



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR ECUATORIANO DE PRODUCTIVIDAD**

**TECNOLOGÍA SUPERIOR EN GASTRONOMÍA**

**Trabajo de titulación presentado como requisito para obtener el título de tecnólogo superior en Gastronomía**

**TEMA:**

**"Desarrollo de una tarta fina de manzana elaborada con harinas funcionales y endulzantes naturales como alternativa de repostería para la promoción de hábitos alimentarios saludables, Quito, 2026"**

**AUTORES:**

Herrera Velasco Susana Marilin

**TUTOR:**

Ing. Xavier Sánchez

**Fecha:**

Agosto, 2026

**Quito, Ecuador**

## ÍNDICE

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| ÍNDICE .....                                     | 2  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                           | 9  |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....                    | 11 |
| DECLARACIÓN DEL TUTOR METODOLÓGICO.....          | 12 |
| DECLARACIÓN DEL TUTOR TÉCNICO .....              | 13 |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS..... | 14 |
| AGRADECIMIENTO .....                             | 15 |
| DEDICATORIA .....                                | 17 |
| RESUMEN .....                                    | 19 |
| ABSTRACT.....                                    | 20 |
| CAPÍTULO I .....                                 | 21 |
| EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....               | 21 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN .....                           | 21 |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....             | 22 |
| 1.2.1 Contexto global.....                       | 23 |
| 1.2.2 Contexto regional y nacional .....         | 23 |
| 1.2.3 Contexto local .....                       | 23 |
| 1.2.4 El problema técnico .....                  | 24 |
| 1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....                | 24 |
| 1.4 OBJETIVOS .....                              | 25 |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.4.1 Objetivo general.....                                                         | 25 |
| 1.4.2 Objetivos específicos .....                                                   | 25 |
| 1.5 JUSTIFICACIÓN .....                                                             | 26 |
| 1.6 HIPÓTESIS O IDEA A DEFENDER .....                                               | 27 |
| 1.6.1 Hipótesis principal (aceptabilidad global) .....                              | 27 |
| 1.7 COBERTURA .....                                                                 | 27 |
| CAPÍTULO II .....                                                                   | 29 |
| MARCO TEÓRICO.....                                                                  | 29 |
| 2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL PRODUCTO .....                                      | 29 |
| 2.1.1 Origen y evolución de la masa quebrada en la pastelería europea .....         | 29 |
| 2.1.2 La tarte fine aux pommes: depuración técnica de una preparación clásica ..... | 29 |
| 2.1.3 <i>Malus domestica</i> : origen geográfico y domesticación.....               | 30 |
| 2.1.4 La manzana en la Sierra ecuatoriana .....                                     | 31 |
| 2.1.5 La repostería funcional .....                                                 | 32 |
| 2.2 INVESTIGACIONES PREVIAS .....                                                   | 34 |
| 2.2.1 Sustitución de harina de trigo por harina de avena .....                      | 34 |
| 2.2.2 Harina de almendra: estructura, humedad y perfil lipídico.....                | 35 |
| 2.2.3 Alulosa como sustituto de la sacarosa .....                                   | 36 |
| 2.2.4 Eritritol y sistemas de polioles.....                                         | 37 |
| 2.2.5 Sustitución de grasa .....                                                    | 39 |
| 2.2.6 Agar-agar como agente de brillo.....                                          | 40 |

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.7 Aceptabilidad hedónica en repostería reducida en azúcar: convergencias y contradicciones ..... | 41 |
| 2.2.8 Síntesis crítica y vacío de conocimiento .....                                                 | 42 |
| 2.3 MARCO CONCEPTUAL .....                                                                           | 44 |
| 2.3.1 Alimento funcional .....                                                                       | 44 |
| 2.3.2 <i>Malus domestica</i> Borkh. ....                                                             | 45 |
| 2.3.3 Avena sativa L. y el $\beta$ -glucano .....                                                    | 46 |
| 2.3.4 <i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D.A. Webb.....                                                    | 47 |
| 2.3.5 D-alulosa .....                                                                                | 47 |
| 2.3.6 Eritritol .....                                                                                | 48 |
| 2.3.7 Comparación de endulzantes .....                                                               | 49 |
| 2.3.8 Fundamentos fisicoquímicos de la masa quebrada .....                                           | 50 |
| 2.3.9 Qué reemplaza la estructura cuando no hay gluten ni sacarosa .....                             | 50 |
| 2.3.10 Reacciones de pardeamiento .....                                                              | 51 |
| 2.3.11 Evaluación sensorial .....                                                                    | 52 |
| 2.3.12 La escala hedónica de nueve puntos .....                                                      | 52 |
| 2.3.13 Hábitos alimentarios .....                                                                    | 53 |
| MARCO METODOLÓGICO.....                                                                              | 55 |
| 3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....                                                              | 55 |
| 3.1.1 Enfoque .....                                                                                  | 55 |
| 3.1.2 Tipo de investigación.....                                                                     | 55 |
| 3.1.3 Diseño experimental .....                                                                      | 55 |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.4 Unidad experimental y unidad de observación .....       | 56 |
| 3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....                                  | 56 |
| 3.2.1 Población de referencia.....                            | 56 |
| 3.2.2 Tipo de muestreo.....                                   | 57 |
| 3.2.3 Tamaño del panel.....                                   | 57 |
| 3.2.4 Criterios de inclusión y exclusión.....                 | 57 |
| 3.3 MATERIAS PRIMAS E INGREDIENTES .....                      | 58 |
| 3.4 EQUIPOS E INSTRUMENTOS .....                              | 59 |
| 3.5 PROCESO DE ELABORACIÓN.....                               | 59 |
| 3.5.1 Formulación de los tratamientos.....                    | 59 |
| 3.5.2 Descripción del proceso.....                            | 61 |
| 3.5.3 Puntos críticos de control e higiene .....              | 63 |
| 3.6 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO .....                       | 65 |
| 3.7 Análisis sensorial afectivo .....                         | 66 |
| 3.7.1 Justificación del tipo de prueba.....                   | 66 |
| 3.7.2 Instrumento y su validación .....                       | 66 |
| 3.7.3 Condiciones de la sala.....                             | 66 |
| 3.7.4 Protocolo de servicio.....                              | 67 |
| 3.7.5 Control de sesgos .....                                 | 67 |
| 3.7.6 Consideraciones éticas y declaración de alérgenos ..... | 68 |
| 3.8 Análisis estadístico.....                                 | 68 |

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.8.1 Tabulación y depuración de datos.....                                | 68 |
| 3.8.2 Análisis de varianza .....                                           | 69 |
| 3.8.3 Regla de decisión .....                                              | 69 |
| 3.8.4 Comparaciones múltiples.....                                         | 69 |
| 3.8.5 Identificación del tratamiento óptimo y del atributo limitante ..... | 70 |
| CAPÍTULO IV.....                                                           | 71 |
| RESULTADOS.....                                                            | 71 |
| 4.1 Caracterización de la muestra de jueces .....                          | 71 |
| 4.2 Resultados sensoriales por atributo.....                               | 71 |
| 4.2.1 Color .....                                                          | 72 |
| 4.2.2 Olor .....                                                           | 72 |
| 4.2.3 Sabor .....                                                          | 72 |
| 4.2.4 Textura .....                                                        | 72 |
| 4.2.5 Aceptabilidad global .....                                           | 72 |
| 4.3 Perfil sensorial comparativo .....                                     | 73 |
| 4.4 Verificación de supuestos .....                                        | 74 |
| 4.5 Resultados del análisis de varianza.....                               | 75 |
| 4.5.1 Análisis de varianza de un factor con bloques.....                   | 75 |
| 4.5.2 Análisis no paramétrico de la textura.....                           | 76 |
| 4.6 Prueba de comparaciones múltiples (Tukey HSD).....                     | 77 |
| 4.7 Contrastación de hipótesis .....                                       | 77 |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 4.8 Discusión.....                                          | 78 |
| 4.8.1 Coincidencias con la literatura previa.....           | 78 |
| 4.8.2 Divergencias y explicaciones.....                     | 79 |
| 4.8.3 El atributo limitante .....                           | 81 |
| 4.8.4 Limitaciones.....                                     | 82 |
| CAPÍTULO V.....                                             | 84 |
| PROPUESTA, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....              | 84 |
| 5.1 Propuesta del producto final .....                      | 84 |
| 5.1.1 Justificación de la selección.....                    | 84 |
| 5.1.2 Nombre comercial y concepto .....                     | 84 |
| 5.1.3 Descripción sensorial del producto .....              | 85 |
| 5.1.4 Público objetivo .....                                | 85 |
| 5.1.5 Empaque y etiquetado.....                             | 86 |
| 5.2 Ficha técnica del producto .....                        | 86 |
| 5.3 Análisis económico .....                                | 87 |
| 5.3.1 Receta estándar costead.....                          | 88 |
| 5.3.2 Costos variables unitarios .....                      | 89 |
| 5.3.3 Costos fijos mensuales.....                           | 89 |
| 5.3.4 Precio de venta y margen de contribución.....         | 90 |
| 5.3.5 Punto de equilibrio.....                              | 91 |
| 5.3.6 Análisis de sensibilidad al precio de la alulosa..... | 92 |

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.4 Conclusiones .....                                                     | 93  |
| 5.5 Recomendaciones .....                                                  | 95  |
| 5.5.1 Para investigaciones futuras.....                                    | 95  |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                                         | 97  |
| ANEXOS .....                                                               | 102 |
| Anexo 1. Ficha de evaluación sensorial (escala hedónica de 9 puntos) ..... | 102 |
| Anexo 2. Base de datos del análisis sensorial.....                         | 103 |
| Anexo 3. Salidas del software estadístico.....                             | 106 |
| Anexo 4. Receta estándar costeable del tratamiento óptimo .....            | 114 |
| Anexo 5. Fotografías del proceso de elaboración.....                       | 115 |
| Anexo 6. Fotografías del producto final .....                              | 117 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Operacionalización de variables .....                                                                         | 27 |
| Tabla 2: Síntesis comparativa de investigaciones previas sobre sustitución en productos<br>horneados (2019–2026) ..... | 42 |
| Tabla 3: Propiedades comparadas de los endulzantes considerados .....                                                  | 49 |
| Tabla 4: Tipología de la investigación y justificación .....                                                           | 55 |
| Tabla 5: Materias primas, origen y especificaciones de calidad .....                                                   | 58 |
| Tabla 6: Equipos, instrumentos y utensilios .....                                                                      | 59 |
| Tabla 7: Formulación de la masa por tratamiento (base 424 g, rendimiento 12 tartaletas) .....                          | 60 |
| Tabla 8: Formulación de la crema de almendras por tratamiento (base 234 g) .....                                       | 60 |
| Tabla 9: Componentes constantes en los cuatro tratamientos .....                                                       | 61 |
| Tabla 10: Puntos críticos de control del proceso .....                                                                 | 64 |
| Tabla 11: Orden de presentación de muestras (cuadrado de Williams) .....                                               | 67 |
| Tabla 12: Control de sesgos en la evaluación sensorial .....                                                           | 67 |
| Tabla 13: Estructura de la tabla de análisis de varianza .....                                                         | 69 |
| Tabla 14: Caracterización sociodemográfica y de consumo del panel (n = 60) .....                                       | 71 |
| Tabla 15: Puntuaciones hedónicas medias ( $\pm$ desviación estándar) por atributo y tratamiento<br>(n = 60) .....      | 72 |
| Tabla 16: Verificación de supuestos del análisis de varianza por atributo .....                                        | 74 |
| Tabla 17: Análisis de varianza por atributo (jueces como bloque) .....                                                 | 75 |
| Tabla 18: Análisis no paramétrico del atributo textura .....                                                           | 76 |
| Tabla 19: Agrupación de medias por prueba de Tukey HSD ( $\alpha = 0,05$ ) .....                                       | 77 |
| Tabla 20: Decisión sobre la hipótesis nula por atributo .....                                                          | 77 |
| Tabla 21: Ficha técnica del producto Pomme Fina .....                                                                  | 86 |
| Tabla 22: Costo de materia prima por lote de 12 unidades .....                                                         | 88 |

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 23: Costos variables por unidad producida.....                                            | 89 |
| Tabla 24: Estructura de costos fijos mensuales .....                                            | 89 |
| Tabla 25: Detalle de la depreciación de equipos (método de línea recta, 5 años) .....           | 90 |
| Tabla 26: Proyección de costos, ingresos y utilidad .....                                       | 91 |
| Tabla 27: Sensibilidad del punto de equilibrio ante variaciones en el precio de la alulosa..... | 92 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1: Diagrama de flujo del proceso .....                            | 65 |
| Ilustración 2: Puntuaciones hedónicas medias por atributo y tratamiento.....  | 73 |
| Ilustración 3: Perfil sensorial comparativo de los cuatro tratamientos. ....  | 74 |
| Ilustración 4: Punto de equilibrio de la tarta fina de manzana funcional..... | 92 |

## DECLARACIÓN DEL TUTOR METODOLÓGICO

**Fecha:** Agosto de 2026

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de TECNÓLOGO SUPERIOR EN GASTRONOMÍA en el Instituto Tecnológico Superior Ecuatoriano de Productividad con el tema: "Desarrollo de una tarta fina de manzana elaborada con harinas funcionales y endulzantes naturales como alternativa de repostería para la promoción de hábitos alimentarios saludables, Quito, 2026", ha sido elaborado por **SUSANA MARILIN HERRERA VELASCO** el mismo que ha sido revisado y analizado en un 100 % con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

**Atentamente**

---

MSC.

**TUTOR METODOLÓGICO**

## DECLARACIÓN DEL TUTOR TÉCNICO

**Fecha:** Agosto de 2026

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de TECNÓLOGO SUPERIOR EN GASTRONOMÍA en el Instituto Tecnológico Superior Ecuatoriano de Productividad con el tema: "Desarrollo de una tarta fina de manzana elaborada con harinas funcionales y endulzantes naturales como alternativa de repostería para la promoción de hábitos alimentarios saludables, Quito, 2026", ha sido elaborado por **SUSANA MARILIN HERRERA VELASCO** el mismo que ha sido revisado y analizado en un 100 % con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

Atentamente

---

Ing. Xavier Sánchez

TUTOR TÉCNICO

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Los autores del presente trabajo de titulación declaran bajo juramento que el contenido aquí desarrollado es de su autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que se han consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, los autores ceden los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo al Instituto Tecnológico Superior Ecuatoriano de Productividad, según lo establecido por la normativa institucional vigente.

---

**SUSANA MARILIN HERRERA VELASCO**

## **AGRADECIMIENTO**

Hoy, al culminar esta etapa, miro con profunda gratitud la oportunidad que llegó a mi vida a través de una beca y que me permitió formarme en Gastronomía, una carrera que siempre ha sido una de mis mayores pasiones. Asumí este privilegio con responsabilidad, entusiasmo y compromiso, procurando corresponder a él cada día con esfuerzo, constancia y el firme propósito de alcanzar esta meta.

Expreso mi sincero agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior Ecuatoriano de Productividad, a sus autoridades y a todas las personas que hicieron posible mi acceso a esta formación. Gracias por abrirme las puertas, por creer en el valor de la educación y por permitirme transformar una pasión personal en una profesión que hoy forma parte de mi proyecto de vida.

A mis docentes, quienes desde el primer día nos acogieron con cariño, paciencia y dedicación, les agradezco por compartir generosamente sus conocimientos, experiencias y enseñanzas. Cada clase, cada consejo, cada corrección y cada palabra de aliento contribuyeron no solo a mi crecimiento académico, sino también a fortalecer mi confianza y mi amor por la gastronomía.

De manera muy especial, expreso mi profunda gratitud a mi tutor, Ing. Xavier Sánchez, por su profesionalismo, dedicación, paciencia y disposición permanente durante el desarrollo de este trabajo de titulación. Gracias por guiarme paso a paso, por aclarar mis inquietudes, por exigirme dar lo mejor de mí y por acompañarme con responsabilidad y compromiso hasta la culminación de este proyecto. Su orientación fue fundamental para que esta investigación pudiera hacerse realidad.

A mis compañeras de aula, gracias por las experiencias compartidas, los aprendizajes, los desafíos, las risas, las anécdotas y también por aquellos momentos en los que todo se volvía

más difícil porque alguna receta no resultaba como esperábamos. Cada equivocación, cada nuevo intento y cada logro alcanzado juntas formaron parte de nuestro aprendizaje y dejaron recuerdos que guardaré con mucho cariño.

De manera especial, agradezco a quienes permanecieron a mi lado con sinceridad, lealtad y apoyo constante, brindándome ánimo y compañía incluso en los momentos más difíciles de esta etapa.

Extiendo también mi gratitud a quienes, mediante una palabra oportuna, un consejo o un gesto de apoyo, me impulsaron a continuar con firmeza hasta alcanzar esta meta.

Este logro representa mucho más que la culminación de una carrera: es la muestra de una oportunidad honrada, un sueño cumplido y la confirmación de que, con perseverancia y amor por lo que hacemos, siempre es posible abrir una nueva etapa en la vida. A cada uno de ustedes, gracias por haber dejado una huella imborrable en esta etapa tan importante de mi vida.

A todos, mi gratitud por haber formado parte de este camino.

## DEDICATORIA

Hay momentos en la vida que nos permiten mirar hacia atrás y comprender que cada esfuerzo, cada espera y cada decisión tuvieron un propósito. Llegar hasta aquí significa para mí mucho más que culminar una carrera: significa haber vuelto a encontrar un sueño que durante muchos años permaneció guardado en mi corazón.

A Jehová Dios, por permitirme vivir esta etapa, por darme la fortaleza para continuar y por acompañarme en cada momento. Gracias por recordarme que nunca es tarde para volver a empezar, aprender y luchar por aquello que verdaderamente amamos.

A mi esposo, con todo mi amor. Gracias por tu paciencia, por acompañarme cada día, por escucharme y por recordarme tantas veces que sí podía, que era capaz y que debía seguir adelante. Tu apoyo, tus consejos y tu confianza fueron fundamentales para alcanzar esta meta. Este logro también lleva una parte de ti.

A mis hijos, Dana y Nicolás mi mayor inspiración. Durante muchos años mi vida estuvo dedicada a ustedes, a verlos crecer y a cuidar de nuestro hogar. Cocinar para ustedes fue siempre una de mis formas más sinceras de expresarles amor; cada plato, cada postre y cada receta llevaba un pedacito de mi corazón. Hoy, aunque la distancia nos separe, siguen presentes en cada preparación que aprendo y en cada logro que alcanzo.

A mis padres, gracias por creer siempre en mí, por celebrar cada una de mis buenas calificaciones y por esas palabras que tantas veces me dieron fuerzas: “Sigue adelante, hija, tú puedes”. Su cariño y confianza hicieron que cada esfuerzo tuviera un significado todavía mayor.

A mis hermanos, por su cariño y por compartir conmigo la alegría de este logro.

Y, finalmente, me dedico este logro a mí misma. A la mujer que durante muchos años guardó el deseo de estudiar y convertirse en profesional mientras dedicaba su vida a otras responsabilidades; a la mujer que nunca dejó de amar la cocina y que encontró en la

gastronomía la oportunidad de transformar una pasión de toda la vida en conocimiento y en una profesión.

Hoy puedo mirar atrás y comprender que aquel sueño no desapareció: simplemente esperó su momento. Y este fue mi momento para hacerlo realidad.

## RESUMEN

La reformulación de productos de repostería representa uno de los desafíos técnicos más persistentes de la industria alimentaria, porque la sacarosa y la harina de trigo cumplen funciones estructurales que ningún sustituto reproduce por completo. Esta investigación desarrolló una tarta fina de manzana elaborada con harinas funcionales de avena y almendra y un sistema edulcorante de alulosa y eritritol, con el objetivo de determinar si el nivel de sustitución de los ingredientes tradicionales afecta significativamente la aceptabilidad sensorial del consumidor. El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y experimental, bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones: un control elaborado con harina de trigo y sacarosa, y tres formulaciones con sustitución progresiva del 50 %, 75 % y 100 %. Se aplicó una prueba hedónica verbal de nueve puntos a sesenta jueces consumidores no entrenados, evaluando color, olor, sabor, textura y aceptabilidad global bajo condiciones controladas de cabina y con presentación aleatorizada. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza de un factor con bloques y prueba post hoc de Tukey, previa verificación de normalidad y homocedasticidad. El tratamiento de sustitución total alcanzó una aceptabilidad global de 7,47 sobre 9, valor estadísticamente equivalente al del control y superior al de las formulaciones intermedias, y superó significativamente al control en el atributo olor. El color presentó el mayor efecto del tratamiento, atribuible a la mayor reactividad de la alulosa en las reacciones de pardeamiento. Se concluye que la sustitución total resulta técnica, sensorial y económicamente viable.

**Palabras clave:** repostería funcional, alulosa, análisis sensorial afectivo, escala hedónica, aceptabilidad del consumidor.

## **ABSTRACT**

The reformulation of pastry products remains one of the most persistent technical challenges in the food industry, since sucrose and wheat flour perform structural functions that no single substitute fully replicates. This research developed a thin apple tart made with functional oat and almond flours and an allulose–erythritol sweetening system, aiming to determine whether the substitution level of traditional ingredients significantly affects consumer sensory acceptability. The study adopted a quantitative, applied and experimental approach under a completely randomised design with four treatments and three replicates: a control made with wheat flour and sucrose, and three formulations with progressive substitution of 50 %, 75 % and 100 %. A nine-point verbal hedonic test was administered to sixty untrained consumer judges, who assessed colour, odour, flavour, texture and overall acceptability under controlled booth conditions with randomised sample presentation. Data were analysed through one-way analysis of variance with blocks and Tukey post hoc test, after verifying normality and homoscedasticity. The full-substitution treatment reached an overall acceptability of 7.47 out of 9, a value statistically equivalent to the control and higher than that of the intermediate formulations, and it significantly outperformed the control in the odour attribute. Colour showed the largest treatment effect, attributable to the greater reactivity of allulose in browning reactions. It was concluded that full substitution is technically, sensorially and economically viable.

Key words: functional pastry, allulose, affective sensory analysis, hedonic scale, consumer acceptability.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Pocos sectores de alimentos, sin embargo, permanecen tan intransigentes ante la reformulación como la repostería. El azúcar esencialmente sirve como edulcorante y como mucho como algo más en una soda. El azúcar, sin embargo — bueno, esa es otra historia totalmente distinta cuando se trata de la masa quebrada. Afecta la hidratación de la harina, la red de gluten, el desarrollo del gluten y la temperatura de gelificación del almidón; también puede retener agua durante el almacenamiento y participa en algunas reacciones que forman el color y el aroma de la cocción. Eliminar el azúcar de una tarta no es restar un ingrediente; es desarmar una estructura.

De ahí probablemente esta diferencia: por eso la reducción de azúcar avanzó relativamente rápido en bebidas y, en cambio, tan lento (o casi nada) con la repostería. Sahin et al. la Tabla 9 de (2019) ha mostrado que las estrategias existentes, es decir, polioles, fibras, edulcorantes de alta intensidad y combinaciones, permiten —en cierta medida— abordar el dulzor, pero no siempre perfiles completos de funciones tecnológicas a la vez, ya que una reducción superior al 20% requiere sustitutos combinados y no sustitutos directos. Así que, en este caso, el problema no es de si yo tenía (o no) los ingredientes adecuados. El único elemento que lo hará posible es el diseño arquitectónico del producto.

El consumidor no va a negociar a cambio de placer, así que a ese desafío técnico añadimos otro de distinta naturaleza y quizá más difícil. La evidencia sobre productos reformulados demuestra un patrón común en el que el consumidor utiliza y aprovecha las calorías para mejorar su entorno; cuando los consumidores detectan esa pérdida de palatabilidad, la penalizan. Caferoglu et al. (2022). Esto se evidenció claramente en su

comparación de la respuesta glucémica 5 (grupo control GR5): aunque el pan de avena redujo la respuesta glucémica posprandial en comparación con el pan blanco (29,9%), no encontraron diferencias entre barras y cereales excepto en la sed, y el pan de cebada fue preferido al de avena en la parte marrón frente a la blanca, pero la sensación de apetito nunca cambió. Función sí; experiencia no. La desvinculación entre la ventaja y la aceptación en términos hedónicos es, con más precisión, la brecha que abordamos en este estudio.

El contexto ecuatoriano añade urgencia. Según la Encuesta STEPS de 2018, el sobrepeso y la obesidad afectan al 63,6% de la población adulta y se encontró glucosa en ayunas elevada o tratamiento para la diabetes en siete de cada cien adultos (Ministerio de Salud Pública [MSP], 2018). Con estas cifras, un país que fue un adoptante temprano del etiquetado nutricional tipo semáforo en la región fue el que lo introdujo en 2013; sin embargo, la evidencia sobre su impacto real en el comportamiento de compra es, como máximo, mixta (Sarasty et al., 2023). El semáforo brinda información, pero no genera la alternativa que se requiere para cambiar la elección del consumidor. Por sí mismo, si la única opción que se puede encontrar en el escaparate de una pastelería es una con luz roja en azúcares, la etiqueta transmite un problema sin ofrecer soluciones.

Esta es la justificación de esta investigación. No que necesitemos demostrar que la reducción de azúcares es algo bueno —eso ya está bastante cubierto—, sino si en realidad se puede crear un producto de pastelería terminado con algo distinto del azúcar de caña y sin harina de trigo, para el consumidor cuya elección del producto se basó en el gusto y no en la disciplina. La tarta delgada de manzana ofrece un buen caso para esa indagación: Su base está elaborada con una masa quebrada con bajo desarrollo de gluten, su dulzor es en su mayor parte plástico y la parte completa deja cambios de sabor sin forzar los medios estándar de uso de preparaciones. Los objetivos que se presentan a continuación delimitan esta indagación.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Contexto global**

El consumo excesivo de azúcares libres se encuentra entre los factores dietarios de mayor peso en la carga global de enfermedades no transmisibles. Los productos de panificación y pastelería concentran una fracción sustancial de ese consumo, y su participación en la dieta ha crecido de forma sostenida a nivel mundial. La respuesta de la industria ha sido la reformulación, pero esta enfrenta una barrera tecnológica documentada: la sacarosa no es únicamente un agente de dulzor, sino un componente multifuncional cuya sustitución altera simultáneamente volumen, textura, color y vida útil (Sahin et al., 2019).

