112. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103112>
- Asamoah, E. A., Le-Bail, A., Oge, A., Queveau, D., Rouaud, O., & Le-Bail, P. (2023). Impact of baking powder and leavening acids on batter and pound cake properties. *Foods*, 12(5), 946. <https://doi.org/10.3390/foods12050946>
- Baella Mendoza, I. M., & Pereira Meza, A. (2022). *Implementación de un manual de identidad visual para mejorar el posicionamiento de la tienda online*. Thika Bakery.
- Bares Escolares Saludables – Ministerio de Educación. (s. f.). <https://educacion.gob.ec/bares-escolares-saludables/>
- Bauer, A. S., Leppik, K., Galić, K., Anestopoulos, I., Panayiotidis, M. I., Agriopoulou, S., Milousi, M, Uysal-Unalan, I., Varzakas, T. & Krauter, V. (2022). Cereal and confectionary packaging: Background, application and shelf-life extension. *Foods*, 11(5), 697.
- Beraldo, I. M., Botelho, R. B. A., Romão, B., De Alencar, E. R., & Zandonadi, R. P. (2023). Dried apples replacing sugar in pound cakes: Physicochemical composition and sensory analysis. *International Journal Of Gastronomy And Food Science*, 32, 100731. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100731>
- Biel, W., Kazimierska, K., & Bashutska, U. (2020). Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains. *Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica*, 19(2), 19-28.
- Caicedo, W., Sanchez, J., Viamontes, M., Tapuy, A., Estrada, C., Flores, A., & Moya, C. (2019). Composición química y digestibilidad aparente de la harina de banano orito verde (*Musa acuminata* AA) en cerdos de crecimiento. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(3), 271-279.
- Calvo–Carrillo, M. D. L. C., López–Méndez, O. X., Carranco–Jáuregui, M. E., & Marines, J. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp*) y chícharo (*Pisum sativum* L.). *Biotecnica*, 22(3), 116–124.
- Cappelli, A., Oliva, N., & Cini, E. (2020). A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies. *Applied Sciences*, 10(18), 6559.

- Carboni, Á. D. (2024). *Desarrollo de formulaciones de panificados funcionales (sin y con gluten) a base de harina de lenteja (Lens culinaris): caracterización tecnológica y nutricional* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Conde Pumarimay, P. P. (2019). *Incidencia de la harina de avena (Avena sativa) como sustituto parcial de la harina de trigo (Triticum vulgare) en la elaboración de un bizcocho edulcorado con panela*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna.
- Coțovanu, I., & Mironeasa, S. (2021). Impact of different amaranth particle sizes addition level on wheat flour dough rheology and bread features. *Foods*, *10*(7), 1539.
- de la Vara Salazar, R., & Domínguez, J. D. (2002). Métodos de superficie multirespuesta: un estudio comparativo. *Revista de Matemática: Teoría y aplicaciones*, *9*(1), 47-65.
- Ecuador, *Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria*. Reglamento Sanitario de etiquetado de alimentos procesados para el consumo humano, art. 9, [Internet]. [Citado noviembre de 2024]. Disponible en: <https://www.controlsanitario.gob.ec/>
- Espinosa-Negrín, A. M., López-González, L. M., & Casdelo-Gutiérrez, N. L. (2022). Pretratamientos aplicados a biomásas lignocelulósicas: una revisión de los principales métodos analíticos utilizados para su evaluación. *Revista Cubana de Química*, *34*(1), 87-110.
- Fierro, S., Zurita, J., & Guerrero, C. (2020). Estrategias comerciales para la exportación del Amaranto Ecuatoriano a Paris (Unión Europea). <https://fipcaec.com/index.php/fipcaec/article/view/187/301#:~:text=Puesto%20que%20so%20el%204,puede%20separar%20en%20dos%20grupos>.
- Fuentes, L., Cortés, N., Quintero, L., Virgüez, C., & Rodríguez, M. (2021). El amaranto propiedades y usos en la industria panadera. *Documentos de Trabajo ECBTI*, *2*(2). <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/wpecbti/article/view/5494>
- Gebreil, S. Y., Ali, M. I. K., & Mousa, E. A. M. (2020). Utilization of amaranth flour in preparation of high nutritional value bakery products. *Food and Nutrition Sciences*, *11*(4), 336–354. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.115025>
- Ghusn W, Naik R, Yibirin M. The Impact of Artificial Sweeteners on Human Health and Cancer Association: A Comprehensive Clinical Review. *Cureus*. 2023 Dec 29;15(12):e51299. doi: 10.7759/cureus.51299. PMID: 38288206; PMCID: PMC10822749.
- Giannoutsos, K., Zalidis, A. P., Koukoumaki, D. I., Menexes, G., Mourtzinis, I., Sarris, D., & Gkatzionis, K. (2023). Production of functional crackers based on non-conventional flours. Study of the physicochemical and sensory properties. *Food Chemistry Advances*, *2*, 100194. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100194>
- Godefroidt, T., Ooms, N., Pareyt, B., Brijs, K. and Delcour, J.A. (2019), Ingredient Functionality