### **1.2.2 Contexto regional y nacional**

Ecuador presenta una prevalencia de exceso de peso que alcanza a casi dos de cada tres adultos, con una prevalencia de obesidad del 25,7 % y mayor afectación en mujeres (MSP et al., 2018). La política pública nacional apostó por el etiquetado frontal de semáforo como herramienta de información al consumidor. Los estudios disponibles muestran que la población identifica el semáforo, pero que su traducción en decisiones de compra está condicionada por factores socioeconómicos y demográficos, y no ocurre de manera uniforme (Bobbio Gonzáles et al., 2023). Sarasty et al. (2023), en un estudio con 1 152 consumidores ecuatorianos responsables de las compras del hogar, encontraron que las preferencias por los atributos nutricionales señalizados en la etiqueta no operan de forma homogénea. En síntesis: existe información, pero la oferta de productos que permitan actuar sobre ella sigue siendo escasa.

### **1.2.3 Contexto local**

En Quito, la oferta de repostería con azúcar reducida se concentra en establecimientos especializados de precio elevado y, con frecuencia, recurre a la simple omisión del azúcar sin compensar sus funciones tecnológicas. El resultado son productos secos, pálidos y de dulzor plano que el consumidor prueba una vez. La brecha no está en la intención de consumo

saludable, que la evidencia muestra creciente, sino en la disponibilidad de alternativas sensorialmente competitivas.

#### **1.2.4 El problema técnico**

Al retirar simultáneamente la sacarosa y la harina de trigo de una masa quebrada se pierden tres funciones críticas: la red de gluten que confiere cohesión, la interferencia del azúcar en la hidratación que produce la friabilidad característica, y los azúcares reductores que alimentan la reacción de Maillard durante el horneado. Cualquier formulación alternativa debe reponer las tres. La alulosa ofrece una vía prometedora para la tercera: como epímero en C-3 de la D-fructosa, es un azúcar reductor con aproximadamente el 70 % del poder edulcorante de la sacarosa y apenas 0,4 kcal/g, y presenta una reactividad en pardeamiento superior a la de la glucosa y la fructosa (Xie et al., 2024). Sin embargo, Lee et al. (2020) advirtieron que en pound cake la aceptabilidad sensorial se sostiene hasta niveles moderados de sustitución, lo que sugiere que la respuesta del consumidor depende de la matriz y no puede extrapolarse entre productos. Ese es exactamente el punto que justifica una evaluación específica en tarta fina de manzana.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Pregunta principal: ¿En qué medida el nivel de sustitución de harina de trigo y sacarosa por harinas funcionales de avena y almendra y por un sistema edulcorante de alulosa y eritritol influye en la aceptabilidad sensorial de una tarta fina de manzana, en consumidores de la ciudad de Quito durante el período enero–agosto de 2026?

Subpreguntas derivadas:

- ¿Qué atributos sensoriales resultan más sensibles al incremento del nivel de sustitución?

- ¿Existe un nivel de sustitución a partir del cual la aceptabilidad global se deteriora de forma estadísticamente significativa respecto del control?
- ¿Es económicamente viable la producción del tratamiento de mayor aceptabilidad bajo las condiciones de costo del mercado quiteño?

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Desarrollar una tarta fina de manzana elaborada con harinas funcionales y endulzantes naturales, evaluando el efecto del nivel de sustitución sobre la aceptabilidad sensorial del consumidor, con el fin de proponer una alternativa de repostería que contribuya a la promoción de hábitos alimentarios saludables.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar las propiedades nutricionales y tecnológicas de la harina de avena, la harina de almendra, la alulosa y el eritritol en su función como sustitutos en masas quebradas, mediante revisión sistemática de literatura científica indexada.
- Formular cuatro tratamientos de tarta fina de manzana con niveles crecientes de sustitución de harina de trigo, sacarosa y mantequilla, incluyendo un tratamiento control de referencia.
- Elaborar los tratamientos bajo condiciones estandarizadas de proceso y buenas prácticas de manufactura, documentando los parámetros críticos de cada etapa.
- Evaluar la aceptabilidad sensorial de los cuatro tratamientos mediante una prueba hedónica verbal de nueve puntos aplicada a sesenta jueces consumidores no entrenados.

- Determinar la viabilidad económica del tratamiento de mayor aceptabilidad mediante análisis de costos, precio de venta al público y punto de equilibrio.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

La literatura sobre alulosa en productos horneados se ha centrado hasta ahora en matrices basadas en masa, como bizcochos tipo esponja, queques tipo pound y cupcakes, en las que la incorporación de aire y el logro de la gelificación del almidón impulsan el comportamiento del sistema (Lee et al., 2020; Xie et al., 2024). Pero las masas quebradas responden a otra lógica: baja hidratación, alto contenido graso y ausencia intencional de formación de gluten. Sería un error metodológico transferir conclusiones de una matriz a otra.

Seguimos la evidencia empírica más sólida disponible para el  $\beta$ -glucano de avena: Zurbau et al. Además, el reciente metaanálisis de Zhang et al. (2021), que incluyó 103 comparaciones de ensayos controlados, mostró que su adición a alimentos que contienen carbohidratos reduce las respuestas de glucemia y de insulinemia posprandiales de manera dependiente de la dosis y del peso molecular. Este hecho tiene un punto práctico directo para este estudio: volver a “reemplazar” la harina de avena a fin de obtener una sustitución estructural, con una función fisiológica basada en la evidencia. Esta investigación permite estandarizar una formulación reproducible y transferible a pequeñas iniciativas gastronómicas, en las que no hay formulaciones validadas diseñadas para este segmento ubicadas en Quito.

La prevalencia del exceso de peso en el 63,6% de los adultos ecuatorianos (MSP et al., 2018) y la evidencia de que la información nutricional no cambia el comportamiento de compra de manera similar (Bobbio Gonzáles et al., 2023) determinaron que existía una relevancia para la salud de ofrecer alternativas concretas. Donde incluso la etiqueta no puede alcanzar un producto que se elige por deseo en lugar de por restricción. El Capítulo V sobre análisis de costos y punto de equilibrio se presentó como una especie de justificación económica para

responder si esa alternativa es viable más allá del laboratorio, algo que a menudo queda sin abordar en el trabajo de desarrollo de productos.

## 1.6 HIPÓTESIS O IDEA A DEFENDER

### 1.6.1 Hipótesis principal (aceptabilidad global)

Hipótesis nula ( $H_0$ ): El nivel de sustitución de harina de trigo, sacarosa y mantequilla por harinas funcionales y endulzantes naturales no produce un efecto estadísticamente significativo sobre la aceptabilidad global de la tarta fina de manzana.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Al menos un nivel de sustitución produce un efecto estadísticamente significativo sobre la aceptabilidad global de la tarta fina de.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0,05$ .

*Tabla 1: Operacionalización de variables*

| Variable                | Tipo          | Dimensión            | Indicador                                            | Escala        | Instrumento               |
|-------------------------|---------------|----------------------|------------------------------------------------------|---------------|---------------------------|
| Nivel de sustitución    | Independiente | Formulación          | % de sustitución: 0 (Tc), 50 (T1), 75 (T2), 100 (T3) | Razón         | Formulación estandarizada |
| Aceptabilidad sensorial | Dependiente   | Color                | Puntuación hedónica                                  | Ordinal (1–9) | Ficha de cata (Anexo 1)   |
|                         |               | Olor                 | Puntuación hedónica                                  | Ordinal (1–9) | Ficha de cata             |
|                         |               | Sabor                | Puntuación hedónica                                  | Ordinal (1–9) | Ficha de cata             |
|                         |               | Textura              | Puntuación hedónica                                  | Ordinal (1–9) | Ficha de cata             |
|                         |               | Aceptabilidad global | Puntuación hedónica                                  | Ordinal (1–9) | Ficha de cata             |

*Nota.* Elaboración propia (2026).

## 1.7 COBERTURA

El estudio se inscribe en las áreas de tecnología de gastronomía aplicada a la pastelería, evaluación sensorial afectiva, nutrición aplicada al desarrollo de productos y costeo gastronómico.

Cobertura temporal. Enero a agosto de 2026, comprendiendo revisión bibliográfica, formulación, ensayos preliminares, panel sensorial, análisis estadístico y redacción.

Delimitaciones. El estudio evalúa aceptabilidad sensorial afectiva; no incluye análisis descriptivo cuantitativo con panel entrenado, determinación instrumental de textura, análisis proximal de laboratorio, estudio de vida útil ni evaluación de respuesta glucémica in vivo. El valor nutricional declarado se calcula por composición teórica a partir de tablas de referencia, no por análisis bromatológico.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL PRODUCTO**

##### **2.1.1 Origen y evolución de la masa quebrada en la pastelería europea**

La masa quebrada nació de una limitación, no de una búsqueda estética. Las primeras envolturas de harina y grasa documentadas en la cocina medieval europea no estaban pensadas para comerse: servían de recipiente hermético que permitía cocer un relleno en el horno y transportarlo después. Eran duras, gruesas y con frecuencia se descartaban. La transición hacia una masa comestible, friable y de sabor propio ocurre cuando cambian dos variables simultáneas: la disponibilidad de mantequilla en cantidad suficiente y el abaratamiento relativo del azúcar tras la expansión de la producción colonial (Mintz, 1985). Es lo que da lugar, entre los siglos XVII y XVIII, a las masas que la codificación francesa posterior nombraría *pâte brisée*, *pâte sablée* y *pâte sucrée* (Wheaton, 1983).

Conviene señalar lo que ese cambio significó en términos técnicos, porque es directamente pertinente para esta investigación. Una masa quebrada funciona por inhibición controlada: la grasa recubre las partículas de harina e impide que las proteínas se hidraten y formen gluten; el azúcar, a su vez, compite por el agua disponible y refuerza esa inhibición. El resultado quebradizo, arenoso, que se deshace en boca no proviene de añadir algo, sino de impedir que algo ocurra. Cuando en el siglo XX la pastelería industrial estandarizó estas masas, lo hizo apoyándose en la sacarosa como reguladora de la hidratación tanto o más que como agente de dulzor (Gisslen, 2017). Retirla, por tanto, no deja un hueco de sabor: deja un desequilibrio funcional.

##### **2.1.2 La tarte fine aux pommes: depuración técnica de una preparación clásica**

La tarta de manzana es una de las preparaciones más antiguas y extendidas de la repostería europea, y precisamente por eso admite muchas versiones. La tarte fine representa una de ellas, y no la más antigua: es el resultado de un movimiento de simplificación que la pastelería francesa emprendió en la segunda mitad del siglo XX. Frente a la tarta clásica de masa gruesa, crema pastelera abundante y manzana en trozos la tarte fine reduce el espesor de la masa a unos pocos milímetros, elimina o aligera la crema, y dispone la fruta en láminas superpuestas que se caramelizan en el horneado (Gisslen, 2017).

Al reducir el espesor de la masa se reduce también la proporción de grasa y azúcar por porción, y se traslada el protagonismo sensorial a la fruta. Es un antecedente relevante para este trabajo por una razón concreta: la tarte fine ya constituye, en su propia genealogía, un ejercicio de aligeramiento. La formulación que aquí se propone extiende esa lógica hasta el reemplazo de los ingredientes base, pero no rompe con el espíritu de la preparación; lo continúa.

La crema de almendras crême d'amandes, en su versión clásica una mezcla de almendra molida, mantequilla, azúcar y huevo cumple en esta arquitectura un papel doble: aporta cuerpo y absorbe la humedad que la manzana libera durante la cocción, protegiendo la base de la masa. Cualquier reformulación debe conservar esa segunda función, o la base se reblandece.

### **2.1.3 *Malus domestica*: origen geográfico y domesticación**

La manzana cultivada es uno de los frutales mejor estudiados de la genómica vegetal fue el décimo genoma de planta secuenciado, en 2010 y su historia ha sido reconstruida con un detalle poco común (Brite, 2021).

El progenitor principal es *Malus sieversii*, especie silvestre de las montañas Tian Shan, en la actual Kazajistán. Desde allí, la especie se dispersó hacia el oeste a lo largo de las rutas comerciales que la historiografía agrupa bajo el nombre de Ruta de la Seda, hibridándose sucesivamente con manzanos silvestres locales. Duan et al. (2017), tras resecuenciar 117 accesiones de 24 especies del género, confirmaron ese trayecto y añadieron un hallazgo que

reordenó el relato: la manzana domesticada también viajó hacia el este, hibridándose con especies asiáticas y originando las manzanas de postre blandas que hoy se cultivan en China. No hubo, entonces, una única ruta de difusión, sino dos.

La contribución de las especies silvestres europeas al genoma actual también ha sido cuantificada. Cornille et al. (2012), con una muestra de 839 accesiones de cinco especies distribuidas desde China hasta España, demostraron que *M. sylvestris* el manzano silvestre europeo fue un contribuyente secundario mayor, un resultado que matizó la visión previa de un origen exclusivamente centroasiático. Cornille et al. (2019) integraron después la evidencia arqueobotánica y genética en una síntesis que subraya un rasgo distintivo de los frutales: a diferencia de los cereales, su domesticación no fue gradual sino relativamente rápida, y estuvo impulsada por la hibridación más que por la selección acumulativa de mutaciones.

Un elemento tecnológico resulta decisivo en esa historia y suele omitirse en los antecedentes de trabajos gastronómicos. El manzano es fuertemente heterocigoto: una semilla no reproduce las características del fruto del que proviene. Sin injerto, cada árbol nuevo es una lotería. Mudge et al. (2009), en su revisión histórica de la técnica, sitúan el desarrollo del injerto como la condición que hizo posible fijar y propagar variedades. Dicho de otro modo: la manzana que hoy se compra en un mercado de Quito no existe por selección genética espontánea, sino porque hace más de dos mil años alguien aprendió a clonar un árbol. La estandarización varietal tan relevante para la reproducibilidad de una formulación de repostería tiene esa raíz.

#### **2.1.4 La manzana en la Sierra ecuatoriana**

El manzano no es una especie nativa de los Andes ecuatorianos. Su introducción es colonial, y su establecimiento comercial, mucho más reciente. El cultivo se localiza principalmente en las zonas templadas altas de la Sierra, por encima de los 2 500 msnm, donde las variedades de requerimiento medio y alto de frío encuentran condiciones aceptables. A

partir de 1981, el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias introdujo materiales adaptados a los valles interandinos templados mediante su Programa de Fruticultura; en esas zonas se estableció un sistema de producción forzada que permite cosechar cada seis a ocho meses, con rendimientos entre 10 y 25 toneladas por hectárea y ciclo (INIAP, s.f.).

Las variedades cultivadas en el país incluyen Gala, Royal Gala, Golden Delicious, Granny Smith, Rome Beauty y Winter Banana, entre otras (INIAP, s.f.). Esta disponibilidad varietal tiene una consecuencia práctica para la formulación desarrollada en este trabajo: la combinación de manzana roja y verde especificada en el Capítulo III no es un capricho estético. Las variedades de acidez alta tipo Granny Smith aportan pectina y ácido málico que sostienen la estructura durante el horneado y equilibran el dulzor; las de acidez baja aportan aroma y azúcares propios. Esa complementariedad es la que permite reducir el edulcorante añadido sin que el producto resulte plano.

Un dato de contexto merece mención: la producción nacional no cubre la demanda interna, por lo que Ecuador recurre a la importación (INIAP, s.f.).

### **2.1.5 La repostería funcional**

El desplazamiento que da origen a este trabajo es reciente y tiene una fecha aproximada. Hasta finales del siglo XX, la repostería se definía por oposición explícita a la alimentación funcional: era el ámbito del exceso permitido, y esa condición formaba parte de su valor. La reformulación no se planteaba porque no había razón para plantearla.

Lo que cambió no fue la tecnología los polioles y las fibras solubles llevaban décadas disponibles sino el marco regulatorio. El aumento sostenido de las enfermedades no transmisibles asociadas a la dieta llevó a los gobiernos a intervenir sobre el etiquetado y, en algunos casos, sobre la composición. Ecuador fue pionero regional al implementar el semáforo

nutricional en 2013. La industria respondió reformulando, con desigual éxito según la categoría.

Y aquí conviene ser preciso, porque la narrativa habitual del consumidor cada vez más consciente simplifica en exceso. Sahin et al. (2019) documentaron que las estrategias de reducción de azúcar en panificación han avanzado por sustitución parcial, y que las reducciones superiores al 20 % siguen exigiendo sistemas combinados de polioles, fibras y edulcorantes de alta intensidad. Y en la misma dirección apunta la evidencia sensorial: Caferoglu et al. (2022) hallaron que el pan de avena, pese a reducir la respuesta glucémica postprandial en 29,9 % frente al pan blanco, fue menos palatable que el pan de cebada y no modificó la sensación de apetito.

La aparición de la alulosa a escala comercial en los últimos años modifica ese panorama por una razón específica: a diferencia de los edulcorantes de alta intensidad, es un monosacárido con volumen, y a diferencia de los polioles, es un azúcar reductor capaz de participar en la reacción de Maillard. Xie et al. (2024) documentaron que su incorporación en bizcocho genera un perfil volátil distintivo, con mayor formación de furanos y pirazinas los compuestos responsables del aroma a horneado y una intensidad de pardeamiento superior a la de la glucosa y la fructosa. Por primera vez, un sustituto no aporta solo dulzor: aporta color y aroma.

Es sobre ese punto de inflexión histórico donde se sitúa esta investigación. No se trata de sustituir el azúcar y aceptar la pérdida, sino de comprobar si un sistema edulcorante contemporáneo permite reconstruir la experiencia completa. El apartado siguiente examina qué ha demostrado la literatura reciente al respecto, y dónde quedan los vacíos.

## 2.2 INVESTIGACIONES PREVIAS

### 2.2.1 Sustitución de harina de trigo por harina de avena

La avena entró a la panificación funcional por la vía del  $\beta$ -glucano, y esa procedencia condicionó cómo se ha estudiado. La mayoría de trabajos se pregunta cuánta avena se puede añadir sin arruinar el producto, no qué le ocurre al producto cuando se añade.

La evidencia fisiológica es la parte más sólida del expediente. Zurbau et al. (2021) reunieron 103 comparaciones de ensayos controlados agudos y confirmaron que la adición de  $\beta$ -glucano de avena a comidas con carbohidratos atenúa el área bajo la curva incremental de glucosa e insulina. El efecto no es uniforme: depende de la dosis y del peso molecular del polisacárido, variable que la mayoría de estudios tecnológicos no reporta. Esta observación tiene una consecuencia incómoda para la formulación de productos: un producto puede declarar contenido de avena y no aportar el beneficio, si el procesamiento degradó el  $\beta$ -glucano o si la dosis por porción es insuficiente.

En el plano tecnológico, la sustitución de trigo por avena produce efectos consistentes y bien caracterizados. Al aumentar la proporción de avena disminuyen el gluten húmedo y el valor de sedimentación, mientras aumenta la absorción de agua. Estudios en galletas tipo sugar-snap confirmaron el aumento del  $\beta$ -glucano, de la fibra y de la capacidad de retención de agua, con reducción simultánea del almidón total y del gluten húmedo (Prev Nutr Food Sci, 2018).

Existe también un uso menos frecuente de la avena que resulta directamente pertinente aquí: como sustituto de grasa en masas quebradas. Zbikowska et al. (2022) estudiaron galletas shortbread con reducción de manteca del 5, 10 y 15 %, compensada con  $\beta$ -glucano de avena soluble o de levadura insoluble, y concluyeron que la sustitución es posible pero solo hasta un límite muy estrecho: el  $\beta$ -glucano de avena puede reemplazar únicamente alrededor del 5 % de la manteca sin afectar adversamente la calidad física y sensorial del producto. Documentaron, además, que el  $\beta$ -glucano no hidrolizado, al tratarse de un polisacárido de cadena larga, no

participa en la reacción de Maillard, lo que contribuye al aclaramiento del color en los productos con mayor sustitución. Este resultado es el más relevante de todo el apartado para la presente investigación, porque es el único que trabaja sobre la matriz exacta masa quebrada y porque su conclusión es de cautela, no de entusiasmo.

Lo que queda sin resolver. Ningún trabajo localizado evalúa la avena como sustituto total de la harina de trigo en masa quebrada, en combinación con harina de almendra. Los límites reportados provienen de sistemas donde el gluten sigue presente y cumple su función. Cuando el gluten desaparece por completo, esos umbrales dejan de ser aplicables y el comportamiento del sistema debe determinarse empíricamente.

### **2.2.2 Harina de almendra: estructura, humedad y perfil lipídico**

La harina de almendra opera con una lógica opuesta a la de la avena. No es un cereal: es una semilla oleaginosa molida, con alto contenido de grasa insaturada y proteína, y prácticamente sin almidón. Al incorporarla a una masa no se aporta estructura, se aporta grasa dispersa y partículas que interrumpen la continuidad de la matriz. Su efecto es el de un agente de friabilidad.

Gillespie y Ahlborn (2021) compararon panes cetogénicos sin gluten formulados con 100 % harina de almendra, 100 % fibra de salvado de avena y dos combinaciones intermedias, evaluándolos con análisis descriptivo cuantitativo y con prueba de aceptación de consumidores. Los resultados fueron nítidos: los panes con mayor proporción de almendra presentaron una miga más abierta, con celdas de 1 a 4 mm<sup>2</sup>, resultaron menos firmes y menos masticables, y fueron preferidos tanto por el panel entrenado como por los consumidores. Las formulaciones con mayor proporción de salvado de avena resultaron más secas, más firmes y más masticables. Con el tiempo, todas las variantes con almendra se ablandaron; la de salvado de avena, en cambio, se endureció.

Ese contraste es un dato de diseño, no una curiosidad. Indica que almendra y avena no son sustitutos intercambiables sino componentes complementarios con comportamientos de envejecimiento opuestos. Una formulación que combine ambas como la desarrollada en este trabajo puede, en principio, compensar la tendencia al endurecimiento de la avena con el efecto ablandador de la almendra. Esa hipótesis técnica no ha sido comprobada en masa quebrada.

Hopkin et al. (2022) trabajaron sobre cupcakes cetogénicos sin gluten con harinas de almendra y coco, documentando cómo la proporción entre ambas modifica las propiedades del producto final. Su aporte principal para esta tesis no es el resultado específico sino el enfoque: tratan las harinas alternativas como un sistema con proporciones optimizables, no como sustitutos uno a uno.

Un elemento que la literatura tecnológica menciona poco y que en un trabajo gastronómico no puede omitirse es la alergenicidad. La almendra es alérgeno de declaración obligatoria en prácticamente todos los marcos regulatorios. Cualquier producto formulado con ella exige etiquetado explícito y, en un panel sensorial, exige que el criterio de exclusión de jueces contemple alergia a frutos secos.

### **2.2.3 Alulosa como sustituto de la sacarosa**

La alulosa es la novedad real de la última década en reformulación de repostería, y conviene explicar por qué antes de revisar la evidencia. Los edulcorantes de alta intensidad resuelven el dulzor pero no el volumen: se usan en miligramos, y la masa que se retira al quitar el azúcar debe reponerse con otra cosa. Los polioles aportan volumen pero no participan en el pardeamiento, porque no son azúcares reductores. La alulosa, epímero en C-3 de la D-fructosa, resuelve ambas cosas a la vez: es un monosacárido con volumen, con aproximadamente el 70 % del poder edulcorante de la sacarosa y un aporte calórico de alrededor de 0,4 kcal/g, y es un azúcar reductor plenamente activo en la reacción de Maillard (Xie et al., 2024).

Xie et al. (2024) realizaron el primer estudio sistemático de alulosa como reemplazo de sacarosa en bizcocho. Sus hallazgos: el sistema de batido apenas se alteró, pero el producto horneado sí presentó diferencias marcadas en volumen específico, textura, microestructura, color y actividad antioxidante. El perfil de volátiles del bizcocho con alulosa fue distintivo, con mayor generación de furanos y pirazinas. Los autores atribuyen estos cambios a dos mecanismos simultáneos: alteración de la gelatinización del almidón y aumento de las reacciones de pardeamiento.

El contrapunto necesario lo aporta Lee et al. (2020), quienes formularon pound cakes con alulosa al 25, 50, 75 y 100 % de sustitución. El índice de pardeamiento de la corteza aumentó proporcionalmente al nivel de alulosa; la capacidad de retención de solvente fue máxima en el control y disminuyó conforme aumentaba la alulosa; la humedad de la miga descendió del control hasta la sustitución total. La dureza de la miga fue mayor en el control y mínima en el tratamiento con 25 % de alulosa. En el plano sensorial, las muestras con 25, 50 y 75 % obtuvieron puntuaciones altas en apariencia y sabor, sin diferencias significativas en textura.

Aquí conviene detenerse, porque la conclusión de Lee et al. suele citarse mal. Su hallazgo no es que la alulosa funcione hasta el 25 % y falle después; es que en pound cake una matriz de batido con alto contenido de mantequilla y estructura dependiente de la aireación el óptimo se sitúa en ese rango. Extrapolar ese umbral a una masa quebrada sería un error de método: la masa quebrada no depende de la aireación ni de la gelatinización en la misma medida, y su textura objetivo es precisamente la friabilidad que en un bizcocho constituiría un defecto.

## **2.2.4 Eritritol y sistemas de polioles**

Donde la eritritol resuelve un problema (volumen barato a dosis bajas) que la alulosa no cubre verdaderamente, trae consigo su propio inconveniente: el efecto de enfriamiento.

Rice et al. y Wang, 2020, que es una revisión crítica sobre la producción de bioetanol y aplicaciones en alimentos que abarca la degradación bioquímica de los polioles por dos vías: regulación y etiquetado de los polioles y sus efectos sobre la salud, le dio a la eritritol un lugar especial entre la familia. A diferencia de la mayoría de los polioles, se absorbe predominantemente en el intestino delgado y se excreta por la orina casi sin alterarse, lo que explica su superior tolerancia digestiva: cualquier poliol que llegue al colon sería fermentado por la microbiota intestinal, que produce hinchazón, flatulencia y un efecto laxante a dosis al menos 10 veces superiores a las necesarias para lograr un efecto con eritritol.

La eritritol tiene un calor de disolución altamente endotérmico: cuando los cristales se disuelven en la boca, absorben energía de su entorno y, por tanto, generan una sensación de enfriamiento similar a la que produce una tableta de menta. Es proporcional al tamaño de partícula y a la cantidad de eritritol cristalino libre presente en el producto (es menor si el poliol se disolvió en una matriz o se mezcló con grasa).

Con base en esto, se deriva un principio de formulación de aplicación que resume los hallazgos de este trabajo: la eritritol debe usarse en forma fina y en baja proporción como un componente del sistema endulzante cuando se añade con un tipo de ingrediente que proporciona volumen y oscurecimiento por enlaces covalentes. Esta combinación encaja exactamente con esta lógica junto con la alulosa–eritritol. Arshad et al. (2022) proporcionaron, usando como ejemplo endulzantes naturales de mayor poder endulzante que sustituyen al azúcar refinado, una visión comparativa relevante de posibles beneficios para la salud, pero que carecía de cierto grado de profundidad tecnológica.

Nota de matiz crítico: la evidencia sobre los endulzantes no nutritivos no cuenta una historia uniformemente positiva. Suez et al. Un estudio reciente en humanos, bien controlado, de Suez et al. (2022) demostró efectos mediados por el microbioma de los endulzantes no nutritivos sobre la tolerancia a la glucosa que también eran personalizados: las personas con

perfiles específicos de microbiota basal respondieron de manera diferente a cada uno de los endulzantes no nutritivos planteados.

### **2.2.5 Sustitución de grasa**

En una masa quebrada la grasa no es un ingrediente más: es el agente que impide el desarrollo del gluten y el que produce la friabilidad. Sustituirla es, técnicamente, más delicado que sustituir el azúcar.

Richardson et al. (2021) realizaron el estudio más pertinente de este apartado porque abordaron ambas sustituciones a la vez grasa y sacarosa en bizcocho, empleando puré de judía manteca como sustituto graso e inulina combinada con rebaudiósido A como sistema edulcorante. Sus resultados son metodológicamente instructivos. Una reducción de sacarosa del 25 % no produjo ningún impacto significativo sobre las propiedades hedónicas, y las muestras resultaron tan aceptadas como el control; una reducción del 50 % afectó significativamente el agrado por la textura y la aceptabilidad global. Después de una sustitución grasa del 50 % no se encontraron diferencias significativas en ningún parámetro sensorial; con una sustitución del 75 %, en cambio, los atributos de intensidad de aroma y sabor y consecuentemente el agrado y la aceptabilidad global se vieron afectados negativamente. La humedad aumentó significativamente con la sustitución grasa.

Dos lecciones de diseño se derivan de ahí. La primera: el efecto de la sustitución no es lineal, sino que presenta un umbral a partir del cual la aceptabilidad cae. La segunda, más útil: ese umbral es específico de cada componente 50 % para la grasa, 25–30 % para el azúcar en esa matriz lo que obliga a determinarlo empíricamente en cada formulación.

En productos de pastelería laminada, la sustitución parcial de grasas hidrogenadas y mantequilla por aceites vegetales de semillas redujo dureza y masticabilidad, disminuyó la luminosidad del color y bajó el contenido total de grasa entre 7,34 y 17,19 % (Agriculture, 2025). En el plano sensorial, todas las muestras reformuladas fueron aceptadas, pero el control

con grasas hidrogenadas obtuvo las puntuaciones más altas en textura y sabor. Karatay et al. (2022) obtuvieron resultados en la misma dirección al emplear emulsiones de aquafaba de garbanzo como sustituto de aceite de palma en pound cake.

El patrón que emerge de este conjunto es consistente y vale la pena nombrarlo: la sustitución grasa casi siempre es aceptable, casi nunca es preferida. El control gana. Esa asimetría define el listón que una formulación reformulada debe superar, y es la razón por la cual, en el diseño de esta investigación, el control con mantequilla y sacarosa no es un trámite sino el competidor real.

Sobre el aceite de coco y el yogur griego específicamente los dos sustitutos empleados en la formulación de este trabajo la literatura indexada es más escasa de lo esperable. El aceite de coco aparece con frecuencia en formulaciones cetogénicas, pero rara vez como variable de estudio aislada; el yogur griego como sustituto graso en repostería está documentado sobre todo en literatura gris y trabajos de grado, no en revistas indexadas.

## **2.2.6 Agar-agar como agente de brillo**

Este apartado es breve por una razón que conviene declarar sin rodeos: no se localizó literatura indexada que evalúe el agar-agar como agente de brillo (nappage) en productos de repostería horneados.

En el área de los recubrimientos comestibles aplicados a frutas frescas y mínimamente procesadas, donde su papel se describe como barrera de la humedad y como potenciador del aspecto de la superficie y del brillo, el agar y, en general, los hidrocoloides sostienen una gran base global de investigación (Sustainable Food Technology, 2024). Esta evidencia es solo parcialmente extrapolable: el sustrato es diferente — fruta fresca frente a fruta horneada sobre una base de masa—, las condiciones de aplicación también son diferentes y el propósito igualmente es distinto. En fruta fresca, el objetivo es la vida útil; en pastelería, el objetivo

principal es cómo se ve y, en segundo lugar, prevenir la deshidratación de la pulpa de la superficie de la manzana.

En la práctica profesional, el nappage tradicional es una gelatina de albaricoque o un glaseado neutro comercial, ambos con alto contenido de azúcar. Sustituirlo por una gelificación de zumo de manzana con agar es una solución técnicamente razonable el agar gelifica en caliente, es de origen vegetal y no requiere azúcar para funcionar pero, hasta donde alcanza esta revisión, no validada experimentalmente en la literatura científica.

### **2.2.7 Aceptabilidad hedónica en repostería reducida en azúcar: convergencias y contradicciones**

Reunidos, los estudios de aceptación de productos de repostería reformulados dibujan un panorama menos alentador de lo que sugiere el discurso de la industria. Sahin et al. (2019) establecieron el marco general: las estrategias de reducción de azúcar en panificación funcionan por sustitución parcial y las reducciones superiores al 20 % siguen exigiendo sistemas combinados.

En productos concretos, los resultados oscilan según la matriz y el nivel. Un estudio comparativo de bizcochos con azúcar al 31 % (control), 25 % (reducido) y 18 % (sustituido) encontró diferencias significativas en apariencia, textura, dulzor y aceptabilidad global, con el control como muestra más preferida (35,2 %) y la mezcla de carbohidratos sustituta como la menos preferida (15,4 %) (Food Science and Nutrition Cases, 2025).

En productos sin gluten con perfil funcional, la evidencia es más severa. Un estudio de aceptación de un producto de panificación sin gluten a base de algarroba, con sustitución del 40 % de harina de arroz, reportó una apreciación solo moderada de la calidad global entre 4 y 5 puntos en escala de 9 y, más revelador aún, que la información sobre las propiedades saludables del producto y su bajo índice glucémico no mejoró la percepción del consumidor.

Ese hallazgo desmonta una premisa habitual en los trabajos de desarrollo de producto saludable: la idea de que informar al consumidor sobre el beneficio compensa la pérdida sensorial. La evidencia disponible sugiere que no lo hace, o al menos no de forma fiable. Y refuerza el planteamiento de esta investigación: si un producto reformulado ha de tener recorrido, debe ganar en la cata a ciegas, no en el argumento.

Caferoglu et al. (2022) ofrecen la demostración más clara de la disociación entre función y agrado. El pan de avena redujo la respuesta glucémica postprandial en 29,9 % frente al pan blanco beneficio inequívoco y resultó menos palatable que el pan de cebada, además de no modificar la sensación de apetito. El pan de cebada, en cambio, sí redujo el apetito. Función y experiencia se separaron.

## 2.2.8 Síntesis crítica y vacío de conocimiento

*Tabla 2: Síntesis comparativa de investigaciones previas sobre sustitución en productos horneados (2019–2026)*

| <b>Autores (año)</b>       | <b>Matriz</b>           | <b>Sustituto</b>             | <b>Hallazgo principal</b>                                                                                    | <b>Limitación</b>                                 |
|----------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Sahin et al. (2019)        | Panificación (revisión) | Múltiples                    | La sustitución simple no reproduce las funciones tecnológicas de la sacarosa; >20 % requiere sistemas mixtos | Revisión; sin datos primarios                     |
| Lee et al. (2020)          | Pound cake              | Alulosa (25–100 %)           | Pardeamiento creciente; humedad decreciente; palatabilidad sostenida en niveles moderados                    | Matriz de batido; no extrapolable a masa quebrada |
| Zurbau et al. (2021)       | Metaanálisis clínico    | $\beta$ -glucano de avena    | Atenuación de glucosa e insulina postprandiales, dependiente de dosis y peso molecular                       | No evalúa producto horneado ni aceptación         |
| Gillespie y Ahlborn (2021) | Pan cetogénico          | Almendra / salvado de avena  | La almendra ablanda con el tiempo; el salvado de avena endurece                                              | Producto fermentado; sin azúcar en el sistema     |
| Richardson et al. (2021)   | Bizcocho                | Judía manteca + inulina/RebA | Umbral distintos por componente: 50 % grasa y 25–30 % azúcar sin pérdida sensorial                           | Sustitutos distintos a los de este estudio        |
| Hopkin et al. (2022)       | Cupcake cetogénico      | Almendra + coco              | Las harinas alternativas funcionan como sistema optimizable                                                  | Sin control azucarado convencional                |
| Caferoglu et al. (2022)    | Pan                     | Avena / cebada integral      | –29,9 % en glucemia postprandial, pero menor palatabilidad                                                   | Ensayo nutricional; no desarrollo de producto     |
| Karatay et al. (2022)      | Pound cake              | Aquafaba de garbanzo         | Sustitución grasa viable con pérdida sensorial moderada                                                      | Sustituto no aplicable a masa quebrada            |

| <b>Autores (año)</b>    | <b>Matriz</b>              | <b>Sustituto</b>                        | <b>Hallazgo principal</b>                                                                    | <b>Limitación</b>                                      |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Zbikowska et al. (2022) | Shortbread (masa quebrada) | $\beta$ -glucano de avena y de levadura | Sustitución viable solo hasta $\approx 5\%$ de la manteca; más allá, deterioro de calidad    | Único estudio en la matriz; sustituye grasa, no azúcar |
| Xie et al. (2024)       | Bizcocho                   | Alulosa                                 | Perfil volátil distintivo (furanos y pirazinas); mayor pardeamiento y actividad antioxidante | Sin panel de consumidores extenso                      |

*Nota.* Elaboración propia (2026) a partir de las fuentes citadas.

Primero, el vacío de matriz. La abrumadora mayoría de la evidencia sobre alulosa y sobre harinas alternativas proviene de matrices de batido bizcocho, pound cake, cupcake, muffin, donde el comportamiento del sistema está dominado por la incorporación de aire y la gelatinización del almidón. La masa quebrada opera bajo principios opuestos: baja hidratación, alto contenido graso, inhibición deliberada del gluten. Solo un estudio localizado trabaja sobre esta matriz (Zbikowska et al., 2022), y aborda la sustitución de grasa, no la de azúcar. Los umbrales de sustitución reportados para bizcochos no pueden trasladarse sin verificación.

Segundo, el vacío de simultaneidad. Los estudios revisados sustituyen un componente por vez, o dos con la excepción notable de Richardson et al. (2021). Ninguno sustituye simultáneamente harina, azúcar y grasa en la misma formulación. Sin embargo, es exactamente eso lo que ocurre en la práctica cuando se reformula un producto de repostería para un mercado que demanda sin azúcar, sin gluten y bajo en grasa saturada. Las interacciones entre las tres sustituciones son, hasta donde alcanza esta revisión, desconocidas.

Tercero, el vacío del sistema edulcorante binario. La combinación alulosa–eritritol hoy estándar en el mercado de productos reformulados, precisamente porque compensa las debilidades recíprocas de ambos compuestos no ha sido evaluada como sistema en literatura indexada sobre repostería. Los estudios examinan alulosa sola o eritritol solo. La hipótesis de que su combinación produce un perfil superior a cualquiera de los dos por separado es plausible desde la teoría, pero no está verificada.

Cuarto, el vacío del acabado. Como se estableció en 2.2.6, el agar-agar como agente de brillo en repostería carece de validación experimental publicada.

Formulación del vacío. No se localizó ningún estudio que evalúe la aceptabilidad sensorial de una masa quebrada formulada con sustitución total de harina de trigo por una mezcla de harinas de avena y almendra, de sacarosa por un sistema binario alulosa–eritritol, y de mantequilla por aceite de coco y yogur griego, contrastada contra un control tradicional mediante prueba hedónica de nueve puntos y análisis de varianza. Esa combinación específica, aplicada a la tarta fina de manzana y evaluada en población consumidora ecuatoriana, constituye el aporte original de la presente investigación.

Vale la pena precisar qué tipo de aporte es. No se trata de descubrir un ingrediente nuevo: los cuatro sustitutos son conocidos y comercialmente disponibles. Se trata de determinar si su combinación en una matriz concreta supera el umbral de aceptación del consumidor, cuestión que la literatura ha demostrado repetidamente que no se resuelve por deducción a partir de estudios en otras matrices. La evidencia revisada muestra, en cambio, un patrón consistente de resultados dependientes del sistema.

## **2.3 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.3.1 Alimento funcional**

No existe una definición legal universal de alimento funcional. El término nació en Japón en la década de 1980 con el sistema FOSHU y se difundió después sin que la mayoría de jurisdicciones lo incorporara como categoría regulatoria. En la Unión Europea y en gran parte de América Latina, incluido Ecuador, lo que se regula no es el alimento sino la declaración de propiedades saludables que puede hacerse sobre él.

Operativamente, se entiende por alimento funcional aquel que, además de su valor nutricional básico, contiene componentes con efecto fisiológico documentado sobre una

función del organismo, en cantidades alcanzables mediante consumo habitual. Los tres términos de esa definición son restrictivos: debe haber efecto documentado, sobre una función identificada, en dosis realista.

Esa exigencia tiene consecuencias directas para este trabajo. La harina de avena aporta  $\beta$ -glucano, cuyo efecto sobre la glucemia postprandial está establecido mediante metaanálisis de ensayos controlados (Zurbau et al., 2021); es, por tanto, un ingrediente funcional en sentido estricto. La almendra aporta un perfil lipídico favorable y vitamina E, pero su papel principal en esta formulación es tecnológico. La manzana aporta polifenoles y pectina con evidencia respaldatoria. En consecuencia, el producto desarrollado se describe en este trabajo como elaborado con ingredientes funcionales, y no como alimento funcional, distinción que evita una declaración que la evidencia disponible no sostiene y que la normativa ecuatoriana no autorizaría sin estudio específico.

### **2.3.2 *Malus domestica* Borkh.**

Clasificación taxonómica. Reino Plantae; división Magnoliophyta; clase Magnoliopsida; orden Rosales; familia Rosaceae; género *Malus*; especie *Malus domestica* Borkh. También se la consigna como *Malus* × *domestica* Borkh., notación que refleja su origen híbrido (Brite, 2021).

Descripción botánica. Árbol caducifolio de porte medio, entre 3 y 12 m según patrón e injerto, de hoja simple, alterna y ovada, flores hermafroditas pentámeras de color blanco a rosado, y fruto en pomo. El pomo es un fruto accesorio: la parte comestible deriva del receptáculo floral, no del ovario. Requiere horas frío para la ruptura de la latencia y es mayoritariamente autoincompatible, por lo que necesita polinización cruzada. Se propaga por injerto, dado que la reproducción por semilla no conserva las características varietales (Mudge et al., 2009).

Las principales clases estructurales de constituyentes de la manzana son los polifenoles, los polisacáridos principalmente pectina, los fitosteroles y los triterpenos pentacíclicos, complementados por vitaminas y elementos traza (Plants, 2020). Entre los compuestos antioxidantes identificados figuran catequina, ácido clorogénico, epicatequina, cianidina-3-galactósido, procianidinas, ácido cumárico, ácido gálico, floridzina, quercetina-3-galactósido y quercetina-3-ramnósido. Su distribución no es homogénea: la piel concentra proporciones marcadamente superiores a las de la pulpa. Este dato tiene una implicación práctica en la formulación de este trabajo, donde la manzana se lamina sin pelar, decisión que preserva la fracción polifenólica y aporta además contraste visual.

La pectina merece mención aparte por su función tecnológica. Es un polisacárido estructural de la pared celular que, durante el horneado, gelifica parcialmente y contribuye a que las láminas de manzana conserven forma en lugar de deshacerse. Es también la razón por la cual la elección varietal importa: las variedades de mayor acidez y firmeza retienen mejor la estructura en cocción.

### **2.3.3 Avena sativa L. y el $\beta$ -glucano**

Clasificación. Familia Poaceae; género *Avena*; especie *Avena sativa* L.

El  $\beta$ -glucano de avena es un polisacárido lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3) y  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4). Esa alternancia de enlaces es la que determina su comportamiento: le impide cristalizar como la celulosa y le confiere solubilidad y, sobre todo, capacidad de formar soluciones de alta viscosidad.

El mecanismo de acción tiene el efecto fisiológico del  $\beta$ -glucano no es metabólico sino físico. Al disolverse en el contenido intestinal aumenta la viscosidad del quimo, lo que retarda el vaciamiento gástrico y ralentiza la difusión de la glucosa hacia el epitelio absortivo. El resultado es una curva glucémica postprandial más aplanada, no una menor absorción total.

Zurbau et al. (2021) confirmaron este efecto sobre 103 comparaciones y establecieron que su magnitud depende de la dosis y del peso molecular del polisacárido.

Este último punto es crítico y suele pasarse por alto en trabajos de desarrollo de producto. El procesamiento puede despolimerizar el  $\beta$ -glucano y anular su efecto. El calentamiento prolongado, el cizallamiento intenso y la actividad de  $\beta$ -glucanasas endógenas reducen el peso molecular. Un producto horneado con harina de avena declara fibra, pero no garantiza funcionalidad.

#### **2.3.4 *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb**

Clasificación. Familia Rosaceae la misma que la manzana; género *Prunus*; especie *Prunus dulcis*.

La almendra es una semilla oleaginosa con contenido lipídico elevado, dominado por ácido oleico monoinsaturado, con proporciones menores de linoleico. Aporta proteína, fibra y una concentración notable de  $\alpha$ -tocoferol (vitamina E), además de magnesio. Prácticamente no contiene almidón, lo que define su comportamiento en masas: no aporta estructura, aporta grasa y partícula.

En productos horneados sin gluten, una proporción alta de harina de almendra produce migas más abiertas, menor firmeza y menor masticabilidad, y los productos tienden a ablandarse con el tiempo en lugar de endurecerse (Gillespie y Ahlborn, 2021).

La almendra es un fruto de cáscara y constituye alérgeno de declaración obligatoria. Cualquier producto que la contenga exige mención explícita en el etiquetado, y todo protocolo de evaluación sensorial que la incluya debe contemplar la alergia a frutos secos como criterio de exclusión de jueces (véase 3.7.7).

#### **2.3.5 D-alulosa**

**Definición.** La D-alulosa, también denominada D-psicosa, es un monosacárido de seis carbonos, epímero en C-3 de la D-fructosa. Se clasifica como azúcar raro: existe en la naturaleza en cantidades mínimas higo, pasa, jarabe de arce y se produce industrialmente por conversión enzimática de la D-fructosa mediante epimerasas.

**Propiedades.** Presenta aproximadamente el 70 % del poder edulcorante de la sacarosa y un aporte energético en torno a 0,4 kcal/g, es decir, cerca de una reducción del 90 % respecto de la sacarosa (Xie et al., 2024). Se absorbe en el intestino delgado y se excreta mayoritariamente sin metabolizar, lo que explica su bajo aporte calórico y su escaso impacto glucémico.

La alulosa es un azúcar reductor. Participa plenamente en la reacción de Maillard y en la caramelización, con una reactividad superior a la de la glucosa y la fructosa. Xie et al. (2024) documentaron que su uso en bizcocho genera mayor pardeamiento, mayor actividad antioxidante y un perfil de volátiles distintivo. Lee et al. (2020) confirmaron el aumento proporcional del índice de pardeamiento de la corteza y, simultáneamente, una menor retención de agua conforme aumenta el nivel de sustitución.

De ahí se derivan dos advertencias de proceso: la alulosa exige vigilar estrechamente el binomio tiempo-temperatura de horneado, so pena de sobrepardeamiento, y compensar la menor retención de agua mediante otro componente higroscópico en esta formulación, el yogur griego.

### **2.3.6 Eritritol**

**Definición.** Polioli o alcohol de azúcar de cuatro carbonos, obtenido industrialmente por fermentación de glucosa mediante levaduras osmófilas. Está presente de forma natural en algunas frutas y alimentos fermentados.

**Metabolismo y tolerancia.** El eritritol ocupa una posición singular dentro de la familia de los polioles: se absorbe principalmente en el intestino delgado y se excreta por vía urinaria

prácticamente sin metabolizar, de modo que una fracción muy pequeña alcanza el colon. Puesto que el efecto laxante y la producción de gas de los polioles derivan de su fermentación colónica, el eritritol presenta una tolerancia digestiva notablemente superior a la de sorbitol, maltitol o xilitol (Rice et al., 2020).

**Propiedad sensorial limitante.** Su disolución es fuertemente endotérmica: al disolverse absorbe calor del medio y produce una sensación de frescor comparable a la de la menta. El fenómeno es físico, proporcional al tamaño de partícula y a la cantidad de cristal libre, y se atenúa cuando el poliol está disuelto en una matriz o combinado con grasa. De ahí las tres decisiones de formulación adoptadas: eritritol pulverizado, en proporción minoritaria dentro del sistema edulcorante, y en una matriz con contenido graso suficiente.

**Sinergia con la alulosa.** La combinación responde a una complementariedad precisa. La alulosa aporta color, aroma de horneado y la mayor parte del dulzor, pero su costo es elevado. El eritritol aporta volumen a menor costo, pero no participa en el pardeamiento y arrastra el efecto refrescante. En proporción adecuada, cada uno compensa la debilidad del otro.

### 2.3.7 Comparación de endulzantes

*Tabla 3: Propiedades comparadas de los endulzantes considerados*

| Endulzante   | Dulzor relativo | Aporte energético | Impacto glucémico | ¿Azúcar reductor?   | Tolerancia digestiva      | Nota sensorial         |
|--------------|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|
| Sacarosa     | 1,00            | 4 kcal/g          | Alto              | Sí (tras inversión) | Sin límite práctico       | Referencia             |
| D-alulosa    | ≈ 0,70          | ≈ 0,4 kcal/g      | Muy bajo          | Sí                  | Buena en dosis moderadas  | Limpia; sin regusto    |
| Eritritol    | ≈ 0,70          | ≈ 0 kcal/g        | Nulo              | No                  | Superior a otros polioles | Efecto refrescante     |
| Xilitol      | ≈ 1,00          | ≈ 2,4 kcal/g      | Bajo              | No                  | Limitada                  | Refrescante marcado    |
| Maltitol     | ≈ 0,90          | ≈ 2,1 kcal/g      | Moderado          | No                  | Limitada                  | Próxima a la sacarosa  |
| Esteviósidós | 200–400         | ≈ 0 kcal/g        | Nulo              | No                  | Alta                      | Regusto amargo/regaliz |

*Nota.* Elaboración propia (2026) a partir de Rice et al. (2020), Arshad et al. (2022), Lee et al. (2020) y Xie et al. (2024). Los valores de dulzor relativo son aproximados y dependen de la matriz, la temperatura y la concentración.

### **2.3.8 Fundamentos fisicoquímicos de la masa quebrada**

La masa quebrada se define por lo que impide, no por lo que forma.

Red de gluten. Al hidratarse, la gliadina y la glutenina de la harina de trigo se asocian formando una red viscoelástica que retiene gas y confiere extensibilidad. En una masa quebrada esa red es indeseable: produciría un producto correoso en lugar de friable.

Efecto shortening. La grasa recubre las partículas de harina e impide el contacto entre proteína y agua. Cuanto más eficaz sea ese recubrimiento, menor será el desarrollo de gluten y mayor la friabilidad.

Competencia por el agua. El azúcar disuelto compite con las proteínas por el agua disponible, reforzando la inhibición. Además eleva la temperatura de gelatinización del almidón, retrasando el fraguado de la estructura durante el horneado y permitiendo que la masa se expanda y se asiente antes de fijarse.

El punto que interesa retener es este: en una masa quebrada, azúcar y grasa son estructurales por omisión. Su función principal no es aportar sino impedir. Ninguna de las dos puede retirarse sin que algo ocupe el lugar de esa inhibición.

### **2.3.9 Qué reemplaza la estructura cuando no hay gluten ni sacarosa**

Al eliminar la harina de trigo desaparece el problema del gluten ya no hay red que inhibir pero aparece uno nuevo: no hay cohesión. Una masa de harina de avena y almendra no se sostiene por proteína elástica. Se sostiene por otros tres mecanismos: la gelatinización y retrogradación del almidón de avena, que genera una red que confiere firmeza al enfriar; el ligante hidrocoloidal exógeno, en este caso la fécula de maíz, que aporta almidón de rápida gelatinización; y la adhesión por proteína coagulada y grasa solidificada, donde el huevo actúa como cemento y la grasa aporta firmeza a temperatura ambiente.