- During Foam-Type Cake Making: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18: 1550-1562. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12488>
- González, G. C., Alcántara, H. T. R., & Fernández, S. P. (2019). Sustentabilidad y desarrollo local en una comunidad rural en México. *Administración y organizaciones*, 22(43), 9-27.
- González, P. (2024, 4 octubre). Ecuatorianos bajan el consumo de pan, cereales y frutas por alza de precios. *Primicias*. <https://www.primicias.ec/economia/ecuatorianos-consumo-pan-cereales-frutas-precios-inflacion-80510/>
- Guiné, R. P. (2022). Textural properties of bakery products: A review of instrumental and sensory evaluation studies. *Applied Sciences*, 12(17), 8628.
- Halim, M. A., Alharbi, S. A., Alarfaj, A. A., Almansour, M. I., Ansari, M. J., Nessa, M. J., Kabir, F. N. A., & Khatun, A. A. (2024). Improvement and Quality Evaluation of Gluten-Free Cake Supplemented with Sweet Potato Flour and Carrot Powder. *Applied Food Research*, 100543. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100543>
- Hamzehpour, R., & Dastgerdi, A. A. (2023). The Effects of Quinoa and Amaranth Flour on the Qualitative Characteristics of Gluten-Free Cakes. *International Journal of Food Science*, 2023(1), 6042636.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2019). (s.f.). Salud, salud reproductiva y nutrición. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/salud-salud-reproductiva-y-nutricion/>
- Jain, B. P., Pandey, S., & Goswami, S. K. (2024). Estimation of Chloride by Titration (Mohr Argentometric) Method. En *Elsevier eBooks* (pp. 113-114). <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-13945-1.00021-3>
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. (2006). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal Of Food Engineering*, 79(3), 1033-1047. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>
- Lee, H. J., Lee, C., & Ryu, D. (2020). Effects of baking soda and fructose in reduction of ochratoxin A in rice and oat porridge during retorting process. *Food Control*, 116, 107325. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107325>
- Madroño, D., Mondragón, E., & Vergel, M. (2021). Análisis estadístico para validar parámetros de modelos matemáticos por medio método de mínimos cuadrados. *Revista Boletín Redipe*, 10(5), 343-359.
- Manalu, M., Rumida, N., Julianti, E., & Romauli, N. D. M. (2024). Composites flour formulation made from yellow pumpkin, purple sweet potato, corn, and wolf-herring flour for replacement of wheat flour on low- and high- moisture foods part I: Cookies and muffin. *Food And Humanity*, 2, 100261. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100261>

- Mayorga, F. (2023). *Productos de Panadería en Ecuador*. Universidad Técnica de Ambato.
- Moposita, A. (2023). *Evaluación del comportamiento agronómico de cuatro líneas promisorias de avena bajo las condiciones agroecológicas de Querochaca*". Universidad Técnica de Ambato.
- Moreira, M. R., Sanches, V. L., Strieder, M. M., Rostagno, M. A., & Capitani, C. D. (2023). Vegan brownie enriched with phenolic compounds obtained from a chia (*Salvia hispanica* L.) coproduct: Nutritional, technological, and functional characteristics and sensory acceptance. *International Journal Of Gastronomy And Food Science*, 34, 100835. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100835>
- Neeharika, B., Suneetha, W., Kumari, B., & Tejashree, M. (2020). Leavening agents for food industry. *Int. J. Curr. Microbiol. App Sci*, 9(9), 1812-1817.
- Nugroho, F., Sumarni, S., Thamrin, A., Danur, F. (2020). *Using Baking Powder as Additional Concrete Material*. Sebelas Maret University.
- Otero, N., Rodríguez, E., & Tabares, J. (2020). Influence of different types of baking powder on quality properties of muffins. *Dyna (Colombia)*, 87(214), 9-16. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532020000300009&script=sci_arttext
- Paquiyauri Quispe, J. C. (2023). Efectos de la inulina en la reacción de Maillard y parámetros de horneado en la elaboración de pan. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/4477>
- Pineda Soto, V. I., & del Socorro Estrada Oré, E. L. (2020). Comparación de tres modelos de etiquetado nutricional frontal de productos industrializados en Perú, 2019. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 22(1), 35-45.
- Rodrigues Moreira, M., Lacerda Sanches, V., Martins Strieder, M., Rostagno, A. & Capitani, C. D. (2023). Vegan brownie enriched with phenolic compounds obtained from a chia (*Salvia hispanica* L.) coproduct: Nutritional, technological, and functional characteristics and sensory acceptance. *International Journal of Gastronomy and Food Science* (3), 489–350. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100835>
- San, H., Laorenza, Y., Behzadfar, E., Sonchaeng, U., Wadaugsorn, K., Sodsai, J., Kaewpetch, T., Promhuad, K., Srisa, A., Wongphan, P. & Harnkarnsujarit, N. (2022). Functional polymer and packaging technology for bakery products. *Polymers*, 14(18), 3793.
- Sandoval, E. R. (2019). *Evaluación del efecto de diferentes polvos de hornear en las propiedades de calidad de muffins*. Universidad Nacional de Colombia.
- Santos, S., & Areli, B. (2018). Elaboración de un pan libre de gluten mediante masas adicionadas con almidón modificado de amaranto y WPI. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/57d63f36-d629-4a9d-b79d-13e617c4d3bf>
- Sanz–Penella, J., Wronkowska, M., Soral–Smietana, M., & Haros, M. (2013). Effect of whole a maranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT*, 50(2), 679–685. <https://doi.org>

g/10.1016/j.lwt.2012.07.031.