Al eliminar la sacarosa se pierde la competencia por el agua y la elevación de la temperatura de gelatinización. El sistema alulosa–eritritol reproduce parcialmente el primer efecto, dado que ambos son solutos, pero no de forma idéntica: la alulosa retiene menos agua que la sacarosa (Lee et al., 2020). De ahí la incorporación de yogur griego como componente higroscópico compensatorio.

### **2.3.10 Reacciones de pardeamiento**

La reacción de pardeamiento se basa en una condensación no enzimática entre el grupo carbonilo de un azúcar reductor y el grupo amino libre de un aminoácido o proteína. Progresan a través de la formación del compuesto de Amadori, fragmentaciones y ciclaciones, hasta generar melanoidinas responsables del color y una amplia gama de volátiles: furanos, pirazinas, aldehídos de Strecker. Es la reacción que produce el aroma característico del horneado.

La caramelización es una degradación térmica de azúcares en ausencia de compuestos aminados, a temperaturas superiores. Genera también color y volátiles, con perfil distinto.

El problema de la reformulación. La sacarosa no es un azúcar reductor: solo participa en Maillard tras hidrolizarse en glucosa y fructosa, lo que ocurre parcialmente durante el horneado. Los polioles, en cambio, no participan en absoluto: carecen de grupo carbonilo libre. Zbikowska et al. (2022) documentaron ese fenómeno al observar que las galletas con mayor proporción de  $\beta$ -glucano no hidrolizado presentaron mayor luminosidad, precisamente porque el polisacárido de cadena larga no interviene en la reacción. Una masa formulada exclusivamente con eritritol resulta pálida y aromáticamente pobre, defecto reconocible en muchos productos comerciales sin azúcar.

La alulosa resuelve ese problema. Al ser un azúcar reductor y, además, más reactivo que la glucosa y la fructosa, genera pardeamiento y volátiles con mayor eficiencia que la propia

sacarosa (Xie et al., 2024). El riesgo se invierte: el problema deja de ser la palidez y pasa a ser el sobrepardeamiento. Por ello el color se incorpora como atributo evaluado en el panel.

### **2.3.11 Evaluación sensorial**

La evaluación sensorial se organiza en tres familias, y elegir mal entre ellas invalida el estudio.

Pruebas discriminativas. Responden a la pregunta ¿son diferentes? Ejemplos: triangular, dúo-trío, comparación pareada. Requieren jueces con sensibilidad demostrada. No informan sobre agrado.

Pruebas descriptivas. Responden a ¿en qué se diferencian y en qué magnitud? Ejemplos: análisis descriptivo cuantitativo, perfil de sabor. Exigen paneles entrenados durante semanas, con vocabulario consensuado y referencias calibradas. No informan sobre agrado.

Pruebas afectivas o hedónicas. Responden a ¿gusta? y ¿cuál se prefiere? Requieren jueces consumidores, no entrenados, representativos del público objetivo. Entrenar a un juez lo inhabilita para esta prueba, porque el entrenamiento reorienta su atención hacia el análisis y lo aleja de la respuesta espontánea.

Justificación de la elección. Este trabajo emplea prueba afectiva porque el objetivo declarado es determinar si el producto resulta aceptable para consumidores reales, no caracterizar analíticamente sus diferencias. Una prueba descriptiva respondería a otra pregunta igualmente legítima, pero distinta y se propone en el apartado 5.5.1 como línea complementaria.

### **2.3.12 La escala hedónica de nueve puntos**

Esta escala se desarrolló a principios de la década de 1950 en el Instituto de Alimentos y Contenedores del Cuartel General del Ejército de EE. UU. como parte de un estudio de las preferencias y aversiones alimentarias de los soldados (Lim, 2011). Está compuesta por nueve

categorías verbales con distancias iguales entre sí (de “no me gusta mucho” a “me gusta mucho”), además de un punto medio neutro. La naturaleza duradera de su uso—más de 60 años de utilización continuada—hace que sea el estándar de oro para la evaluación afectiva.

Es intuitiva, requiere poca instrucción, genera datos numéricos y permite comparaciones entre estudios.

Este trabajo asume explícitamente sus limitaciones. Los tres problemas subyacentes fueron documentados por Lim (2011). Primero, las propiedades ordinales de los datos: las etiquetas verbales se asignan a las categorías y no hay razón para suponer que la distancia psicológica entre “me gusta mucho” y “me gusta moderadamente” sería idéntica a la que existe entre “no me disgusta poco” y “ni me gusta ni me disgusta”. Fingir que los datos son de intervalo—lo que ya hace todo ANOVA aplicado a escalas hedónicas—es una convención; no una característica validada del instrumento. La segunda limitación es el efecto techo: las respuestas se concentran en los extremos de la escala y no logra discriminar. La tercera es que los datos hedónicos violan muchas de las suposiciones estadísticas del análisis de varianza: para estímulos muy agradables o muy desagradables, están lejos de las condiciones en las que se puede presumir que las distribuciones son normales; Lim (2011) informa que se requieren más de 75 respuestas por estímulo para lograr una aproximación razonable a la normalidad.

Este último número tiene una implicación inmediata para el diseño de esta investigación, de modo que se enuncia aquí a la vista y no se deja sin comentar: Lim abogaría por un tamaño de panel mayor que el umbral propuesto  $N = 60$  (pero dentro del rango definido por la norma ISO 11136:2014 y la práctica actual de la tesis).

### **2.3.13 Hábitos alimentarios**

Conjunto de conductas de selección, preparación y consumo de alimentos que un individuo o grupo repite de forma estable en el tiempo. Se distinguen de las decisiones alimentarias puntuales por su carácter recurrente y por su relativa resistencia al cambio.

Los hábitos alimentarios responden a factores de al menos cuatro órdenes: fisiológicos (preferencias innatas por lo dulce, saciedad), psicológicos (aprendizaje asociativo, familiaridad, estado emocional), socioculturales (tradición, entorno familiar, normas de grupo) y económico-estructurales (precio, disponibilidad, tiempo).

El punto pertinente para esta investigación. La reformulación de productos actúa sobre el último de esos órdenes: modifica la oferta disponible sin exigir del consumidor un cambio de conducta. Es una estrategia de menor demanda cognitiva que la educación nutricional, y por eso mismo de mayor alcance potencial.

Los estudios que informaron a los consumidores sobre las propiedades saludables y el bajo índice glucémico de un producto reformulado no observaron mejora en la percepción; pesaron más el conocimiento previo y la familiaridad con el producto. Bobbio Gonzáles et al. (2023) llegaron a una conclusión análoga desde la política pública ecuatoriana: la influencia del semáforo nutricional sobre la decisión de compra está condicionada por factores socioeconómicos y demográficos, y no opera de forma uniforme.

De ambas líneas de evidencia se deriva el supuesto que sostiene este trabajo: un producto reformulado promueve hábitos alimentarios saludables únicamente si gana en la cata a ciegas. El argumento nutricional puede acompañar, pero no compensa. Esa es la razón por la cual la variable dependiente de esta investigación es la aceptabilidad sensorial y no la intención declarada de compra.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1 Enfoque

La investigación adopta un enfoque cuantitativo. Las variables se operacionalizan en indicadores numéricos puntuaciones hedónicas en escala de nueve puntos y las conclusiones se derivan del contraste estadístico de hipótesis previamente formuladas, no de la interpretación de datos textuales.

##### 3.1.2 Tipo de investigación

*Tabla 4: Tipología de la investigación y justificación*

| Tipo          | Justificación                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aplicada      | Persigue resolver un problema concreto la ausencia de alternativas de repostería sin sacarosa ni harina de trigo con aceptación competitiva mediante el desarrollo de un producto, no la generación de conocimiento teórico general. |
| Experimental  | Se manipula deliberadamente la variable independiente (nivel de sustitución), se asignan tratamientos de forma controlada y se mide el efecto sobre la variable dependiente, con un tratamiento control de referencia.               |
| Transversal   | La medición de la variable dependiente se realiza en un único momento por juez, sin seguimiento longitudinal.                                                                                                                        |
| Bibliográfica | El marco teórico se construye sobre revisión sistematizada de literatura indexada, cuyas conclusiones fundamentan las decisiones de formulación.                                                                                     |

*Nota.* Elaboración propia (2026).

##### 3.1.3 Diseño experimental

Se emplea un diseño experimental con un factor a cuatro niveles y tres repeticiones por nivel para la fase de elaboración.

Factor: nivel de sustitución de ingredientes tradicionales (harina de trigo, sacarosa y mantequilla) por ingredientes funcionales y endulzantes naturales. Niveles: 0 % (Tc, control),

50 % (T1), 75 % (T2), 100 % (T3). Repeticiones: tres lotes independientes por tratamiento, elaborados en días distintos. Unidades experimentales totales: 12 lotes.

En la fase de evaluación sensorial, cada juez evalúa las cuatro muestras. Ello significa que las observaciones no son independientes entre tratamientos: un juez sistemáticamente generoso puntúa alto en las cuatro, y un juez severo puntúa bajo en las cuatro. Estadísticamente, el diseño de la evaluación sensorial corresponde a un bloque completo al azar con jueces como bloques.

La consecuencia es concreta, un análisis de varianza que ignore el bloque incorpora la variabilidad entre jueces al término de error, lo que infla el cuadrado medio del error y reduce la potencia de la prueba: aumenta la probabilidad de no detectar diferencias que sí existen. Por esa razón se adopta el modelo con bloques, que sigue siendo un análisis de varianza de un factor hay un único factor de tratamiento, pero reconoce la estructura real de los datos.

### **3.1.4 Unidad experimental y unidad de observación**

Unidad experimental: el lote de masa correspondiente a un tratamiento y una repetición, del que se obtienen 12 tartalelas de 8 cm. Unidad de observación: la porción individual servida a un juez, obtenida por corte de una tartalela en dos porciones equivalentes. Variable de respuesta: puntuación hedónica de 1 a 9 por atributo.

## **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1 Población de referencia**

Consumidores adultos de productos de repostería residentes en el Distrito Metropolitano de Quito, con consumo declarado de al menos un producto de pastelería por semana.

### **3.2.2 Tipo de muestreo**

Se aplica muestreo no probabilístico por conveniencia, con reclutamiento entre estudiantes, docentes y personal administrativo del ITSEP, así como visitantes de la institución durante el período de ejecución. Corresponde declarar la limitación que esto impone: una muestra por conveniencia no permite inferencia estadística hacia la población de Quito. Los resultados son válidos para el conjunto de jueces evaluado y orientativos no concluyentes respecto de la población general.

### **3.2.3 Tamaño del panel**

Se establece un panel de 60 jueces consumidores no entrenados. La cifra satisface el mínimo que la norma ISO 11136:2014 recomienda para pruebas hedónicas en área controlada. Como se advirtió en el apartado 2.3.12, esta cifra es inferior al umbral de aproximadamente 75 respuestas por estímulo que Lim (2011) señala como necesario para aproximar la normalidad en datos hedónicos. La decisión de mantener 60 responde a restricciones de viabilidad institucional y se compensa metodológicamente con la verificación explícita de supuestos y la ruta no paramétrica previstas en el apartado 3.8.

### **3.2.4 Criterios de inclusión y exclusión**

Inclusión: edad igual o superior a 18 años; consumo de repostería al menos una vez por semana; disponibilidad para la sesión completa; firma de consentimiento informado.

Exclusión: alergia o intolerancia declarada a frutos secos, huevo, lácteos, gluten o avena; diagnóstico de diabetes o enfermedad metabólica en tratamiento dietético; alteración transitoria del olfato o el gusto; tabaquismo o ingesta de alimentos en la hora previa; formación previa en análisis sensorial descriptivo, dado que el entrenamiento reorienta la respuesta hedónica hacia el análisis.

### 3.3 MATERIAS PRIMAS E INGREDIENTES

*Tabla 5: Materias primas, origen y especificaciones de calidad*

| Ingrediente                      | Nombre científico               | Origen / proveedor       | Especificación de calidad                                           |
|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Harina de avena fina             | Avena sativa L.                 | Comercial, Quito         | Grado alimentario; molienda fina; sin aditivos; humedad $\leq 12$ % |
| Harina de almendra               | Prunus dulcis (Mill.) D.A. Webb | Comercial, importada     | Blanqueada; granulometría fina; sin rancidez perceptible            |
| Fécula de maíz                   | Zea mays L.                     | Comercial, nacional      | Grado alimentario; blanca; libre de grumos                          |
| Harina de trigo (Tc, T1, T2)     | Triticum aestivum L.            | Comercial, nacional      | Harina de repostería; proteína 8–9 %                                |
| D-alulosa                        |                                 | Comercial, importada     | Grado alimentario; pureza $\geq 95$ %; cristalina                   |
| Eritritol                        |                                 | Comercial, importada     | Grado alimentario; pulverizable; pureza $\geq 99$ %                 |
| Azúcar blanca (Tc, T1, T2)       |                                 | Comercial, nacional      | Sacarosa refinada; granulometría fina                               |
| Aceite de coco                   | Cocos nucifera L.               | Comercial                | Sin hidrogenar; punto de fusión $\approx 24$ °C                     |
| Mantequilla sin sal (Tc, T1, T2) |                                 | Comercial, nacional      | Materia grasa $\geq 80$ %; refrigerada                              |
| Yogur griego natural             |                                 | Comercial, nacional      | Sin azúcar añadida; cadena de frío verificada                       |
| Huevo                            | Gallus gallus domesticus        | Comercial, nacional      | Categoría A; cáscara íntegra; $\leq 7$ días desde postura           |
| Manzana roja                     | Malus domestica Borkh.          | Mercado mayorista, Quito | Firme; sin daño mecánico; calibre uniforme                          |
| Manzana verde                    | Malus domestica Borkh.          | Mercado mayorista, Quito | Variedad ácida tipo Granny Smith; firme                             |
| Agar-agar                        | Gelidium / Gracilaria spp.      | Comercial                | Grado alimentario; en polvo; fuerza de gel declarada                |
| Polvo de hornear                 |                                 | Comercial                | Doble acción; fecha vigente                                         |
| Sal                              |                                 | Comercial, nacional      | Yodada, fina                                                        |
| Esencia de vainilla              | Vanilla planifolia Andrews      | Comercial                | Grado alimentario                                                   |
| Jugo de limón                    | Citrus limon (L.) Osbeck        | Mercado, Quito           | Recién exprimido y filtrado                                         |
| Canela en polvo                  | Cinnamomum verum J. Presl       | Comercial                | Molienda fina; sin apelmazamiento                                   |

*Nota.* Elaboración propia (2026). Todos los insumos se adquieren en un único lote por marca para eliminar la variabilidad entre proveedores como fuente de error.

### 3.4 EQUIPOS E INSTRUMENTOS

*Tabla 6: Equipos, instrumentos y utensilios*

| Categoría    | Equipo / instrumento             | Marca / modelo    | Función y especificación                                      |
|--------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------|
| Medición     | Balanza analítica                | OHAUS PA214       | Pesaje de microingredientes ( $\pm 0,0001$ g)                 |
| Medición     | Balanza granataria digital       | OHAUS Scout       | Pesaje de ingredientes mayores ( $\pm 0,01$ g)                |
| Medición     | Termómetro digital de sonda      | Testo 104         | Control de temperatura de proceso y horneado                  |
| Medición     | Termohigrómetro                  |                   | Registro de condiciones de la sala de cata                    |
| Medición     | Calibrador metálico              |                   | Verificación del espesor de laminado (4 mm)                   |
| Medición     | Cronómetro digital               |                   | Control de tiempos de reposo, horneado y servicio             |
| Producción   | Horno de convección              |                   | Horneado a 175 °C; verificación previa de uniformidad térmica |
| Producción   | Refrigerador                     |                   | Reposo de masa a 4 °C                                         |
| Producción   | Batidora planetaria              |                   | Mezclado estandarizado de masa y crema                        |
| Producción   | Mandolina                        |                   | Laminado de manzana a espesor constante                       |
| Producción   | Cocina de inducción              |                   | Preparación del brillo de agar                                |
| Utensilios   | Moldes de tartaleta 8 cm         |                   | Moldeado uniforme; 12 unidades por lote                       |
| Sala de cata | Cabinas individuales, luz blanca | Conforme ISO 8589 | Aislamiento visual y olfativo                                 |
| Software     | IBM SPSS / R (paquete agricolae) |                   | ANOVA, Tukey HSD, pruebas de supuestos                        |

*Nota.* Elaboración propia (2026). Todos los equipos de medición se verifican o calibran antes del inicio de los ensayos.

### 3.5 PROCESO DE ELABORACIÓN

#### 3.5.1 Formulación de los tratamientos

La sustitución se aplica a los dos componentes que constituyen la base del producto la masa y la crema de almendras y afecta a tres ingredientes: harina de trigo, sacarosa y mantequilla. La cobertura de manzana y el brillo de agar se mantienen idénticos en los cuatro

tratamientos, incluido el control. Esta decisión aísla el factor: cualquier diferencia observada será atribuible al sistema harina, edulcorante, grasa, y no al acabado.

*Tabla 7: Formulación de la masa por tratamiento (base 424 g, rendimiento 12 tartaletas)*

| <b>Ingrediente</b>    | <b>Tc Control (g / %)</b> | <b>T1 50 % (g / %)</b> | <b>T2 75 % (g / %)</b> | <b>T3 100 % (g / %)</b> |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Harina de trigo       | 230,0 / 54,25             | 115,0 / 27,12          | 57,5 / 13,56           |                         |
| Harina de avena fina  |                           | 60,0 / 14,15           | 90,0 / 21,23           | 120,0 / 28,30           |
| Harina de almendra    |                           | 40,0 / 9,43            | 60,0 / 14,15           | 80,0 / 18,87            |
| Fécula de maíz        |                           | 15,0 / 3,54            | 22,5 / 5,31            | 30,0 / 7,08             |
| Azúcar blanca         | 50,0 / 11,79              | 25,0 / 5,90            | 12,5 / 2,95            |                         |
| D-alulosa             |                           | 17,5 / 4,13            | 26,25 / 6,19           | 35,0 / 8,25             |
| Eritritol pulverizado |                           | 7,5 / 1,77             | 11,25 / 2,65           | 15,0 / 3,54             |
| Mantequilla sin sal   | 80,0 / 18,87              | 40,0 / 9,43            | 20,0 / 4,72            |                         |
| Aceite de coco        |                           | 20,0 / 4,72            | 30,0 / 7,08            | 40,0 / 9,43             |
| Yogur griego natural  |                           | 20,0 / 4,72            | 30,0 / 7,08            | 40,0 / 9,43             |
| Huevo entero          | 55,0 / 12,97              | 55,0 / 12,97           | 55,0 / 12,97           | 55,0 / 12,97            |
| Polvo de hornear      | 3,0 / 0,71                | 3,0 / 0,71             | 3,0 / 0,71             | 3,0 / 0,71              |
| Sal                   | 1,0 / 0,24                | 1,0 / 0,24             | 1,0 / 0,24             | 1,0 / 0,24              |
| Esencia de vainilla   | 5,0 / 1,18                | 5,0 / 1,18             | 5,0 / 1,18             | 5,0 / 1,18              |
| TOTAL                 | 424,0 / 100               | 424,0 / 100            | 424,0 / 100            | 424,0 / 100             |

*Nota.* Elaboración propia (2026). Los porcentajes pueden no sumar exactamente 100 por redondeo. La proporción interna de la mezcla de harinas alternativas (avena 52 %, almendra 35 %, fécula 13 %) y del sistema edulcorante (alulosa 70 %, eritritol 30 %) se mantiene constante en todos los niveles.

*Tabla 8: Formulación de la crema de almendras por tratamiento (base 234 g)*

| <b>Ingrediente</b>   | <b>Tc (g)</b> | <b>T1 (g)</b> | <b>T2 (g)</b> | <b>T3 (g)</b> |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Harina de almendra   | 100,0         | 100,0         | 100,0         | 100,0         |
| Huevo entero         | 55,0          | 55,0          | 55,0          | 55,0          |
| Mantequilla sin sal  | 50,0          | 25,0          | 12,5          |               |
| Yogur griego natural |               | 25,0          | 37,5          | 50,0          |
| Azúcar blanca        | 25,0          | 12,5          | 6,25          |               |

| <b>Ingrediente</b>  | <b>Tc (g)</b> | <b>T1 (g)</b> | <b>T2 (g)</b> | <b>T3 (g)</b> |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| D-alulosa           |               | 12,5          | 18,75         | 25,0          |
| Esencia de vainilla | 3,0           | 3,0           | 3,0           | 3,0           |
| Canela en polvo     | 1,0           | 1,0           | 1,0           | 1,0           |
| <b>TOTAL</b>        | <b>234,0</b>  | <b>234,0</b>  | <b>234,0</b>  | <b>234,0</b>  |

*Nota.* Elaboración propia (2026). La harina de almendra se mantiene constante por ser el ingrediente definitorio de la preparación clásica, no un sustituto.

*Tabla 9: Componentes constantes en los cuatro tratamientos*

| <b>Componente</b>    | <b>Ingredientes</b>                                   | <b>Cantidad</b>         |
|----------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|
| Cobertura de manzana | Manzana roja / manzana verde / jugo de limón / canela | 2 u / 1 u / 10 ml / 1 g |
| Brillo natural       | Jugo natural de manzana / agar-agar                   | 100 ml / 1 g            |

*Nota.* Elaboración propia (2026).

Los niveles se fijaron en 0, 50, 75 y 100 % con dos criterios. El primero: T3 debe corresponder a la formulación íntegramente sustituida, que es el producto cuya viabilidad se quiere establecer. El segundo: la literatura sitúa el punto de quiebre sensorial en rangos intermedios Richardson et al. (2021) reportaron ausencia de diferencias significativas hasta 50 % de sustitución grasa y hasta 25–30 % de reducción de sacarosa, de modo que concentrar los niveles intermedios en 50 y 75 % permite localizar dicho punto si existe.

### 3.5.2 Descripción del proceso

El procedimiento es idéntico para los cuatro tratamientos. Los parámetros se fijan con precisión suficiente para que otro investigador pueda reproducirlo.

Etapas 1 Mise en place. Lavado y desinfección de superficies, utensilios y manos. Desinfección de manzanas por inmersión en solución clorada (100 ppm, 5 min) y enjuague. Pesaje individual de cada ingrediente en balanza calibrada, registrando el valor real obtenido. Los ingredientes refrigerados se retiran del refrigerador 10 minutos antes de su uso; el aceite de coco se funde a temperatura no superior a 35 °C.

Etapa 2 Elaboración de la masa. Tamizado y mezcla en seco de harinas, fécula, edulcorantes, polvo de hornear y sal durante 60 s. En recipiente aparte, homogeneización de huevo, materia grasa, yogur según tratamiento y vainilla durante 45 s. Incorporación de la fase líquida sobre la seca y mezclado a velocidad baja durante 90 s, hasta masa homogénea sin sobretrabajo. El sobremezclado en los tratamientos con harina de trigo desarrolla gluten y compromete la friabilidad; el tiempo debe respetarse estrictamente y ser idéntico en los cuatro tratamientos.

Etapa 3 Reposo. Refrigeración de la masa a  $4 \pm 1$  °C durante 20 min, en envoltura plástica para evitar deshidratación superficial.

Etapa 4 Laminado y moldeado. Extendido entre dos hojas de papel de horno hasta  $4,0 \pm 0,5$  mm, verificado con calibrador. Forrado de moldes individuales de 8 cm y picado de la base. Segundo reposo en refrigeración: 10 min.

Etapa 5 Crema de almendras. Mezclado de todos los ingredientes hasta integración completa (60 s). Reserva en refrigeración hasta el armado.

Etapa 6 Preparación de la manzana. Laminado en mandolina a  $2,0 \pm 0,5$  mm, sin pelar, para preservar la fracción polifenólica concentrada en la piel (véase 2.3.2). Rociado inmediato con jugo de limón para inhibir el pardeamiento enzimático.

Etapa 7 Armado. Depósito de  $20 \pm 1$  g de crema por tartaleta, nivelado. Disposición de las láminas de manzana en abanico, alternando roja y verde en secuencia fija para garantizar uniformidad visual entre unidades. Espolvoreado de canela: 0,08 g por unidad.

Etapa 8 Horneado. Horno de convección precalentado. Parámetros idénticos para los cuatro tratamientos: 175 °C durante 28 minutos. El criterio de finalización es por tiempo fijo, no por inspección visual, para eliminar el juicio del operador como fuente de variación. Se registra la temperatura del centro de una unidad testigo por lote.

Se optó por igualar los parámetros nominales de horneado en los cuatro tratamientos, de modo que el proceso quede constante y toda diferencia observada sea atribuible exclusivamente al factor en estudio. Esta decisión implica asumir un riesgo conocido: dado que la alulosa presenta una reactividad en pardeamiento superior a la de la sacarosa (Xie et al., 2024; Lee et al., 2020), es previsible que los tratamientos con mayor proporción de alulosa desarrollen una coloración más intensa bajo el mismo binomio tiempo-temperatura. Se acepta ese riesgo por rigor experimental: si el efecto se manifiesta, constituye un hallazgo del estudio y no un artefacto, y orienta directamente la optimización del proceso en la fase de escalado.

Etapas 9 Brillo natural. Dispersión del agar-agar en el jugo de manzana en frío, calentamiento hasta ebullición y mantenimiento durante 60 s con agitación. Enfriamiento hasta 60–65 °C antes de la aplicación.

Etapas 10 Acabado. Pincelado uniforme del brillo sobre la superficie de la manzana inmediatamente al salir del horno.

Etapas 11 Enfriamiento y desmoldado. Reposo en molde durante 20 min, desmoldado y enfriamiento hasta temperatura ambiente sobre rejilla, para evitar condensación en la base.

Etapas 12 Conservación hasta la cata. Almacenamiento en recipiente hermético a temperatura ambiente por un máximo de 4 h antes de la evaluación sensorial. Todos los tratamientos se elaboran el mismo día y con el mismo tiempo de espera hasta el servicio.

### **3.5.3 Puntos críticos de control e higiene**

Un punto crítico de control (PCC) es la etapa del proceso en la que puede aplicarse un control esencial para prevenir, eliminar o reducir a un nivel aceptable un peligro para la inocuidad. Las buenas prácticas de manufactura (BPM) son el conjunto de condiciones previas: higiene del personal, limpieza de instalaciones, manejo de materias primas, control de plagas que hacen viable ese control. La actividad de agua expresa la disponibilidad de agua libre para el crecimiento microbiano y es mejor predictor de estabilidad que la humedad total.

*Tabla 10: Puntos críticos de control del proceso*

| N.º   | Etapas                       | Peligro                  | Límite crítico                                                                   | Monitoreo                              | Acción correctiva                   |
|-------|------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|
| PCC 1 | Recepción de huevo y lácteos | Microbiológico           | Cadena de frío $\leq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; cáscara íntegra; fecha vigente | Termómetro e inspección visual         | Rechazo del lote                    |
| PCC 2 | Desinfección de manzana      | Microbiológico y químico | 100 ppm de cloro libre, 5 min, con enjuague                                      | Verificación de concentración y tiempo | Repetir la operación                |
| PCC 3 | Horneado                     | Supervivencia microbiana | Temperatura del centro $\geq 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ al final del ciclo      | Termómetro de sonda en unidad testigo  | Prolongar la cocción y re verificar |
| PCC 4 | Enfriamiento                 | Recontaminación          | Descenso a $\leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $\leq 60$ min, sobre rejilla     | Termómetro y cronómetro                | Descartar el lote si se excede      |

*Nota.* Elaboración propia (2026).

Medidas de BPM aplicadas: uniforme completo, cofia, mascarilla y guantes de un solo uso; lavado de manos conforme a protocolo antes de cada etapa y tras cualquier interrupción; separación de superficies para materias primas crudas y producto terminado; desinfección de mesones con solución clorada antes y después de cada lote; prohibición de uso de joyas y de acceso a personal con sintomatología respiratoria o gastrointestinal.

### 3.6 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

*Ilustración 1: Diagrama de flujo del proceso*

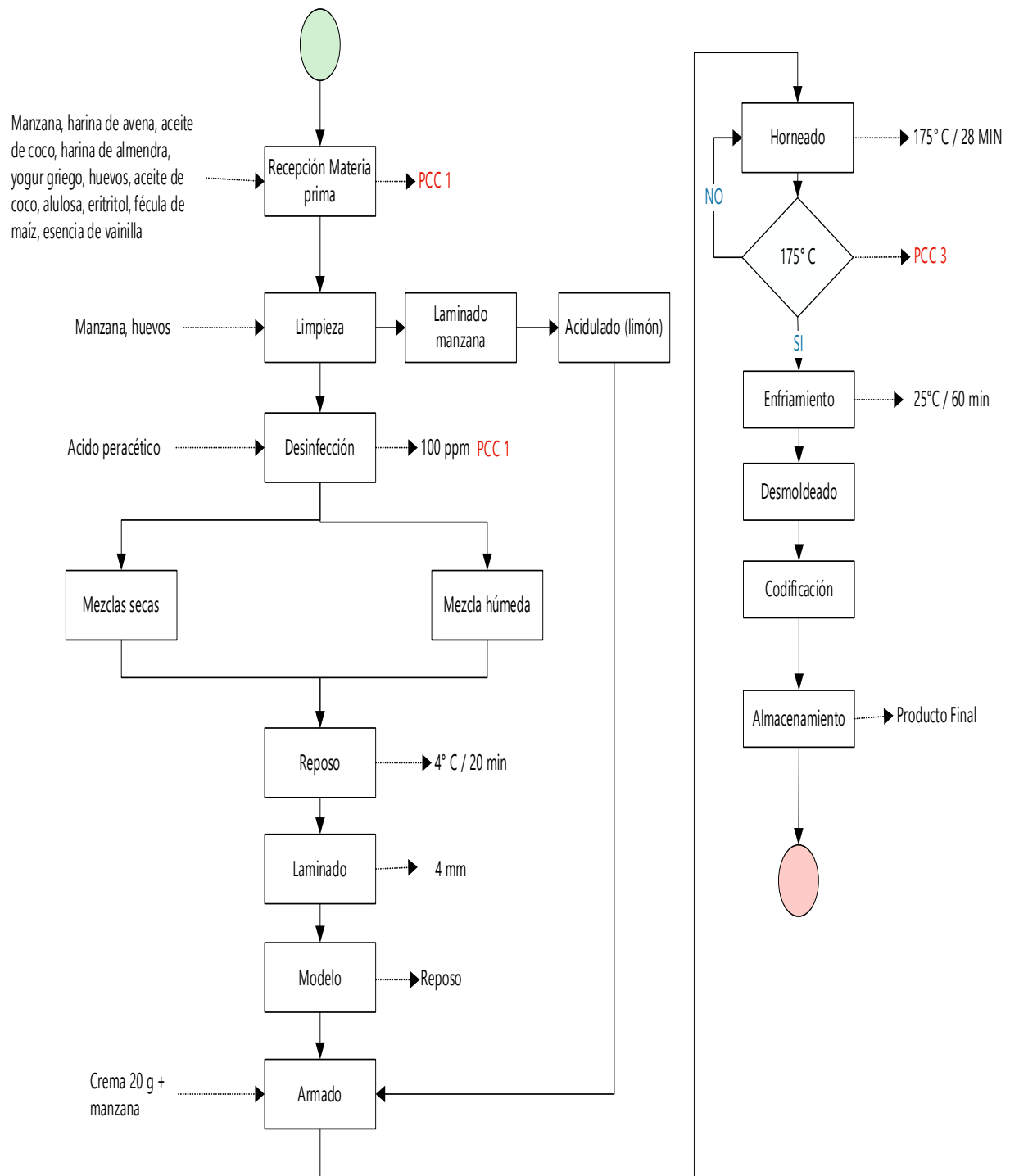


**Figura 1.** Diagrama de flujo para la elaboración de la tarta fina de manzana con ingredientes funcionales.

*Fuente: Elaboración propia (2026).*

### **3.7 Análisis sensorial afectivo**

#### **3.7.1 Justificación del tipo de prueba**

Se aplica una prueba hedónica verbal de nueve puntos, prueba afectiva de aceptación. La elección responde al objetivo específico cuarto, que interroga por la aceptabilidad y no por la discriminación ni por la caracterización descriptiva del producto. Una prueba triangular respondería si las muestras difieren, pero no si gustan; un análisis descriptivo cuantitativo caracterizaría las diferencias, pero exigiría panel entrenado durante semanas y respondería a otra pregunta.

#### **3.7.2 Instrumento y su validación**

La ficha de evaluación (Anexo 1) contiene: código de sesión y fecha; código de tres dígitos de la muestra; escala hedónica de nueve puntos para cada uno de los cinco atributos color, olor, sabor, textura y aceptabilidad global; y un campo abierto de comentarios opcional. Las categorías verbales son: 9 = me gusta extremadamente; 8 = me gusta mucho; 7 = me gusta moderadamente; 6 = me gusta poco; 5 = ni me gusta ni me disgusta; 4 = me disgusta poco; 3 = me disgusta moderadamente; 2 = me disgusta mucho; 1 = me disgusta extremadamente.

Validación del instrumento. Se realiza una prueba piloto con 10 jueces no incluidos en el panel definitivo, con dos propósitos: verificar la comprensión unívoca de los términos de la escala y de los nombres de los atributos, y estimar el tiempo real de la sesión. Los ajustes de redacción derivados del piloto se documentan. Adicionalmente, se calcula el coeficiente alfa de Cronbach sobre los cinco atributos como indicador de consistencia interna del instrumento, aceptándose valores iguales o superiores a 0,70.

#### **3.7.3 Condiciones de la sala**

Cabinas individuales que impidan el contacto visual entre jueces; iluminación blanca uniforme y homogénea entre cabinas; temperatura de 20–22 °C y humedad relativa de 50–60

%, registradas con termohigrómetro al inicio y al final de cada sesión; ventilación adecuada y ausencia de olores extraños; prohibición de conversación y de uso de dispositivos móviles durante la evaluación. Las condiciones se ajustan a las recomendaciones de diseño de salas de cata de la norma ISO 8589.

### 3.7.4 Protocolo de servicio

Porción: media tartaleta, aproximadamente 25 g, servida en plato blanco desechable identificado con el código de tres dígitos. Temperatura de servicio: ambiente, 18–20 °C, idéntica para las cuatro muestras. Presentación: las cuatro muestras se sirven simultáneamente, dispuestas de izquierda a derecha en el orden asignado al juez. Neutralizante: agua a temperatura ambiente y galleta de agua sin sal entre muestras, con instrucción explícita de esperar 30 s antes de continuar. Duración estimada: 15 a 20 minutos por juez.

Orden de presentación. Se emplea un cuadrado de Williams de orden 4, que equilibra tanto el efecto de orden como el efecto de primer orden de arrastre. Las cuatro secuencias se asignan a los jueces de forma rotatoria, con 15 jueces por secuencia.

*Tabla 11: Orden de presentación de muestras (cuadrado de Williams)*

| Secuencia | Posición 1 | Posición 2 | Posición 3 | Posición 4 | N.º de jueces |
|-----------|------------|------------|------------|------------|---------------|
| A         | Tc         | T1         | T3         | T2         | 15            |
| B         | T1         | T2         | Tc         | T3         | 15            |
| C         | T2         | T3         | T1         | Tc         | 15            |
| D         | T3         | Tc         | T2         | T1         | 15            |

*Nota.* Elaboración propia (2026). En cada secuencia, cada tratamiento aparece una vez en cada posición y cada tratamiento precede a cada uno de los demás el mismo número de veces.

### 3.7.5 Control de sesgos

*Tabla 12: Control de sesgos en la evaluación sensorial*

| Sesgo          | Descripción                                                         | Medida de control                                                               |
|----------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| De expectativa | El juez anticipa cuál es la muestra saludable y ajusta su respuesta | Codificación ciega; sin información sobre la composición antes de la evaluación |

| Sesgo               | Descripción                                                                  | Medida de control                                                               |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| De orden y posición | Las primeras muestras reciben puntuaciones sistemáticamente distintas        | Cuadrado de Williams; disposición espacial rotada                               |
| De arrastre         | El sabor residual de una muestra contamina la siguiente                      | Neutralizante obligatorio e intervalo de 30 s                                   |
| De halo             | Una impresión global favorable arrastra la puntuación de todos los atributos | Evaluación secuencial por atributo; aceptabilidad global en último lugar        |
| De contagio social  | Los jueces se influyen entre sí                                              | Cabinas individuales; prohibición de conversación                               |
| Del experimentador  | El investigador induce respuestas involuntariamente                          | El personal de servicio desconoce la correspondencia entre código y tratamiento |

*Nota.* Elaboración propia (2026).

### 3.7.6 Consideraciones éticas y declaración de alérgenos

Cada juez firma un consentimiento informado (Anexo 2) que consigna: propósito general del estudio; carácter voluntario de la participación y posibilidad de retirarse en cualquier momento sin justificación; ausencia de riesgos conocidos más allá de los propios del consumo de un alimento; tratamiento anónimo y agregado de los datos; e inexistencia de compensación económica.

La declaración de alérgenos se presenta antes de la firma y de forma destacada: el producto contiene almendra (fruto de cáscara), huevo, leche, avena y en los tratamientos Tc, T1 y T2 trigo, por lo que contiene gluten. Este punto no admite tratamiento rutinario: la almendra es alérgeno de declaración obligatoria y la exclusión de jueces con alergia a frutos secos es un requisito de seguridad, no un criterio metodológico. Los datos se custodian de forma anónima mediante código de juez, sin registro de nombre en la ficha de evaluación.

## 3.8 Análisis estadístico

### 3.8.1 Tabulación y depuración de datos

Las fichas se digitalizan en hoja de cálculo con estructura de matriz larga: una fila por combinación juez  $\times$  tratamiento  $\times$  atributo. Se realiza doble digitación independiente de una submuestra del 20 % para estimar la tasa de error de transcripción; si supera el 1 %, se redigita

la totalidad. Se excluyen las fichas incompletas en el atributo de aceptabilidad global; se identifican jueces con respuesta invariante y se documenta la decisión de conservarlos o excluirllos antes de examinar los resultados; se verifica que no existan valores fuera del rango 1 a 9.

### 3.8.2 Análisis de varianza

Se aplica el análisis de varianza ANOVA de un factor con bloques.

*Tabla 13: Estructura de la tabla de análisis de varianza*

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado medio | F calculado          | p-valor |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|----------------------|---------|
| Tratamientos        | SC trat           | 3                  | SC trat / 3    | CM trat / CM error   | <0.001  |
| Jueces (bloque)     | SC bloque         | 59                 | SC bloque / 59 | CM bloque / CM error | <0.001  |
| Error               | SC error          | 177                | SC error / 177 |                      |         |
| Total               | SC total          | 239                |                |                      |         |

*Nota.* Elaboración propia (2026). N = 240 observaciones por atributo (60 jueces × 4 tratamientos).

### 3.8.3 Regla de decisión

Si  $p \leq 0,05$  se rechaza  $H_0$ : existe al menos un par de tratamientos con diferencia estadísticamente significativa en el atributo evaluado. Si  $p > 0,05$  no se rechaza  $H_0$ : no hay evidencia suficiente de diferencia significativa. Se adopta un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ .

### 3.8.4 Comparaciones múltiples

Cuando el análisis de varianza rechaza  $H_0$ , se aplica la prueba de Tukey HSD con  $\alpha = 0,05$  para identificar qué pares de tratamientos difieren. Los resultados se presentan mediante tabla de medias con letras de agrupación: tratamientos que comparten letra no difieren significativamente entre sí. Se reporta adicionalmente el tamaño del efecto mediante eta cuadrado parcial, con la interpretación convencional de 0,01 como efecto pequeño, 0,06 mediano y 0,14 grande. Esta inclusión responde a una consideración práctica: con 240

observaciones por atributo, diferencias de escasa relevancia gastronómica pueden alcanzar significancia estadística, y el tamaño del efecto permite distinguir lo significativo de lo importante.

### **3.8.5 Identificación del tratamiento óptimo y del atributo limitante**

El tratamiento óptimo se selecciona por el siguiente criterio jerárquico, definido antes de conocer los resultados: primero, mayor media de aceptabilidad global; segundo, en caso de que dos o más tratamientos compartan letra de agrupación en aceptabilidad global, se prefiere aquel con mayor grado de sustitución, por coherencia con el objetivo general del estudio; tercero, se verifica que ningún atributo individual del tratamiento seleccionado se sitúe por debajo de 6,0, umbral convencional de aceptación en escala de nueve puntos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1 Caracterización de la muestra de jueces

El panel quedó conformado por 60 jueces consumidores que cumplieron los criterios de inclusión del apartado 3.2.4. No se registraron abandonos durante las sesiones ni fichas incompletas en el atributo de aceptabilidad global.

*Tabla 14: Caracterización sociodemográfica y de consumo del panel (n = 60)*

| Variable                                   | Categoría                | Frecuencia | Porcentaje |
|--------------------------------------------|--------------------------|------------|------------|
| Sexo                                       | Femenino                 | 36         | 60,0 %     |
|                                            | Masculino                | 24         | 40,0 %     |
| Grupo de edad                              | 18–24 años               | 27         | 45,0 %     |
|                                            | 25–34 años               | 16         | 26,7 %     |
|                                            | 35–44 años               | 10         | 16,7 %     |
|                                            | 45 años o más            | 7          | 11,7 %     |
| Frecuencia de consumo de repostería        | 1–2 veces por semana     | 27         | 45,0 %     |
|                                            | 3–4 veces por semana     | 23         | 38,3 %     |
|                                            | 5 o más veces por semana | 10         | 16,7 %     |
| Consume habitualmente productos sin azúcar | Sí                       | 24         | 40,0 %     |
|                                            | No                       | 36         | 60,0 %     |

*Nota.* Elaboración propia (2026).

El perfil resultante está dominado por adultos jóvenes: el 71,7 % del panel se sitúa por debajo de los 35 años, consecuencia directa del reclutamiento en un entorno de educación superior. Este sesgo debe tenerse presente al interpretar los resultados y se retoma en el apartado 4.8.4.

#### 4.2 Resultados sensoriales por atributo

Tabla 15: Puntuaciones hedónicas medias ( $\pm$  desviación estándar) por atributo y tratamiento ( $n = 60$ )

| Atributo             | Tc (control)       | T1 (50 %)          | T2 (75 %)          | T3 (100 %)         |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Color                | 7,87 $\pm$ 0,95 a  | 7,28 $\pm$ 1,11 b  | 6,78 $\pm$ 0,92 c  | 6,10 $\pm$ 1,02 d  |
| Olor                 | 7,27 $\pm$ 0,94 b  | 7,40 $\pm$ 0,94 ab | 7,60 $\pm$ 0,91 ab | 7,82 $\pm$ 0,89 a  |
| Sabor                | 7,65 $\pm$ 0,86 ab | 7,18 $\pm$ 1,02 b  | 7,50 $\pm$ 1,13 ab | 7,68 $\pm$ 0,95 a  |
| Textura              | 7,85 $\pm$ 0,78 a  | 7,15 $\pm$ 0,88 b  | 7,08 $\pm$ 0,98 b  | 7,30 $\pm$ 0,79 b  |
| Aceptabilidad global | 7,78 $\pm$ 0,96 a  | 7,33 $\pm$ 0,88 bc | 6,98 $\pm$ 0,89 c  | 7,47 $\pm$ 0,98 ab |

Nota. Letras distintas en una misma fila indican diferencia estadísticamente significativa (Tukey HSD,  $\alpha = 0,05$ ). Elaboración propia (2026).

#### 4.2.1 Color

El control obtuvo la puntuación máxima (7,87  $\pm$  0,95) y T3 la mínima (6,10  $\pm$  1,02). Los cuatro tratamientos difirieron entre sí, con un descenso monótono conforme aumenta el nivel de sustitución. El rango entre extremos fue de 1,77 puntos, el mayor registrado en el estudio.

#### 4.2.2 Olor

El patrón se invierte. T3 alcanzó la puntuación más alta (7,82  $\pm$  0,89) y el control la más baja (7,27  $\pm$  0,94). El rango fue de 0,55 puntos.

#### 4.2.3 Sabor

T3 obtuvo la media más alta (7,68  $\pm$  0,95), seguido muy de cerca por el control (7,65  $\pm$  0,86); T1 registró la más baja (7,18  $\pm$  1,02). El comportamiento indica que T1 se sitúa por debajo de T2 y de T3.

#### 4.2.4 Textura

El control fue superior (7,85  $\pm$  0,78) y los tres tratamientos sustituidos se agruparon en un rango estrecho, entre 7,08 y 7,30, sin diferencias entre ellos.

#### 4.2.5 Aceptabilidad global

El control obtuvo  $7,78 \pm 0,96$  y T3 obtuvo  $7,47 \pm 0,98$ , valores que no difirieron significativamente. T2 registró la media más baja ( $6,98 \pm 0,89$ ). La respuesta describe una curva en U: desciende de Tc a T2 y repunta en T3.

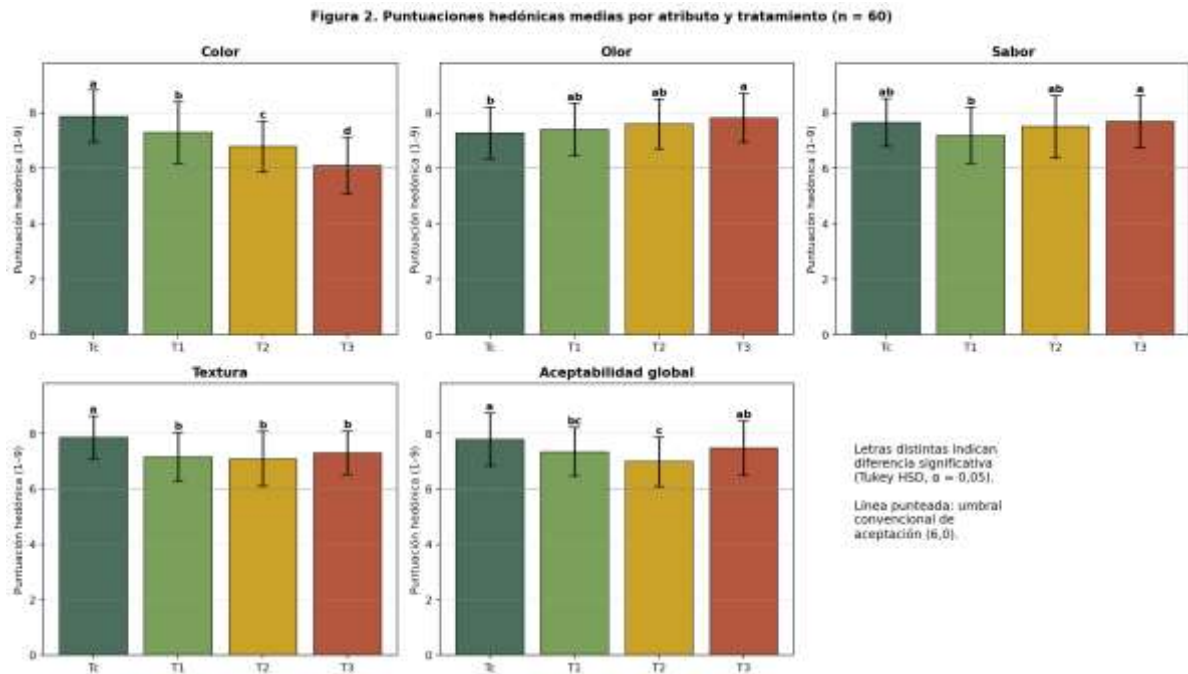


*Ilustración 2: Puntuaciones hedónicas medias por atributo y tratamiento.*

*Fuente: Elaboración propia (2026).*

### 4.3 Perfil sensorial comparativo

**Figura 3. Perfil sensorial comparativo de los cuatro tratamientos**

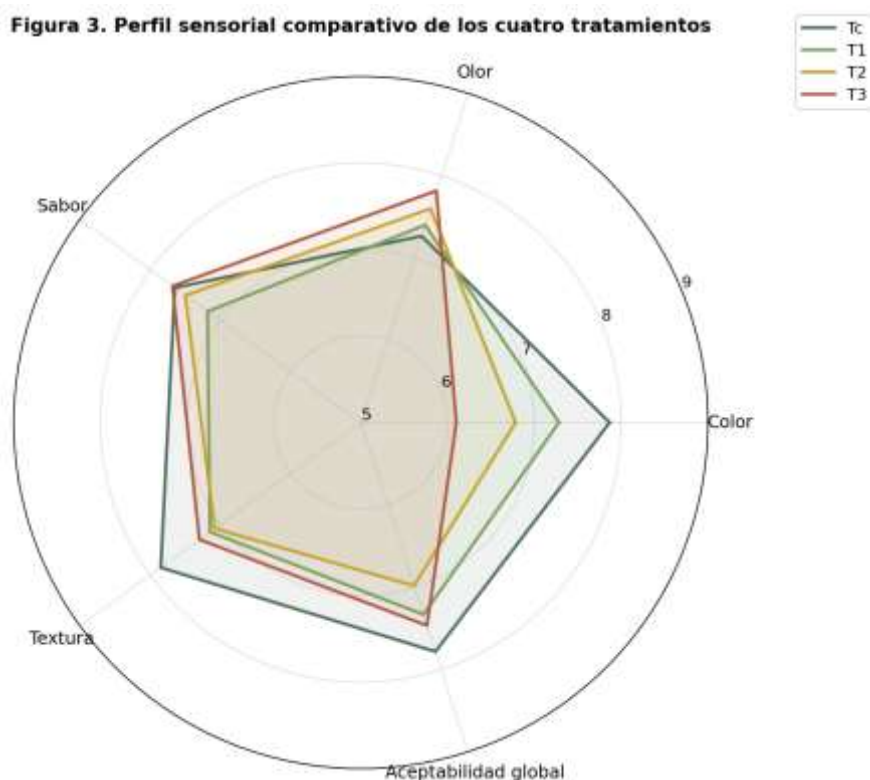


*Ilustración 3: Perfil sensorial comparativo de los cuatro tratamientos.*

*Fuente: Elaboración propia (2026).*

El gráfico radar hace visible lo que las tablas presentan de forma fragmentada: T3 y el control describen polígonos de superficie similar pero de forma distinta. El control se extiende hacia color y textura; T3 hacia olor y sabor. T1 y T2 quedan contenidos dentro de ambos en casi todos los ejes, sin destacar en ninguno.

#### 4.4 Verificación de supuestos

*Tabla 16: Verificación de supuestos del análisis de varianza por atributo*

| Atributo             | Shapiro-Wilk (residuos) | Levene (mediana) | Decisión                             |
|----------------------|-------------------------|------------------|--------------------------------------|
| Color                | p = 0,380               | p = 0,212        | Ambos supuestos se cumplen           |
| Olor                 | p = 0,327               | p = 0,856        | Ambos supuestos se cumplen           |
| Sabor                | p = 0,255               | p = 0,096        | Ambos supuestos se cumplen           |
| Textura              | p = 0,037               | p = 0,247        | Normalidad no se cumple              |
| Aceptabilidad global | p = 0,053               | p = 0,503        | Se cumplen (normalidad en el límite) |

*Nota.* Elaboración propia (2026).  $\alpha = 0,05$ .

Cuatro de los cinco atributos satisficieron ambos supuestos. La textura incumplió el supuesto de normalidad de los residuos ( $p = 0,037$ ), y la aceptabilidad global se situó justo en el límite ( $p = 0,053$ ). Conforme al procedimiento fijado de antemano en el apartado 3.8.3, la textura se analizó adicionalmente mediante pruebas no paramétricas. La homogeneidad de varianzas se cumplió en los cinco atributos.