- Siddiqui, S. A., Mahmud, M. C., Abdi, G., Wanich, U., Farooqi, M. Q. U., Settapramote, N., ... & Wani, S. A. (2022). New alternatives from sustainable sources to wheat in bakery foods: Science, technology, and challenges. *Journal of Food Biochemistry*, 46(9), e14185.
- Sousa, R., Gouveia, J., Nacas, A., Tavares, L., Ito, N., Moura, E., & Santos, D. (2019). Improvement of polypropylene adhesion by Kraft Lignin Incorporation. *Materials Research*, 22, e20180123.
- Tamayo Rendón, E. A. (2024). *Harina de arroz Oryza sativa, quínoa Chenopodium quinoa y avena Avena sativa como alternativa para sustitución de la harina de trigo Triticum en la elaboración de galletas dulces* (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2024).
- Toraval Aylas, Á. D., & Rodas Pingus, M. (2015). Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por torta de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L) sobre las propiedades reológicas y sensoriales en el “Bizcocho “. Universidad Nacional del Callao [Tesis].
- Toumi, O., Conte, P., da Silva, A., Barroca, M., & Fadda, C. (2022). Use of response surface methodology to investigate the effect of sodium chloride substitution with *Salicornia ramosissima* powder in common wheat dough and bread. *Journal of Functional Foods*, 99, 105349.
- Wunnam, M., Ojangba, T., & Kweku, F. (2019). Development of Gluten-free Biscuit from Peanut-Pearl Millet Composite Flour. *American Journal of Food Science and Technology* <http://doi.org/10.12691/ajfst-7-2-1>
- Xiong, S., Li, Y., Chen, G., Zou, H., Yu, Q., Si, J., & Yang, H. (2023). Incorporation of Huangjing flour into cookies improves the physicochemical properties and in vitro starch digestibility. *LWT*, 184, 115009. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115009>
- Zhang, Y., Liu, P., Han, B., Xiang, Y., & Li, L. (2019). Hue, chroma, and lightness preference in Chinese adults: Age and gender differences. *Color Research & Application*, 44(6), 967-980.

7 ANEXOS

7.1. ANEXO A: Consentimiento Informado

Consentimiento informado

Yo _____ con identificación (CI): _____ declaro que he sido informado e invitado a participar de forma voluntaria en la evaluación sensorial denominada “Prueba de Escala Hedónica”, como parte del Proyecto Integrador de la carrera de Ingeniería en Alimentos.

Entiendo que este estudio busca conocer el nivel de aceptación en un ponqué de chocolate y que mi participación consistirá en responder un cuestionario que demorará alrededor de 5 minutos. Estoy en pleno conocimiento de que no tengo, con relación a los ingredientes de la formulación, ninguna restricción personal o médica que me prohíba ingerir estos alimentos, como enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten (harina de avena), edulcorante no calórico (monkfruit) o alergias (frutos secos, huevo).

Asimismo, sé que puedo negar la participación o retirarme en cualquier momento, sin expresión de causa ni consecuencias negativas para mí.

Si, acepto voluntariamente participar en este proyecto.

Firma: _____

Fecha: _____

7.2. ANEXO B: Cuestionario Prueba de nivel de agrado

Cuestionario

Universidad San Francisco de Quito

Ingeniería en Alimentos

Evaluación Sensorial-Prueba Escala Hedónica

Nombre: _____ **Sexo:** F _____ M _____

Edad: _____

Fecha: 2024/11/20

Frente a usted se presenta una muestra de ponqué de chocolate. Por favor, pruebe la muestra servida y evalúe cada uno de los atributos indicados y su percepción global. Indique cuanto le gustó o disgustó cada uno de los atributos sensoriales del producto dando notas de acuerdo a la siguiente escala:

Código de la muestra: 854

9.- Me gusto extremadamente

8.- Me gustó mucho

Color _____

7.- Me gusto moderadamente

Aroma _____

6.- Me gustó poco

Dulzor _____

5.- Indiferente

Sabor _____

4.- Me disgustó poco

Textura _____

3.- Me disgustó moderadamente

Global _____

2.- Me disgustó mucho

1.- Mis disgustó extremadamente

Comentarios. _____

¡Muchas gracias por su ayuda, su opinión es muy importante!