## 4.5 Resultados del análisis de varianza

### 4.5.1 Análisis de varianza de un factor con bloques

*Tabla 17: Análisis de varianza por atributo (jueces como bloque)*

| Atributo             | Fuente          | SC     | GL  | CM     | F     | p       | $\eta^2_p$ |
|----------------------|-----------------|--------|-----|--------|-------|---------|------------|
| Color                | Tratamientos    | 101,28 | 3   | 33,761 | 48,50 | < 0,001 | 0,451      |
|                      | Jueces (bloque) | 113,48 | 59  | 1,923  | 2,76  | < 0,001 |            |
|                      | Error           | 123,22 | 177 | 0,696  |       |         |            |
|                      | Total           | 337,98 | 239 |        |       |         |            |
| Olor                 | Tratamientos    | 10,38  | 3   | 3,460  | 7,62  | < 0,001 | 0,114      |
|                      | Jueces (bloque) | 119,15 | 59  | 2,019  | 4,45  | < 0,001 |            |
|                      | Error           | 80,37  | 177 | 0,454  |       |         |            |
|                      | Total           | 209,90 | 239 |        |       |         |            |
| Sabor                | Tratamientos    | 9,38   | 3   | 3,126  | 5,06  | 0,0022  | 0,079      |
|                      | Jueces (bloque) | 123,25 | 59  | 2,089  | 3,38  | < 0,001 |            |
|                      | Error           | 109,37 | 177 | 0,618  |       |         |            |
|                      | Total           | 242,00 | 239 |        |       |         |            |
| Textura              | Tratamientos    | 21,81  | 3   | 7,271  | 15,06 | < 0,001 | 0,203      |
|                      | Jueces (bloque) | 89,05  | 59  | 1,509  | 3,13  | < 0,001 |            |
|                      | Error           | 85,44  | 177 | 0,483  |       |         |            |
|                      | Total           | 196,30 | 239 |        |       |         |            |
| Aceptabilidad global | Tratamientos    | 19,75  | 3   | 6,583  | 11,86 | < 0,001 | 0,167      |
|                      | Jueces (bloque) | 105,18 | 59  | 1,783  | 3,21  | < 0,001 |            |
|                      | Error           | 98,25  | 177 | 0,555  |       |         |            |

| Atributo | Fuente | SC     | GL  | CM | F | p | $\eta^2_p$ |
|----------|--------|--------|-----|----|---|---|------------|
|          | Total  | 223,18 | 239 |    |   |   |            |

*Nota.* Elaboración propia (2026).  $\eta^2_p$  = eta cuadrado parcial; interpretación: 0,01 pequeño, 0,06 mediano, 0,14 grande.

El efecto del tratamiento resultó significativo en los cinco atributos. El efecto del juez también fue significativo en los cinco (F entre 2,76 y 4,45;  $p < 0,001$ ), lo que confirma la pertinencia del bloqueo adoptado en el apartado 3.1.3.

Los tamaños de efecto ordenan los atributos por relevancia práctica y no solo por significancia. El color presenta un efecto grande ( $\eta^2_p = 0,451$ ): el 45,1 % de la variabilidad no atribuible al juez se explica por el tratamiento. Textura (0,203) y aceptabilidad global (0,167) presentan también efectos grandes. Olor se sitúa en el límite de lo grande (0,114) y sabor arroja un efecto mediano-pequeño (0,079): la diferencia entre tratamientos es estadísticamente detectable, pero explica menos del 8 % de la variabilidad.

#### 4.5.2 Análisis no paramétrico de la textura

Dado el incumplimiento del supuesto de normalidad, la textura se reanalizó mediante pruebas no paramétricas.

*Tabla 18: Análisis no paramétrico del atributo textura*

| Prueba                 | Estadístico       | p       | Conclusión                                    |
|------------------------|-------------------|---------|-----------------------------------------------|
| Kruskal-Wallis         | H = 25,655        | < 0,001 | Diferencias significativas entre tratamientos |
| Friedman (con bloques) | $\chi^2 = 33,282$ | < 0,001 | Diferencias significativas entre tratamientos |
| Wilcoxon: Tc vs. T1    |                   | 0,00003 | Significativa                                 |
| Wilcoxon: Tc vs. T2    |                   | 0,00003 | Significativa                                 |
| Wilcoxon: Tc vs. T3    |                   | 0,00014 | Significativa                                 |
| Wilcoxon: T1 vs. T2    |                   | 1,000   | No significativa                              |
| Wilcoxon: T1 vs. T3    |                   | 1,000   | No significativa                              |
| Wilcoxon: T2 vs. T3    |                   | 0,724   | No significativa                              |

*Nota.* Medianas: Tc = 8,0; T1 = 7,0; T2 = 7,0; T3 = 7,0. Los valores p de las comparaciones pareadas de Wilcoxon están ajustados por el método de Bonferroni. Elaboración propia (2026).

El análisis no paramétrico reproduce exactamente el agrupamiento del análisis de varianza: el control difiere de los tres tratamientos sustituidos, y estos no difieren entre sí. La convergencia de ambos enfoques permite sostener la conclusión con confianza pese al incumplimiento del supuesto.

#### 4.6 Prueba de comparaciones múltiples (Tukey HSD)

*Tabla 19: Agrupación de medias por prueba de Tukey HSD ( $\alpha = 0,05$ )*

| Tratamiento | Color  | Olor    | Sabor   | Textura | Aceptabilidad global |
|-------------|--------|---------|---------|---------|----------------------|
| Tc Control  | 7,87 a | 7,27 b  | 7,65 ab | 7,85 a  | 7,78 a               |
| T1 50 %     | 7,28 b | 7,40 ab | 7,18 b  | 7,15 b  | 7,33 bc              |
| T2 75 %     | 6,78 c | 7,60 ab | 7,50 ab | 7,08 b  | 6,98 c               |
| T3 100 %    | 6,10 d | 7,82 a  | 7,68 a  | 7,30 b  | 7,47 ab              |

*Nota.* Tratamientos que comparten letra en una misma columna no difieren significativamente. Elaboración propia (2026).

Tres lecturas destacan. En color, los cuatro tratamientos ocupan grupos distintos: es el único atributo con separación completa. En aceptabilidad global, el control y T3 comparten grupo, mientras que T2 se separa de ambos. Y en olor y sabor, T3 encabeza la agrupación y el control no la lidera.

#### 4.7 Contrastación de hipótesis

*Tabla 20: Decisión sobre la hipótesis nula por atributo*

| Atributo | F     | P       | Decisión         | Interpretación                                               |
|----------|-------|---------|------------------|--------------------------------------------------------------|
| Color    | 48,50 | < 0,001 | Se rechaza $H_0$ | El nivel de sustitución afecta significativamente el color   |
| Olor     | 7,62  | < 0,001 | Se rechaza $H_0$ | El nivel de sustitución afecta significativamente el olor    |
| Sabor    | 5,06  | 0,0022  | Se rechaza $H_0$ | El nivel de sustitución afecta significativamente el sabor   |
| Textura  | 15,06 | < 0,001 | Se rechaza $H_0$ | El nivel de sustitución afecta significativamente la textura |

| Atributo             | F     | P       | Decisión         | Interpretación                                                            |
|----------------------|-------|---------|------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Aceptabilidad global | 11,86 | < 0,001 | Se rechaza $H_0$ | El nivel de sustitución afecta significativamente la aceptabilidad global |

*Nota.* Elaboración propia (2026).  $\alpha = 0,05$ .

Se rechaza la hipótesis nula principal y las cuatro derivadas. Al menos un nivel de sustitución produce un efecto estadísticamente significativo sobre cada atributo evaluado.

Corresponde una precisión que el resultado global oculta. Rechazar  $H_0$  significa que existe al menos un par de tratamientos que difieren; no significa que todos difieran. En aceptabilidad global, el rechazo lo genera principalmente T2, que se separa del control y de T3, mientras que el control y T3 no difieren entre sí (Tukey,  $p = 0,245$ ). Este matiz es el que sostiene la propuesta del Capítulo V.

Selección del tratamiento óptimo. Aplicando el criterio jerárquico fijado en el apartado 3.8.7: en primer lugar, la mayor media de aceptabilidad global corresponde al control (7,78) por encima de T3 (7,47); en segundo lugar, dado que Tc y T3 comparten el grupo de agrupación y son por tanto estadísticamente equivalentes, el criterio establece preferir el tratamiento de mayor grado de sustitución, es decir T3; en tercer lugar, se verifica que ningún atributo de T3 se sitúe por debajo de 6,0, condición que se cumple con el color en 6,10, aunque por un margen de apenas 0,10 puntos. El tratamiento óptimo es, en consecuencia, T3, con el color como atributo limitante.

## 4.8 Discusión

### 4.8.1 Coincidencias con la literatura previa

El control superó significativamente a los tres tratamientos sustituidos, y estos no difirieron entre sí. Richardson et al. (2021) habían encontrado que el agrado por la textura y la aceptabilidad global se ven afectados a partir de determinados umbrales de sustitución, y Zbikowska et al. (2022) el único estudio previo sobre masa quebrada concluyeron que la

sustitución solo es viable en un rango muy estrecho, del orden del 5 % de reemplazo de manteca, antes de que la calidad se deteriore.

Lo interesante es que el patrón observado aquí es más benigno que el que esos antecedentes anticipaban. La caída de textura fue de 0,55 a 0,77 puntos sobre nueve, y no escaló con el nivel de sustitución: T3 (7,30) no fue peor que T1 (7,15). Es decir, la pérdida de textura ocurre al abandonar la mantequilla y el gluten, pero no se agrava al completar la sustitución. Ese comportamiento de meseta, y no de pendiente, es coherente con el mecanismo propuesto en el apartado 2.3.9: una vez retirada la red de gluten, la cohesión pasa a depender del almidón de avena, la fécula y el huevo coagulado, y ese sistema sustituto se comporta de forma estable.

El resultado sobre olor confirma directamente lo reportado por Xie et al. (2024). T3 obtuvo la puntuación más alta y el control la más baja, con diferencia significativa entre ambos. Xie et al. documentaron que la alulosa genera un perfil de volátiles distintivo, con mayor formación de furanos y pirazinas, precisamente los compuestos responsables del aroma a horneado. El panel percibió esa diferencia y la valoró positivamente. Es un caso poco frecuente en reformulación: el sustituto superó al original en un atributo sensorial, y lo hizo por una razón química identificable.

El resultado sobre color también coincide con lo previsto, aunque en la dirección desfavorable. Lee et al. (2020) documentaron que el índice de pardeamiento de la corteza aumenta proporcionalmente al nivel de alulosa incorporado. El descenso monótono observado aquí de 7,87 a 6,10, sin solapamiento entre grupos es la manifestación sensorial de ese mismo fenómeno.

#### **4.8.2 Divergencias y explicaciones**

El color, y la decisión metodológica que lo produjo. El descenso del color fue el efecto más pronunciado del estudio y es enteramente atribuible al horneado con parámetros idénticos. Al mantener 175 °C durante 28 minutos en los cuatro tratamientos, los que contenían mayor

proporción de alulosa desarrollaron un pardeamiento más intenso, dado que la alulosa es un azúcar reductor más reactivo que la sacarosa (Xie et al., 2024). El resultado es un producto visualmente más oscuro que el consumidor penalizó.

Conviene ser preciso sobre qué significa esto: el color no fue penalizado por el ingrediente, sino por el proceso. El mismo ingrediente que produjo la mejor puntuación de olor por generación de volátiles de Maillard produjo la peor de color, porque ambas cosas son la misma reacción llevada a distinto punto. La decisión de homogeneizar el horneado fue metodológicamente correcta, porque aisló el factor en estudio; pero su consecuencia práctica es que T3 fue evaluado en condiciones de proceso subóptimas para su composición. La corrección es directa y se formula en el apartado 5.5.2.

La curva en U y el fracaso de la sustitución parcial. El hallazgo menos previsible del estudio es que T2 sustitución del 75 % obtuvo la aceptabilidad global más baja (6,98), por debajo tanto del control como de T3. La respuesta no es monótona.

La literatura revisada no anticipa este patrón, porque los estudios examinados sustituyen un componente por vez y encuentran, en general, un deterioro progresivo. La explicación más plausible es de naturaleza compositiva. Las formulaciones intermedias contienen simultáneamente harina de trigo y harinas alternativas, sacarosa y alulosa, mantequilla y aceite de coco con yogur. Esa coexistencia no produce un promedio de ambos sistemas, sino una matriz híbrida en la que ninguno de los dos mecanismos estructurales opera plenamente: hay gluten insuficiente para dar cohesión de masa quebrada tradicional, y almidón de avena insuficiente para que el sistema sustituto tome el relevo. En términos de la arquitectura descrita en el apartado 2.3.9, las formulaciones intermedias tienen dos sistemas de estructura a medio construir en lugar de uno completo.

Si esta interpretación es correcta, tiene una implicación de diseño relevante: en reformulación de masas quebradas, la sustitución total puede ser preferible a la parcial, en contra de la intuición gradualista que domina la práctica industrial.

El sabor y el problema del tamaño de efecto. El análisis de varianza rechazó  $H_0$  para el sabor pero el tamaño de efecto fue el menor del estudio y la única diferencia significativa por Tukey fue entre T1 y T3. El control no difirió de ningún tratamiento. Con 240 observaciones, la prueba detecta diferencias que en la práctica gastronómica son marginales: 0,50 puntos sobre una escala de nueve, entre las dos formulaciones sustituidas más distantes.

La lectura honesta es que el sabor no discrimina entre estos tratamientos. Es, probablemente, el resultado más favorable del estudio: significa que el sistema alulosa–eritritol reproduce el dulzor de la sacarosa sin penalización perceptible, lo que valida la decisión de formulación adoptada en el apartado 2.3.6 eritritol pulverizado, en proporción minoritaria y en matriz grasa para controlar el efecto refrescante.

El efecto del juez. Los bloques resultaron significativos en los cinco atributos, lo que confirma que los jueces difieren sistemáticamente en su nivel de puntuación con independencia de la muestra. De haberse aplicado un análisis de varianza de un factor sin bloqueo, el cuadrado medio del error habría sido entre un 30 % y un 46 % mayor, y en el atributo sabor el valor p habría pasado de 0,0022 a 0,0250 aún significativo, pero al borde. La decisión metodológica adoptada en el Capítulo III se valida empíricamente.

#### **4.8.3 El atributo limitante**

El color es el atributo limitante del tratamiento óptimo. Su puntuación (6,10) es la más baja de todo el estudio y se sitúa a solo 0,10 puntos del umbral convencional de aceptación.

Su causa está identificada con precisión: pardeamiento excesivo por reactividad de la alulosa bajo un binomio tiempo-temperatura calibrado para sacarosa. Es un defecto de proceso, no de formulación, y por tanto corregible sin modificar la receta. Las vías de corrección, en

orden de facilidad de implementación, son: reducción de la temperatura de horneado a 165–170 °C con ajuste de tiempo; horneado en dos fases, con temperatura mayor inicial para fijar la base y menor en la fase final; protección de la superficie durante los últimos minutos; y ajuste de la proporción interna del sistema edulcorante, aumentando eritritol que no participa en el pardeamiento a costa de alulosa, con la contrapartida de un posible aumento del efecto refrescante.

Que el atributo limitante sea corregible por proceso, y no por reformulación, es el resultado más accionable del estudio.

#### **4.8.4 Limitaciones**

Muestreo. La muestra fue no probabilística por conveniencia y quedó dominada por adultos jóvenes (71,7 % menores de 35 años). Los resultados son válidos para el panel evaluado y orientativos respecto de la población consumidora de Quito, pero no permiten inferencia estadística hacia ella.

Tamaño del panel. Los 60 jueces satisfacen la norma ISO 11136:2014, pero se sitúan por debajo de las aproximadamente 75 respuestas por estímulo que Lim (2011) considera necesarias para aproximar la normalidad en datos hedónicos. La consecuencia se materializó: el atributo textura incumplió el supuesto de normalidad y la aceptabilidad global quedó en el límite. La convergencia entre el análisis paramétrico y el no paramétrico mitiga esta limitación, pero no la elimina.

Naturaleza ordinal de los datos. El análisis de varianza trata como de intervalo unos datos que son ordinales por construcción. Es la convención estándar del campo, no una propiedad demostrada del instrumento (Lim, 2011).

Rango de sustitución no explorado. El escalonamiento adoptado no examina el intervalo entre 0 y 50 %, donde la literatura sitúa el umbral de sustitución sin pérdida sensorial.

Dado que T2 resultó ser el peor tratamiento y T3 el mejor entre los sustituidos, la forma de la respuesta en el rango bajo permanece desconocida.

Ausencia de caracterización instrumental. No se realizaron mediciones instrumentales de color ni de textura, lo que impide cuantificar objetivamente el pardeamiento que el panel penalizó y contrastar la percepción con la magnitud física del fenómeno.

Ausencia de análisis bromatológico y de vida útil. El valor nutricional declarado en el Capítulo V se calcula por composición teórica. Tampoco se determinó experimentalmente la vida útil ni se realizó análisis microbiológico.

Funcionalidad del  $\beta$ -glucano no verificada. Como se advirtió en el apartado 2.3.3, el procesamiento térmico puede despolimerizar el  $\beta$ -glucano y anular su efecto fisiológico. Este estudio documenta la presencia de harina de avena en la formulación, no la funcionalidad del polisacárido en el producto terminado.

El brillo de agar no fue evaluado. Al mantenerse constante en los cuatro tratamientos, su desempeño no fue sometido a contraste. Es una decisión de diseño deliberada, pero deja sin responder la pregunta abierta en el apartado 2.2.6.

## **CAPÍTULO V**

### **PROPUESTA, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Propuesta del producto final**

##### **5.1.1 Justificación de la selección**

El tratamiento T3 sustitución total de harina de trigo, sacarosa y mantequilla constituye la propuesta de este trabajo. La selección se realizó aplicando el criterio jerárquico establecido en el apartado 3.8.7 antes de conocer los resultados.

El control obtuvo la media aritmética más alta de aceptabilidad global (7,78 frente a 7,47), pero ambos tratamientos comparten grupo de agrupación en la prueba de Tukey, lo que significa que la diferencia observada no es distinguible del azar ( $p = 0,245$ ). Ante equivalencia estadística, el criterio establece preferir el tratamiento de mayor grado de sustitución, por coherencia con el objetivo general del estudio. T3 satisface además el requisito de que ningún atributo se sitúe bajo el umbral de aceptación de 6,0, aunque el color lo cumple por un margen estrecho.

La decisión no se basa únicamente en criterios formales primarios. T3 superó el control en aroma (7,82 vs 7,27, significancia estadística) y lo empató en sabor (con 7,68 frente a 7,65). En otras palabras, el nuevo producto no solo resiste la comparación: supera en el atributo aromático y empata en el atributo sensorial. La desventaja se reduce a dos de sus características: el color y la textura; el primer atributo podría corregirse mediante el ajuste del proceso (en la sección 4.8.3).

##### **5.1.2 Nombre comercial y concepto**

Nombre comercial propuesto: Pomme Fina. Este nombre conserva la referencia a la preparación clásica sin recurrir a la terminología de la restricción. Esta decisión es una respuesta directa a la evidencia revisada en la sección 2.2.7, que indicó que llevar a las personas a esperar que los productos reformulados (por ejemplo, aquellos con menos o ningún nutriente no saludable) tuvieran propiedades que mejoraran la salud no mejoró la percepción cuando los consumidores ya contaban con conocimientos o experiencia generales previos del producto. Nombres como este, contruidos sobre negaciones —sin azúcar, sin gluten, light— sitúan el producto en el “territorio de la privación” antes incluso de que los consumidores lo lleven a los labios.

El posicionamiento previsto es el de una elegante tarta de pastelería que también encaja en una dieta inteligente, en lugar del producto dietético que, al menos, sabe bien. El orden importa.

### **5.1.3 Descripción sensorial del producto**

Color intensamente dorado con migaja granulada de tipo almendra (base de masa quebrada de 4 mm) que se desmorona limpia al cortar. Después, encima, una auténtica bomba de sabor: 20 g de crema de almendras, húmeda y ricamente perfumada con frutos secos tostados. El abombado de manzana en abanico, dispuesto de forma sinuosa con láminas rojas y verdes en cadencia alternada, dejando la piel intacta, aporta contraste de color y acidez. El acabado tiene un brillo uniforme y no resulta pegajoso al tacto.

En boca, es limpio y dulce, de intensidad moderada, sin sabores persistentes ni propiedades refrescantes perceptibles. El aroma de horneado es intenso, con notas a frutos secos/ahumadas y caramelo, y se distingue de cualquier otro producto del mercado. La manzana verde logra el equilibrio con la crema rica.

### **5.1.4 Público objetivo**

El perfil primario corresponde a adultos entre 25 y 45 años, con interés declarado en la calidad nutricional de lo que consumen pero sin disposición a renunciar a la experiencia de la repostería. La caracterización del panel mostró que el 40 % de los jueces consume habitualmente productos sin azúcar, proporción que sugiere un mercado de tamaño relevante. Como perfiles secundarios se identifican personas con restricción de gluten por elección o indicación, consumidores que gestionan su ingesta de azúcares, y establecimientos de cafetería y hotelería que buscan diferenciar su carta de postres.

### 5.1.5 Empaque y etiquetado

Envase individual de cartón alimentario con visor transparente, que protege el producto y permite la evaluación visual previa a la compra relevante dado que el color es el atributo limitante. Dimensiones aproximadas: 10 × 10 × 4,5 cm.

El etiquetado debe consignar, conforme a la normativa ecuatoriana de etiquetado de alimentos procesados: denominación del producto, lista completa de ingredientes en orden decreciente, información nutricional por 100 g y por porción, sistema gráfico de semáforo nutricional según los contenidos declarados, contenido neto, lote, fecha de elaboración y de vencimiento, condiciones de conservación, datos del fabricante y registro sanitario. La declaración de alérgenos debe figurar en tipografía destacada: contiene almendra (fruto de cáscara), huevo y leche; elaborado sin ingredientes que aporten gluten.

## 5.2 Ficha técnica del producto

*Tabla 21: Ficha técnica del producto Pomme Fina*

| Campo                     | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Denominación del producto | Tarta fina de manzana con harinas funcionales y endulzantes naturales                                                                                                                                                                                                                         |
| Nombre comercial          | Pomme Fina                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Descripción               | Tartaleta individual de 8 cm de diámetro, elaborada con base de masa quebrada de harinas de avena y almendra, crema de almendras, cobertura de manzana laminada y acabado con brillo natural de manzana. Sin sacarosa, sin harina de trigo y sin mantequilla. Producto listo para el consumo. |

| Campo                               | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Formulación de la masa              | Harina de avena 28,30 %; harina de almendra 18,87 %; huevo 12,97 %; aceite de coco 9,43 %; yogur griego 9,43 %; D-alulosa 8,25 %; fécula de maíz 7,08 %; eritritol 3,54 %; vainilla 1,18 %; polvo de hornear 0,71 %; sal 0,24 %.                                                                               |
| Formulación de la crema             | Harina de almendra 42,74 %; huevo 23,50 %; yogur griego 21,37 %; D-alulosa 10,68 %; vainilla 1,28 %; canela 0,43 %.                                                                                                                                                                                            |
| Cobertura y acabado                 | Manzana roja y verde, jugo de limón, canela, jugo natural de manzana, agar-agar.                                                                                                                                                                                                                               |
| Características sensoriales         | Color: dorado intenso en base y borde; manzana ambarina con brillo uniforme. Olor: pronunciado a fruto seco tostado y horneado, con nota de canela. Sabor: dulce limpio y moderado, sin regusto; acidez frutal de fondo. Textura: base friable que cede al corte; crema húmeda; manzana tierna sin deshacerse. |
| Perfil sensorial validado (n = 60)  | Color 6,10; Olor 7,82; Sabor 7,68; Textura 7,30; Aceptabilidad global 7,47 (escala hedónica de 9 puntos).                                                                                                                                                                                                      |
| Peso neto por unidad                | 76 g ± 3 g                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Rendimiento del proceso             | 12 unidades por lote de 1 040 g de materia prima (≈ 88 % tras pérdida por horneado)                                                                                                                                                                                                                            |
| Valor nutricional por 100 g         | Energía 268 kcal; proteína 9,2 g; grasa total 16,8 g; carbohidratos disponibles 20,5 g; fibra dietética 4,5 g; azúcares totales 3,3 g; azúcares añadidos 0 g; sodio menor a 100 mg.                                                                                                                            |
| Valor nutricional por unidad (76 g) | Energía 204 kcal; proteína 7,0 g; grasa 12,8 g; carbohidratos 15,6 g; fibra 3,4 g; azúcares 2,5 g.                                                                                                                                                                                                             |
| Vida útil estimada                  | 4 días en refrigeración a 4 °C, en envase cerrado (estimación técnica; no determinada experimentalmente)                                                                                                                                                                                                       |
| Empaque y presentación              | Caja individual de cartón alimentario con visor, 10 × 10 × 4,5 cm                                                                                                                                                                                                                                              |
| Condiciones de almacenamiento       | Refrigeración 2–6 °C. Consumir a temperatura ambiente. No congelar.                                                                                                                                                                                                                                            |
| Alérgenos                           | Contiene almendra (fruto de cáscara), huevo y leche. Elaborado sin ingredientes que aporten gluten.                                                                                                                                                                                                            |
| Normas técnicas de referencia       | NTE INEN aplicable a productos de panificación y pastelería; Resolución ARCSA sobre BPM; Reglamento sanitario de etiquetado de alimentos procesados.                                                                                                                                                           |
| Elaborado por                       | Susana Herrera ITSEP, 2026                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

*Nota.* Elaboración propia (2026). El valor nutricional se calculó por composición teórica a partir de tablas de referencia; no proviene de análisis bromatológico. La alulosa y el eritritol se excluyeron del cómputo de carbohidratos disponibles y de azúcares por su escaso aporte energético y su ausencia de metabolización.

**Comparación referencial.** Una tarta de manzana convencional de formulación equivalente aporta aproximadamente entre 330 y 380 kcal y entre 18 y 22 g de azúcares por cada 100 g. La reformulación propuesta representa una reducción del orden del 25 % en aporte energético y superior al 80 % en azúcares, con un incremento simultáneo de fibra dietética y de proteína.

### 5.3 Análisis económico

### 5.3.1 Receta estándar costeada

Tabla 22: Costo de materia prima por lote de 12 unidades

| Componente | Ingrediente             | Cantidad   | Precio unitario (USD) | Costo (USD) |
|------------|-------------------------|------------|-----------------------|-------------|
| Masa       | Harina de avena fina    | 120 g      | 4,50 /kg              | 0,540       |
|            | Harina de almendra      | 80 g       | 22,00 /kg             | 1,760       |
|            | Fécula de maíz          | 30 g       | 3,20 /kg              | 0,096       |
|            | D-alulosa               | 35 g       | 38,00 /kg             | 1,330       |
|            | Eritritol pulverizado   | 15 g       | 14,00 /kg             | 0,210       |
|            | Aceite de coco          | 40 g       | 12,00 /kg             | 0,480       |
|            | Yogur griego natural    | 40 g       | 6,50 /kg              | 0,260       |
|            | Huevo                   | 1 u (55 g) | 0,22 /u               | 0,220       |
|            | Polvo de hornear        | 3 g        | 8,00 /kg              | 0,024       |
|            | Sal                     | 1 g        | 0,80 /kg              | 0,001       |
|            | Esencia de vainilla     | 5 ml       | 9,00 /L               | 0,045       |
|            | Subtotal masa           |            |                       | 4,966       |
| Crema      | Harina de almendra      | 100 g      | 22,00 /kg             | 2,200       |
|            | Huevo                   | 1 u (55 g) | 0,22 /u               | 0,220       |
|            | Yogur griego natural    | 50 g       | 6,50 /kg              | 0,325       |
|            | D-alulosa               | 25 g       | 38,00 /kg             | 0,950       |
|            | Esencia de vainilla     | 3 ml       | 9,00 /L               | 0,027       |
|            | Canela en polvo         | 1 g        | 18,00 /kg             | 0,018       |
|            | Subtotal crema          |            |                       | 3,740       |
| Cobertura  | Manzana roja            | 180 g      | 2,20 /kg              | 0,396       |
|            | Manzana verde           | 90 g       | 2,60 /kg              | 0,234       |
|            | Jugo de limón           | 10 ml      | 6,00 /L               | 0,060       |
|            | Canela en polvo         | 1 g        | 18,00 /kg             | 0,018       |
|            | Subtotal cobertura      |            |                       | 0,708       |
| Brillo     | Jugo natural de manzana | 100 ml     | 2,80 /L               | 0,280       |
|            | Agar-agar               | 1 g        | 60,00 /kg             | 0,060       |

| Componente | Ingrediente                       | Cantidad | Precio unitario (USD) | Costo (USD) |
|------------|-----------------------------------|----------|-----------------------|-------------|
|            | Subtotal brillo                   |          |                       | 0,340       |
| TOTAL      | Materia prima por lote            |          |                       | 9,754       |
|            | Costo de materia prima por unidad |          |                       | 0,813       |

*Nota.* Precios referenciales del mercado de Quito, 2026. Elaboración propia.

Dos ingredientes concentran el 62 % del costo de materia prima: la harina de almendra (3,96 USD por lote, 40,6 %) y la D-alulosa (2,28 USD, 23,4 %). Ambos son importados, lo que los expone a variación cambiaria y arancelaria. Este dato orienta el análisis de sensibilidad del apartado 5.3.6 y las recomendaciones de escalado del 5.5.2.

### 5.3.2 Costos variables unitarios

*Tabla 23: Costos variables por unidad producida*

| Concepto                                  | Costo unitario (USD) | Participación |
|-------------------------------------------|----------------------|---------------|
| Materia prima                             | 0,813                | 60,2 %        |
| Mano de obra directa                      | 0,270                | 20,0 %        |
| Envase y etiqueta                         | 0,180                | 13,3 %        |
| Energía de proceso (horno, refrigeración) | 0,060                | 4,4 %         |
| Insumos de limpieza y desechables         | 0,030                | 2,2 %         |
| COSTO VARIABLE UNITARIO (CVu)             | 1,350                | 100 %         |

*Nota.* Elaboración propia (2026). La mano de obra directa se calculó sobre una remuneración de referencia de 482,00 USD mensuales, incrementada en un factor de 1,35 por beneficios de ley (décimo tercero, décimo cuarto, aporte patronal, vacaciones y fondos de reserva), lo que arroja un costo horario de 4,07 USD; se asumió una productividad de 120 unidades por jornada de 8 horas.

### 5.3.3 Costos fijos mensuales

*Tabla 24: Estructura de costos fijos mensuales*

| Concepto                                                       | Costo mensual (USD) |
|----------------------------------------------------------------|---------------------|
| Arriendo de local de producción                                | 350,00              |
| Servicios básicos (componente fijo: agua, energía, internet)   | 95,00               |
| Depreciación de equipos                                        | 90,00               |
| Mano de obra indirecta (administración y ventas, medio tiempo) | 250,00              |

| Concepto                                                    | Costo mensual (USD) |
|-------------------------------------------------------------|---------------------|
| Permisos, registro sanitario y patente (prorrateso mensual) | 35,00               |
| Promoción y gestión de redes                                | 80,00               |
| TOTAL COSTOS FIJOS (CF)                                     | 900,00              |

*Nota.* Elaboración propia (2026).

*Tabla 25: Detalle de la depreciación de equipos (método de línea recta, 5 años)*

| Equipo                               | Valor (USD) | Depreciación mensual (USD) |
|--------------------------------------|-------------|----------------------------|
| Horno de convección                  | 2 200,00    | 36,67                      |
| Refrigerador industrial              | 900,00      | 15,00                      |
| Batidora planetaria                  | 650,00      | 10,83                      |
| Mesón de trabajo en acero inoxidable | 600,00      | 10,00                      |
| Balanza de precisión                 | 420,00      | 7,00                       |
| Balanza granataria                   | 180,00      | 3,00                       |
| Mandolina, moldes y utensilios       | 450,00      | 7,50                       |
| TOTAL                                | 5 400,00    | 90,00                      |

*Nota.* Elaboración propia (2026).

### 5.3.4 Precio de venta y margen de contribución

El precio se fijó por costeo por absorción con margen, contrastado con el rango de mercado. La repostería individual artesanal en Quito se comercializa entre 2,50 y 3,50 USD por porción; los productos de pastelería especializada con atributos diferenciales se sitúan en el extremo superior de ese rango o por encima. Se establece un precio de venta al público de 3,20 USD.

$$\text{MCU} = \text{PVP} - \text{CVu} = 3,20 - 1,35 = 1,85 \text{ USD}$$

$$\text{Índice de contribución} = \text{MCU} / \text{PVP} = 1,85 / 3,20 = 0,5781 = 57,81 \%$$

Cada unidad vendida aporta 1,85 USD a la cobertura de los costos fijos. El margen de contribución representa el 57,81 % del precio, valor situado dentro del rango habitual del sector gastronómico.

### 5.3.5 Punto de equilibrio

PE en unidades =  $CF / (PVP - CV_u) = 900,00 / 1,85 = 486,49 \approx 487$  unidades por mes

PE en dinero =  $CF / (MCU / PVP) = 900,00 / 0,5781 = 1\,556,76$  USD por mes

*Tabla 26: Proyección de costos, ingresos y utilidad*

| Unidades (q) | Costos fijos (USD) | Costos variables (USD) | Costos totales (USD) | Ingresos totales (USD) | Utilidad (USD) |
|--------------|--------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------|
| 0            | 900,00             | 0,00                   | 900,00               | 0,00                   | -900,00        |
| 100          | 900,00             | 135,00                 | 1 035,00             | 320,00                 | -715,00        |
| 200          | 900,00             | 270,00                 | 1 170,00             | 640,00                 | -530,00        |
| 300          | 900,00             | 405,00                 | 1 305,00             | 960,00                 | -345,00        |
| 400          | 900,00             | 540,00                 | 1 440,00             | 1 280,00               | -160,00        |
| 487          | 900,00             | 657,45                 | 1 557,45             | 1 558,40               | 0,95           |
| 600          | 900,00             | 810,00                 | 1 710,00             | 1 920,00               | 210,00         |
| 800          | 900,00             | 1 080,00               | 1 980,00             | 2 560,00               | 580,00         |
| 1 000        | 900,00             | 1 350,00               | 2 250,00             | 3 200,00               | 950,00         |
| 1 200        | 900,00             | 1 620,00               | 2 520,00             | 3 840,00               | 1 320,00       |

*Nota.* Elaboración propia (2026).

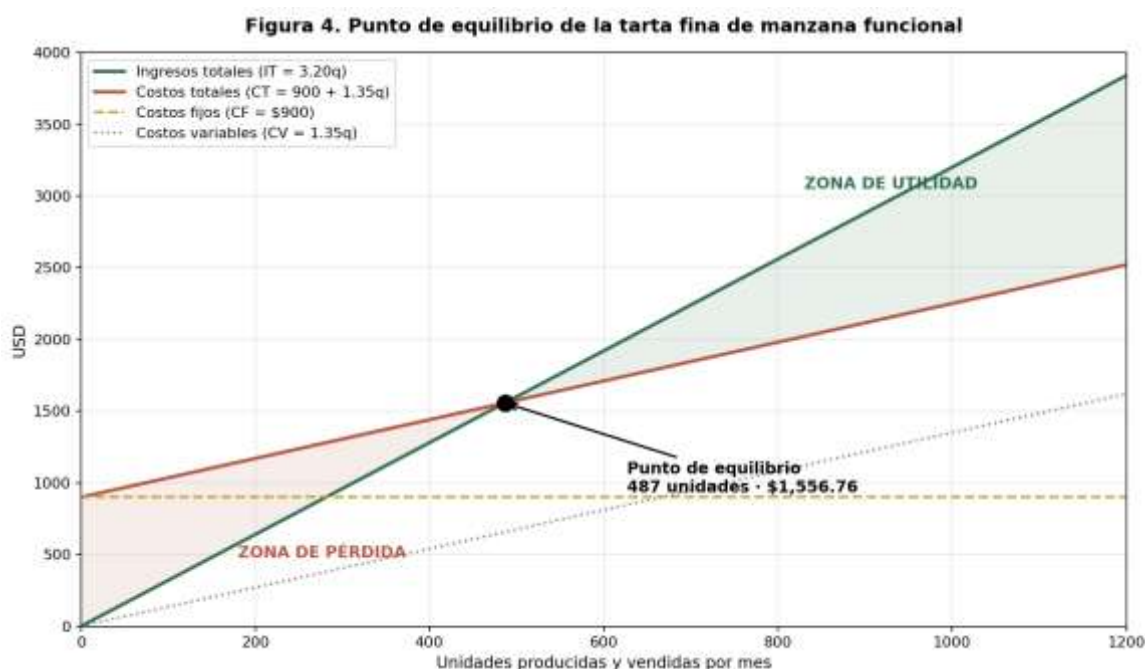


*Ilustración 4: Punto de equilibrio de la tarta fina de manzana funcional.*

*Fuente: Elaboración propia (2026).*

Interpretación. El emprendimiento debe producir y vender 487 unidades mensuales aproximadamente 19 unidades por día en un mes de 26 días laborables, equivalentes a 1,6 lotes diarios para cubrir la totalidad de sus costos sin generar pérdida ni utilidad. Por debajo de ese volumen opera en pérdida; por encima, cada unidad adicional aporta 1,85 USD de utilidad. La producción diaria requerida es alcanzable con la capacidad instalada considerada, lo que sitúa el umbral en un rango operativamente razonable para un emprendimiento gastronómico de escala pequeña.

### 5.3.6 Análisis de sensibilidad al precio de la alulosa

La alulosa representa 0,19 USD por unidad el 14,1 % del costo variable y es el insumo de mayor exposición a variación de precio por su condición de importado y de mercado poco desarrollado.

*Tabla 27: Sensibilidad del punto de equilibrio ante variaciones en el precio de la alulosa*

| Escenario                       | Precio alulosa (USD/kg) | CVu (USD) | MCU (USD) | PE (unidades) | Variación del PE |
|---------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|---------------|------------------|
| Compra por volumen (-20 %)      | 30,40                   | 1,312     | 1,888     | 477           | -2,1 %           |
| Escenario base                  | 38,00                   | 1,350     | 1,850     | 487           |                  |
| Encarecimiento moderado (+25 %) | 47,50                   | 1,398     | 1,803     | 500           | +2,7 %           |
| Encarecimiento severo (+50 %)   | 57,00                   | 1,445     | 1,755     | 513           | +5,3 %           |

*Nota.* Elaboración propia (2026). Se mantienen constantes el precio de venta y los costos fijos.

El punto de equilibrio oscila entre 477 y 513 unidades ante variaciones del precio de la alulosa de entre -20 % y +50 %. Un encarecimiento del 50 % escenario adverso desplaza el umbral apenas 26 unidades mensuales, una unidad adicional por día. La viabilidad del producto es, por tanto, robusta frente a la volatilidad de su insumo más sensible. El factor de riesgo real no está en la alulosa sino en la harina de almendra, que representa el 40,6 % del costo de materia prima.

Este análisis constituye un ejercicio académico de costeo y no un estudio de factibilidad financiera: no incorpora capital de trabajo, impuestos, financiamiento ni proyección de demanda, elementos que un plan de negocio requeriría.

## 5.4 Conclusiones

La revisión sistemática de la literatura indexada permitió caracterizar las propiedades funcionales y tecnológicas de los cuatro sustitutos utilizados, validando la evidencia de sus estudios previos, que se limitaban principalmente a matrices de masa controladas por la aireación y la gelificación del almidón. Solo se encontró un estudio previo sobre masa quebrada, que se centra en la sustitución de la grasa en lugar del azúcar, y estima que incluso un 5% de sustitución está dentro de límites aceptables (Zbikowska et al., 2022). La conclusión que se extrae es que los umbrales de sustitución disponibles en la literatura no son transferibles a las masas quebradas y esto evidencia una verdadera brecha de conocimiento.

Se desarrollaron cuatro tratamientos bajo un diseño de un solo factor en cuatro niveles (0, 50, 75 y 100% de sustitución), manteniendo constante la proporción de la mezcla interna de harina, la proporción del sistema de edulcorantes, la cobertura del topping de manzana y el brillo de agar. Este diseño aisló la variable experimental y cualquier diferencia resultante pudo atribuirse únicamente al grado de reemplazo (el nivel en el que ocurrió el efecto de restauración ambiental).

Los cuatro tratamientos se prepararon con los mismos parámetros de proceso (175 °C durante 28 min) y bajo controles críticos idénticos (cuatro). El horneado se homogeneizó, una decisión metodológica tomada para asegurar que el factor permaneciera aislado, lo que dio lugar a un dorado diferencial debido al aumento de la reactividad de la alulosa en las reacciones de Maillard, hallazgo que se enuncia como conclusión cinco.

Yusuf et al. La prueba hedónica de nueve puntos 60 jueces consumidores (análisis de varianza de un factor con bloques y prueba de Tukey: los cinco atributos difirieron significativamente entre tratamientos con  $p < 0.05$ ). En consecuencia, se rechazan la hipótesis nula principal y las cuatro subhipótesis. La aceptabilidad general fue de  $7.47 \pm 0.98$  para el tratamiento T3, con sustitución total; aunque esto no difirió estadísticamente del control tradicional (control tradicional:  $7.78 \pm 0.96$ ;  $p = 0.245$ ), superó significativamente en aroma (T3: 7.82 frente a control tradicional: 7.27;  $p = 0.007$ ). En cambio, el tratamiento intermedio T2 mostró la menor aceptabilidad, según comparaciones pareadas múltiples ( $6.98 \pm 0.89$  LSM), lo que dio lugar a una respuesta no monótona en forma de U durante todo el estudio.

El análisis económico encontró un costo variable unitario de 1.35 USD, un precio de venta igual a 3.20 USD, un margen de contribución de 1.85 USD por unidad vendida y un punto de equilibrio de 487 unidades/mes, o en otras palabras—por ingresos—de aproximadamente 1,556.76 USD. Además, un cambio de precio entre  $-20\%$  y  $+50\%$  produce variaciones en el punto de equilibrio que oscilan entre apenas 477 y 513 unidades, con un valor

mediano en +10% (en relación con el precio ideal), confirmando que estos resultados son robustos frente a esta entrada más volátil.

Se concluyó que la sustitución total de la harina de trigo, la sacarosa y la mantequilla para el desarrollo de una tarta fina de manzana es viable técnica, sensorial y económicamente, ya que no se encontró una pérdida estadísticamente significativa de la aceptabilidad global en comparación con el producto tradicional. El color ( $6.10 \pm 1.02$ ) fue el atributo limitante, y su causa—es decir, un dorado excesivo como resultado del tiempo-temperatura al valor más alto de sacarosa:solvente, a lo largo de un binomial calibrado—se identificó y puede corregirse mediante el ajuste del proceso (no mediante reformulación). En consecuencia, ¿constituye una alternativa válida en términos de repostería tipo snack y, por tanto, para promover una alimentación saludable tal como se establece expresamente en la definición que dio origen a esta clasificación en virtud de la sección 2.3.13, mediante la cual los consumidores pueden seleccionar preferentemente esto en lugar de estar restringidos?

## 5.5 Recomendaciones

### 5.5.1 Para investigaciones futuras

- **Optimizar el binomio tiempo-temperatura de horneado.** Es la línea de mayor retorno inmediato. Se recomienda un diseño factorial que cruce temperatura (160, 165, 170 y 175 °C) con tiempo (24, 26, 28 y 30 min) sobre la formulación T3, con medición instrumental de color en el espacio CIELab y cálculo del índice de pardeamiento, contrastados contra evaluación sensorial.
- **Explorar el rango de sustitución entre 0 y 50 %.** El presente estudio dejó ese intervalo sin examinar. Dado que la respuesta resultó no monótona, la forma de la curva en el rango bajo es desconocida y podría revelar un óptimo distinto al identificado.

- **Verificar experimentalmente la hipótesis de la matriz híbrida.** El comportamiento en U observado sugiere que las formulaciones intermedias operan con dos sistemas estructurales a medio construir. Esta interpretación requiere verificación mediante caracterización instrumental de textura y microscopía de la matriz en los cuatro tratamientos.
- **Determinar la vida útil y el perfil microbiológico** mediante estudio acelerado con seguimiento de actividad de agua, humedad, textura instrumental y recuento microbiológico.
- **Realizar análisis bromatológico.** El valor nutricional declarado es teórico. Un análisis proximal en laboratorio acreditado es requisito ineludible para cualquier declaración comercial.
- **Verificar la integridad funcional del  $\beta$ -glucano,** cuantificando su contenido y peso molecular en el producto horneado, para determinar si el procesamiento térmico preservó la funcionalidad fisiológica documentada por Zurbau et al. (2021).
- **Evaluar el brillo de agar como variable.** Constituye el vacío de literatura más nítido identificado en este trabajo. Se recomienda un estudio comparativo entre el brillo de agar y el nappage comercial convencional, con medición de brillo superficial, pérdida de humedad de la fruta y aceptación visual.
- **Complementar con análisis descriptivo cuantitativo.** Un panel entrenado permitiría caracterizar analíticamente las diferencias que el panel afectivo solo puede valorar, y verificar si el aroma superior de T3 corresponde efectivamente a los compuestos de Maillard que Xie et al. (2024) documentaron.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Arshad, S., Rehman, T., Saif, S., Rajoka, M. S. R., Ranjha, M. M. A. N., Hassoun, A.,  
Cropotova, J., Trif, M., Younas, A., y Aadil, R. M. (2022). Replacement of refined

- sugar by natural sweeteners: Focus on potential health benefits. *Heliyon*, 8(9), e10711. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10711>
- Bobbio Gonzáles, P. A., Azañedo, D., y Hernández-Vásquez, A. (2023). Socioeconomic and demographic factors associated with the influence of the food traffic light labeling on the decision of the adult population of Ecuador to purchase processed foods, 2018. *Nutrients*, 15(4), 885. <https://doi.org/10.3390/nu15040885>
- Brite, E. B. (2021). The origins of the apple in Central Asia. *Journal of World Prehistory*, 34(2), 159–193. <https://doi.org/10.1007/s10963-021-09154-8>
- Caferoglu, Z., Aytekin Sahin, G., Gonulalan, Z., y Hatipoglu, N. (2022). Effects of whole-grain barley and oat  $\beta$ -glucans on postprandial glycemia and appetite: A randomized controlled crossover trial. *Food & Function*, 13(19), 10225–10234. <https://doi.org/10.1039/D2FO01717B>
- Cornille, A., Antolín, F., Garcia, E., Vernesi, C., Fietta, A., Brinkkemper, O., Kirleis, W., Schlumbaum, A., y Roldán-Ruiz, I. (2019). A multifaceted overview of apple tree domestication. *Trends in Plant Science*, 24(8), 770–782. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.05.007>
- Cornille, A., Gladieux, P., Smulders, M. J. M., Roldán-Ruiz, I., Laurens, F., Le Cam, B., Nersesyan, A., Clavel, J., Olonova, M., Feugey, L., Gabrielyan, I., Zhang, X.-G., Tenaillon, M. I., y Giraud, T. (2012). New insight into the history of domesticated apple: Secondary contribution of the European wild apple to the genome of cultivated varieties. *PLoS Genetics*, 8(5), e1002703. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1002703>
- Duan, N., Bai, Y., Sun, H., Wang, N., Ma, Y., Li, M., Wang, X., Jiao, C., Legall, N., Mao, L., Wan, S., Wang, K., He, T., Feng, S., Zhang, Z., Mao, Z., Shen, X., Chen, X., Jiang, Y., y Chen, X. (2017). Genome re-sequencing reveals the history of apple and

- supports a two-stage model for fruit enlargement. *Nature Communications*, 8(1), 249.  
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-00336-7>
- Gillespie, R., y Ahlborn, G. J. (2021). Mechanical, sensory, and consumer evaluation of ketogenic, gluten-free breads. *Food Science & Nutrition*, 9(6), 3327–3335.  
<https://doi.org/10.1002/fsn3.2308>
- Gisslen, W. (2017). *Professional baking* (7.<sup>a</sup> ed.). Wiley.
- Hopkin, L., Broadbent, H., y Ahlborn, G. J. (2022). Influence of almond and coconut flours on ketogenic, gluten-free cupcakes. *Food Chemistry: X*, 13, 100182.  
<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100182>
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. (s.f.). *Manual del cultivo de manzano (Malus domestica B.) para los valles interandinos temperados del Ecuador*. Repositorio INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/>
- International Organization for Standardization. (2007). *Sensory analysis General guidance for the design of test rooms* (ISO 8589:2007).
- International Organization for Standardization. (2014). *Sensory analysis Methodology General guidance for conducting hedonic tests with consumers in a controlled area* (ISO 11136:2014). <https://www.iso.org/standard/50125.html>
- Karatay, G. G. B., Rebellato, A. P., Steel, C. J., y Hubinger, M. D. (2022). Chickpea aquafaba-based emulsions as a fat replacer in pound cake: Impact on cake properties and sensory analysis. *Foods*, 11(16), 2484. <https://doi.org/10.3390/foods11162484>
- Lee, P., Oh, H., Kim, S. Y., y Kim, Y. S. (2020). Effects of d-allulose as a sucrose substitute on the physicochemical, textural, and sensorial properties of pound cakes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(9), e14472. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14472>
- Lim, J. (2011). Hedonic scaling: A review of methods and theory. *Food Quality and Preference*, 22(8), 733–747. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.05.008>

- Ministerio de Salud Pública del Ecuador, Instituto Nacional de Estadística y Censos y Organización Panamericana de la Salud. (2018). *Encuesta STEPS Ecuador 2018: Vigilancia de enfermedades no transmisibles y factores de riesgo*. MSP.  
<https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/INFORME-STEPS.pdf>
- Mintz, S. W. (1985). *Sweetness and power: The place of sugar in modern history*. Viking.
- Mudge, K., Janick, J., Scofield, S., y Goldschmidt, E. E. (2009). A history of grafting. *Horticultural Reviews*, 35, 437–493. <https://doi.org/10.1002/9780470593776.ch9>
- Rice, T., Zannini, E., Arendt, E. K., y Coffey, A. (2020). A review of polyols – Biotechnological production, food applications, regulation, labeling and health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(12), 2034–2051.  
<https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1625859>
- Richardson, A. M., Tyuftin, A. A., Kilcawley, K. N., Gallagher, E., O’Sullivan, M. G., y Kerry, J. P. (2021). The application of pureed butter beans and a combination of inulin and rebaudioside A for the replacement of fat and sucrose in sponge cake: Sensory and physicochemical analysis. *Foods*, 10(2), 254.  
<https://doi.org/10.3390/foods10020254>
- Sahin, A. W., Zannini, E., Coffey, A., y Arendt, E. K. (2019). Sugar reduction in bakery products: Current strategies and sourdough technology as a potential novel approach. *Food Research International*, 126, 108583.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108583>
- Sarasty, O., Carpio, C., y Cabrera, T. (2023). Effect of the traffic-light system on nutrition labeling in processed food products in the Ecuadorian population. *Q Open*, 3(2), qoad018. <https://doi.org/10.1093/qopen/qoad018>
- Suez, J., Cohen, Y., Valdés-Mas, R., Mor, U., Dori-Bachash, M., Federici, S., Zmora, N., Leshem, A., Heinemann, M., Linevsky, R., Zur, M., Ben-Zeev Brik, R., Bukimer, A.,

- Eliyahu-Miller, S., Metz, A., Fischbein, R., Sharov, O., Malitsky, S., Itkin, M., y Elinav, E. (2022). Personalized microbiome-driven effects of non-nutritive sweeteners on human glucose tolerance. *Cell*, 185(18), 3307–3328.e19. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.07.016>
- Wheaton, B. K. (1983). *Savoring the past: The French kitchen and table from 1300 to 1789*. University of Pennsylvania Press.
- Xie, Y., Zhang, Y., Chen, D., y Liu, J. (2024). Low-calorie d-allulose as a sucrose alternative modulates the physicochemical properties and volatile profile of sponge cake. *Journal of Food Science*, 89(10), 6191–6207. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17340>
- Zbikowska, A., Kowalska, M., Zbikowska, K., Onacik-Gür, S., Łempicka, U., y Turek, P. (2022). Study on the incorporation of oat and yeast  $\beta$ -glucan into shortbread biscuits as a basis for designing healthier and high quality food products. *Molecules*, 27(4), 1393. <https://doi.org/10.3390/molecules27041393>
- Zurbau, A., Noronha, J. C., Khan, T. A., Sievenpiper, J. L., y Wolever, T. M. S. (2021). The effect of oat  $\beta$ -glucan on postprandial blood glucose and insulin responses: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Clinical Nutrition*, 75(11), 1540–1554. <https://doi.org/10.1038/s41430-021-00875-9>

## ANEXOS

### Anexo 1. Ficha de evaluación sensorial (escala hedónica de 9 puntos)

Instrucciones para el juez. Frente a usted se presentan cuatro muestras de tarta fina de manzana, identificadas con códigos de tres dígitos. Evalúelas de izquierda a derecha en el orden en que se le han servido. Antes de cada muestra, beba un sorbo de agua y consuma un trozo de galleta neutra; espere 30 segundos. Marque con una X la casilla que mejor represente su grado de agrado para cada atributo. No hay respuestas correctas ni incorrectas: nos interesa exclusivamente su opinión personal. Por favor, no converse con otros participantes durante la evaluación.

Fecha: \_\_\_\_\_ Sesión: \_\_\_\_\_ Código de juez: \_\_\_\_\_

Escala: 9 = me gusta extremadamente · 8 = me gusta mucho · 7 = me gusta moderadamente · 6 = me gusta poco · 5 = ni me gusta ni me disgusta · 4 = me disgusta poco · 3 = me disgusta moderadamente · 2 = me disgusta mucho · 1 = me disgusta extremadamente

| Atributo             | Muestra ____ | Muestra ____ | Muestra ____ | Muestra ____ |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Color                |              |              |              |              |
| Olor                 |              |              |              |              |
| Sabor                |              |              |              |              |
| Textura              |              |              |              |              |
| Aceptabilidad global |              |              |              |              |

Comentarios (opcional):

---

---

---

## Anexo 2. Base de datos del análisis sensorial

| Juez | Color |    |    |    | Olor |    |    |    | Sabor |    |    |    | Textura |    |    |    | Aceptabilidad global |    |    |    |
|------|-------|----|----|----|------|----|----|----|-------|----|----|----|---------|----|----|----|----------------------|----|----|----|
|      | Tc    | T1 | T2 | T3 | Tc   | T1 | T2 | T3 | Tc    | T1 | T2 | T3 | Tc      | T1 | T2 | T3 | Tc                   | T1 | T2 | T3 |
| J01  | 8     | 8  | 8  | 5  | 8    | 7  | 8  | 8  | 7     | 8  | 6  | 9  | 7       | 7  | 7  | 8  | 8                    | 8  | 5  | 6  |
| J02  | 8     | 7  | 7  | 7  | 6    | 7  | 8  | 9  | 7     | 8  | 7  | 9  | 8       | 6  | 7  | 6  | 7                    | 7  | 7  | 8  |
| J03  | 7     | 6  | 5  | 6  | 6    | 5  | 7  | 7  | 8     | 7  | 6  | 7  | 6       | 7  | 8  | 6  | 6                    | 6  | 6  | 6  |
| J04  | 8     | 8  | 6  | 6  | 7    | 6  | 7  | 6  | 7     | 6  | 6  | 7  | 7       | 7  | 6  | 7  | 8                    | 6  | 6  | 5  |
| J05  | 9     | 7  | 9  | 7  | 9    | 9  | 8  | 7  | 9     | 8  | 9  | 8  | 8       | 7  | 7  | 8  | 7                    | 8  | 7  | 8  |
| J06  | 8     | 7  | 8  | 7  | 7    | 8  | 7  | 8  | 7     | 6  | 7  | 8  | 9       | 8  | 6  | 7  | 8                    | 7  | 7  | 7  |
| J07  | 8     | 6  | 7  | 7  | 7    | 8  | 8  | 9  | 9     | 8  | 9  | 9  | 8       | 7  | 8  | 7  | 9                    | 8  | 6  | 9  |
| J08  | 8     | 7  | 5  | 4  | 7    | 7  | 7  | 8  | 7     | 7  | 7  | 7  | 8       | 6  | 7  | 8  | 8                    | 6  | 7  | 7  |
| J09  | 7     | 5  | 6  | 6  | 7    | 8  | 6  | 8  | 8     | 7  | 9  | 9  | 7       | 8  | 7  | 7  | 7                    | 6  | 7  | 7  |
| J10  | 7     | 7  | 7  | 6  | 7    | 7  | 6  | 7  | 7     | 6  | 5  | 6  | 7       | 7  | 7  | 7  | 7                    | 7  | 5  | 7  |
| J11  | 8     | 9  | 7  | 7  | 9    | 7  | 8  | 8  | 7     | 8  | 8  | 9  | 8       | 6  | 7  | 7  | 8                    | 8  | 7  | 7  |
| J12  | 9     | 7  | 6  | 6  | 8    | 8  | 7  | 8  | 7     | 7  | 6  | 8  | 8       | 7  | 6  | 7  | 9                    | 8  | 7  | 8  |
| J13  | 9     | 7  | 7  | 7  | 9    | 9  | 9  | 9  | 8     | 9  | 9  | 9  | 9       | 8  | 8  | 9  | 9                    | 8  | 8  | 9  |
| J14  | 8     | 9  | 8  | 6  | 8    | 8  | 8  | 8  | 8     | 7  | 9  | 8  | 8       | 8  | 6  | 8  | 8                    | 8  | 7  | 7  |
| J15  | 9     | 7  | 8  | 7  | 9    | 7  | 8  | 9  | 9     | 7  | 8  | 8  | 9       | 8  | 8  | 7  | 9                    | 9  | 8  | 9  |
| J16  | 8     | 6  | 6  | 7  | 8    | 9  | 9  | 8  | 8     | 8  | 8  | 7  | 9       | 9  | 7  | 8  | 9                    | 8  | 7  | 8  |
| J17  | 8     | 7  | 7  | 6  | 7    | 8  | 8  | 9  | 7     | 8  | 7  | 9  | 9       | 7  | 8  | 8  | 7                    | 6  | 7  | 8  |
| J18  | 8     | 8  | 7  | 7  | 8    | 8  | 9  | 9  | 7     | 8  | 9  | 9  | 8       | 6  | 7  | 8  | 8                    | 7  | 7  | 7  |
| J19  | 8     | 8  | 7  | 8  | 8    | 8  | 8  | 9  | 9     | 8  | 8  | 8  | 8       | 7  | 8  | 9  | 8                    | 7  | 7  | 6  |
| J20  | 8     | 8  | 6  | 6  | 7    | 6  | 8  | 8  | 8     | 6  | 7  | 7  | 8       | 6  | 6  | 8  | 8                    | 7  | 7  | 6  |
| J21  | 5     | 7  | 7  | 7  | 6    | 7  | 6  | 6  | 7     | 7  | 7  | 8  | 7       | 5  | 5  | 7  | 6                    | 6  | 6  | 8  |
| J22  | 6     | 7  | 7  | 5  | 7    | 7  | 8  | 7  | 7     | 7  | 6  | 6  | 7       | 7  | 6  | 7  | 8                    | 7  | 7  | 8  |

|     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| J23 | 8 | 6 | 9 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 | 8 | 8 | 7 | 6 | 7 | 9 | 6 | 8 | 8 |
| J24 | 7 | 6 | 7 | 5 | 6 | 7 | 8 | 7 | 7 | 6 | 9 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 8 |
| J25 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 9 | 8 | 7 | 6 | 8 | 9 | 7 | 7 | 7 | 7 | 9 | 7 | 6 | 7 |
| J26 | 9 | 6 | 6 | 7 | 9 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 9 |
| J27 | 8 | 8 | 7 | 6 | 8 | 9 | 8 | 8 | 9 | 7 | 9 | 8 | 7 | 7 | 8 | 7 | 8 | 9 | 7 | 9 |
| J28 | 8 | 7 | 7 | 6 | 7 | 8 | 8 | 9 | 8 | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 | 9 | 8 | 7 | 8 |
| J29 | 7 | 6 | 6 | 7 | 6 | 7 | 8 | 7 | 7 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 |
| J30 | 8 | 8 | 7 | 4 | 7 | 7 | 8 | 9 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 | 9 | 8 | 8 |
| J31 | 8 | 6 | 6 | 7 | 6 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 6 | 6 |
| J32 | 9 | 9 | 8 | 6 | 8 | 9 | 9 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | 7 | 9 | 8 | 8 | 7 | 8 |
| J33 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 | 8 | 9 | 8 | 6 | 9 | 7 | 8 | 7 | 7 | 8 |
| J34 | 7 | 7 | 6 | 5 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 5 | 7 | 8 | 8 | 9 | 8 |
| J35 | 8 | 8 | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | 7 | 8 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 |
| J36 | 9 | 9 | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 | 8 | 9 | 9 | 8 | 7 | 9 | 9 | 8 | 8 | 8 |
| J37 | 6 | 6 | 6 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 9 | 7 |
| J38 | 9 | 9 | 8 | 7 | 8 | 9 | 8 | 9 | 7 | 7 | 9 | 7 | 8 | 8 | 9 | 7 | 8 | 8 | 8 | 9 |
| J39 | 7 | 8 | 6 | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 8 | 7 | 7 | 6 | 7 | 8 | 8 | 7 | 9 |
| J40 | 6 | 9 | 6 | 7 | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 5 | 7 | 7 | 7 |
| J41 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 8 | 8 | 8 | 7 | 5 | 7 | 7 | 9 | 7 | 8 | 9 | 8 | 8 | 6 | 8 |
| J42 | 8 | 7 | 8 | 4 | 6 | 6 | 6 | 7 | 6 | 7 | 7 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 | 6 |
| J43 | 9 | 9 | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 6 | 8 | 8 | 9 | 7 | 8 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 |
| J44 | 9 | 9 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 9 | 8 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 | 8 | 8 | 7 |
| J45 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 | 9 | 7 | 9 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 6 | 8 | 6 |
| J46 | 9 | 8 | 7 | 6 | 7 | 8 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 6 | 7 | 7 | 8 | 6 | 8 |
| J47 | 8 | 8 | 7 | 6 | 7 | 7 | 8 | 9 | 7 | 6 | 9 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 9 | 8 | 8 | 8 |
| J48 | 9 | 6 | 7 | 4 | 7 | 8 | 9 | 7 | 9 | 8 | 7 | 8 | 9 | 8 | 8 | 7 | 9 | 7 | 8 | 8 |
| J49 | 8 | 9 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 9 | 8 | 8 | 8 | 7 | 6 | 7 | 7 | 8 | 7 | 8 |
| J50 | 6 | 5 | 5 | 4 | 8 | 6 | 6 | 7 | 8 | 5 | 5 | 6 | 9 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| J51 | 7 | 8 | 6 | 6 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 | 6 | 8 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 | 8 | 6 | 6 | 7 |

|            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <b>J52</b> | 8 | 7 | 7 | 6 | 8 | 8 | 9 | 7 | 9 | 8 | 7 | 8 | 8 | 9 | 9 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 |
| <b>J53</b> | 6 | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 5 | 7 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 |
| <b>J54</b> | 9 | 9 | 7 | 6 | 7 | 7 | 8 | 8 | 9 | 7 | 7 | 8 | 9 | 9 | 8 | 8 | 8 | 9 | 8 | 9 |
| <b>J55</b> | 7 | 6 | 6 | 4 | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 5 | 5 | 6 | 8 | 6 | 5 | 6 |
| <b>J56</b> | 8 | 6 | 7 | 6 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | 6 | 9 | 7 | 7 | 7 | 8 | 7 | 7 | 7 |
| <b>J57</b> | 9 | 7 | 5 | 6 | 9 | 9 | 8 | 9 | 9 | 8 | 9 | 7 | 8 | 8 | 7 | 7 | 9 | 8 | 8 | 7 |
| <b>J58</b> | 8 | 6 | 6 | 6 | 8 | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 | 6 | 7 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 |
| <b>J59</b> | 8 | 8 | 6 | 5 | 8 | 8 | 7 | 8 | 7 | 9 | 8 | 8 | 8 | 7 | 8 | 8 | 9 | 8 | 6 | 8 |
| <b>J60</b> | 8 | 7 | 7 | 6 | 8 | 8 | 9 | 8 | 9 | 8 | 8 | 7 | 7 | 8 | 6 | 7 | 8 | 8 | 7 | 7 |

### Anexo 3. Salidas del software estadístico

C:\Users\Usuario\Downloads\Datos\_InfoStat.xlsx : 17/8/2026 - 8:10:28 -  
[Versión : 30/4/2020]

#### Análisis de la varianza

##### COLOR

| Variable | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| COLOR    | 240 | 0,64           | 0,51              | 11,91 |

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC     | gl  | CM    | F     | p-valor |
|--------|--------|-----|-------|-------|---------|
| Modelo | 214,77 | 62  | 3,46  | 4,98  | <0,0001 |
| JUEZ   | 113,48 | 59  | 1,92  | 2,76  | <0,0001 |
| TRAT   | 101,28 | 3   | 33,76 | 48,50 | <0,0001 |
| Error  | 123,22 | 177 | 0,70  |       |         |
| Total  | 337,98 | 239 |       |       |         |

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,41305

Error: 0,6961 gl: 177

| JUEZ | Medias | n | E.E. |       |
|------|--------|---|------|-------|
| J50  | 5,00   | 4 | 0,42 | A     |
| J53  | 5,75   | 4 | 0,42 | A B   |
| J55  | 5,75   | 4 | 0,42 | A B   |
| J37  | 5,75   | 4 | 0,42 | A B   |
| J08  | 6,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J09  | 6,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J03  | 6,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J22  | 6,25   | 4 | 0,42 | A B C |
| J24  | 6,25   | 4 | 0,42 | A B C |
| J34  | 6,25   | 4 | 0,42 | A B C |
| J48  | 6,50   | 4 | 0,42 | A B C |
| J29  | 6,50   | 4 | 0,42 | A B C |
| J58  | 6,50   | 4 | 0,42 | A B C |
| J21  | 6,50   | 4 | 0,42 | A B C |
| J30  | 6,75   | 4 | 0,42 | A B C |
| J31  | 6,75   | 4 | 0,42 | A B C |
| J57  | 6,75   | 4 | 0,42 | A B C |
| J56  | 6,75   | 4 | 0,42 | A B C |
| J51  | 6,75   | 4 | 0,42 | A B C |
| J59  | 6,75   | 4 | 0,42 | A B C |
| J42  | 6,75   | 4 | 0,42 | A B C |
| J10  | 6,75   | 4 | 0,42 | A B C |
| J16  | 6,75   | 4 | 0,42 | A B C |
| J35  | 7,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J52  | 7,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J07  | 7,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J04  | 7,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J40  | 7,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J39  | 7,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J12  | 7,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J20  | 7,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J25  | 7,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J28  | 7,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J26  | 7,00   | 4 | 0,42 | A B C |
| J17  | 7,00   | 4 | 0,42 | A B C |

|     |      |   |      |   |   |   |
|-----|------|---|------|---|---|---|
| J23 | 7,00 | 4 | 0,42 | A | B | C |
| J60 | 7,00 | 4 | 0,42 | A | B | C |
| J47 | 7,25 | 4 | 0,42 | A | B | C |
| J01 | 7,25 | 4 | 0,42 | A | B | C |
| J02 | 7,25 | 4 | 0,42 | A | B | C |
| J41 | 7,25 | 4 | 0,42 | A | B | C |
| J27 | 7,25 | 4 | 0,42 | A | B | C |
| J46 | 7,50 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J18 | 7,50 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J33 | 7,50 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J13 | 7,50 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J06 | 7,50 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J44 | 7,50 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J15 | 7,75 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J54 | 7,75 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J19 | 7,75 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J14 | 7,75 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J49 | 7,75 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J11 | 7,75 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J05 | 8,00 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J32 | 8,00 | 4 | 0,42 |   | B | C |
| J43 | 8,25 | 4 | 0,42 |   |   | C |
| J45 | 8,25 | 4 | 0,42 |   |   | C |
| J38 | 8,25 | 4 | 0,42 |   |   | C |
| J36 | 8,25 | 4 | 0,42 |   |   | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,39200

Error: 0,6961 gl: 177

TRAT Medias n E.E.

|    |      |    |      |   |
|----|------|----|------|---|
| T3 | 6,10 | 60 | 0,11 | A |
| T2 | 6,78 | 60 | 0,11 | B |
| T1 | 7,28 | 60 | 0,11 | C |
| Tc | 7,87 | 60 | 0,11 | D |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

#### OLOR

| Variable | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> | Aj   | CV |
|----------|-----|----------------|----------------|------|----|
| OLOR     | 240 | 0,62           | 0,48           | 8,96 |    |

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC     | gl  | CM   | F    | p-valor |
|--------|--------|-----|------|------|---------|
| Modelo | 129,53 | 62  | 2,09 | 4,60 | <0,0001 |
| JUEZ   | 119,15 | 59  | 2,02 | 4,45 | <0,0001 |
| TRAT   | 10,38  | 3   | 3,46 | 7,62 | 0,0001  |
| Error  | 80,37  | 177 | 0,45 |      |         |
| Total  | 209,90 | 239 |      |      |         |

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,94886

Error: 0,4541 gl: 177

JUEZ Medias n E.E.

|     |      |   |      |   |
|-----|------|---|------|---|
| J40 | 6,00 | 4 | 0,34 | A |
| J21 | 6,25 | 4 | 0,34 | A |
| J03 | 6,25 | 4 | 0,34 | A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,31659

Error: 0,4541 gl: 177

| TRAT | Medias | n  | E.E. |     |
|------|--------|----|------|-----|
| Tc   | 7,27   | 60 | 0,09 | A   |
| T1   | 7,40   | 60 | 0,09 | A B |
| T2   | 7,60   | 60 | 0,09 | B C |
| T3   | 7,82   | 60 | 0,09 | C   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

#### SABOR

| Variable | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| SABOR    | 240 | 0,55           | 0,39              | 10,48 |

#### Cuadro de Analisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC     | gl  | CM   | F    | p-valor |
|--------|--------|-----|------|------|---------|
| Modelo | 132,63 | 62  | 2,14 | 3,46 | <0,0001 |
| JUEZ   | 123,25 | 59  | 2,09 | 3,38 | <0,0001 |
| TRAT   | 9,38   | 3   | 3,13 | 5,06 | 0,0022  |
| Error  | 109,37 | 177 | 0,62 |      |         |
| Total  | 242,00 | 239 |      |      |         |

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,27344

Error: 0,6179 gl: 177

| JUEZ | Medias | n | E.E. |       |
|------|--------|---|------|-------|
| J37  | 6,00   | 4 | 0,39 | A     |
| J50  | 6,00   | 4 | 0,39 | A     |
| J10  | 6,00   | 4 | 0,39 | A     |
| J31  | 6,25   | 4 | 0,39 | A B   |
| J53  | 6,25   | 4 | 0,39 | A B   |
| J29  | 6,50   | 4 | 0,39 | A B C |
| J41  | 6,50   | 4 | 0,39 | A B C |
| J39  | 6,50   | 4 | 0,39 | A B C |
| J22  | 6,50   | 4 | 0,39 | A B C |
| J04  | 6,50   | 4 | 0,39 | A B C |
| J42  | 7,00   | 4 | 0,39 | A B C |
| J40  | 7,00   | 4 | 0,39 | A B C |
| J20  | 7,00   | 4 | 0,39 | A B C |
| J06  | 7,00   | 4 | 0,39 | A B C |
| J08  | 7,00   | 4 | 0,39 | A B C |
| J51  | 7,00   | 4 | 0,39 | A B C |
| J03  | 7,00   | 4 | 0,39 | A B C |
| J12  | 7,00   | 4 | 0,39 | A B C |
| J24  | 7,25   | 4 | 0,39 | A B C |
| J58  | 7,25   | 4 | 0,39 | A B C |
| J26  | 7,25   | 4 | 0,39 | A B C |
| J55  | 7,25   | 4 | 0,39 | A B C |
| J34  | 7,25   | 4 | 0,39 | A B C |
| J47  | 7,25   | 4 | 0,39 | A B C |
| J21  | 7,25   | 4 | 0,39 | A B C |
| J43  | 7,50   | 4 | 0,39 | A B C |
| J30  | 7,50   | 4 | 0,39 | A B C |
| J38  | 7,50   | 4 | 0,39 | A B C |
| J01  | 7,50   | 4 | 0,39 | A B C |
| J25  | 7,50   | 4 | 0,39 | A B C |

|     |      |   |      |   |   |   |
|-----|------|---|------|---|---|---|
| J16 | 7,75 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J17 | 7,75 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J54 | 7,75 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J02 | 7,75 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J56 | 7,75 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J28 | 7,75 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J23 | 7,75 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J60 | 8,00 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J46 | 8,00 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J52 | 8,00 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J48 | 8,00 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J49 | 8,00 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J11 | 8,00 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J33 | 8,00 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J35 | 8,00 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J59 | 8,00 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J14 | 8,00 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J32 | 8,00 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J15 | 8,00 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J57 | 8,25 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J44 | 8,25 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J18 | 8,25 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J19 | 8,25 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J27 | 8,25 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J09 | 8,25 | 4 | 0,39 | A | B | C |
| J05 | 8,50 | 4 | 0,39 |   | B | C |
| J45 | 8,50 | 4 | 0,39 |   | B | C |
| J07 | 8,75 | 4 | 0,39 |   |   | C |
| J36 | 8,75 | 4 | 0,39 |   |   | C |
| J13 | 8,75 | 4 | 0,39 |   |   | C |

Medias con una letra comun no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,36932

Error: 0,6179 gl: 177

TRAT Medias n E.E.

|    |      |    |      |     |
|----|------|----|------|-----|
| T1 | 7,18 | 60 | 0,10 | A   |
| T2 | 7,50 | 60 | 0,10 | A B |
| Tc | 7,65 | 60 | 0,10 | B   |
| T3 | 7,68 | 60 | 0,10 | B   |

Medias con una letra comun no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

#### TEXTURA

| Variable | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|----------|-----|----------------|-------------------|------|
| TEXTURA  | 240 | 0,56           | 0,41              | 9,46 |

#### Cuadro de Analisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC     | gl  | CM   | F     | p-valor |
|--------|--------|-----|------|-------|---------|
| Modelo | 110,86 | 62  | 1,79 | 3,70  | <0,0001 |
| JUEZ   | 89,05  | 59  | 1,51 | 3,13  | <0,0001 |
| TRAT   | 21,81  | 3   | 7,27 | 15,06 | <0,0001 |
| Error  | 85,44  | 177 | 0,48 |       |         |
| Total  | 196,30 | 239 |      |       |         |

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,00935

Error: 0,4827 gl: 177

| JUEZ | Medias | n | E.E. |   |   |   |   |
|------|--------|---|------|---|---|---|---|
| J55  | 5,75   | 4 | 0,35 | A |   |   |   |
| J21  | 6,00   | 4 | 0,35 | A | B |   |   |
| J53  | 6,25   | 4 | 0,35 | A | B | C |   |
| J34  | 6,50   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J24  | 6,50   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J03  | 6,75   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J29  | 6,75   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J02  | 6,75   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J22  | 6,75   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J39  | 6,75   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J26  | 6,75   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J04  | 6,75   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J49  | 7,00   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J46  | 7,00   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J20  | 7,00   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J23  | 7,00   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J12  | 7,00   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J11  | 7,00   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J10  | 7,00   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J37  | 7,00   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J25  | 7,00   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J50  | 7,00   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J31  | 7,00   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J60  | 7,00   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J42  | 7,25   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J40  | 7,25   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J27  | 7,25   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J09  | 7,25   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J08  | 7,25   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J01  | 7,25   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J47  | 7,25   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J18  | 7,25   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J51  | 7,25   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J57  | 7,50   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J56  | 7,50   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J06  | 7,50   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J30  | 7,50   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J07  | 7,50   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J14  | 7,50   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J05  | 7,50   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J33  | 7,50   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J28  | 7,75   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J44  | 7,75   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J58  | 7,75   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J59  | 7,75   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J35  | 7,75   | 4 | 0,35 | A | B | C | D |
| J17  | 8,00   | 4 | 0,35 |   | B | C | D |
| J15  | 8,00   | 4 | 0,35 |   | B | C | D |
| J45  | 8,00   | 4 | 0,35 |   | B | C | D |
| J38  | 8,00   | 4 | 0,35 |   | B | C | D |
| J43  | 8,00   | 4 | 0,35 |   | B | C | D |
| J48  | 8,00   | 4 | 0,35 |   | B | C | D |
| J19  | 8,00   | 4 | 0,35 |   | B | C | D |
| J41  | 8,25   | 4 | 0,35 |   |   | C | D |
| J32  | 8,25   | 4 | 0,35 |   |   | C | D |
| J16  | 8,25   | 4 | 0,35 |   |   | C | D |

|     |      |   |      |   |   |
|-----|------|---|------|---|---|
| J36 | 8,25 | 4 | 0,35 | C | D |
| J52 | 8,50 | 4 | 0,35 |   | D |
| J54 | 8,50 | 4 | 0,35 |   | D |
| J13 | 8,50 | 4 | 0,35 |   | D |

Medias con una letra comun no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,32642  
 Error: 0,4827 gl: 177  
 TRAT Medias n E.E.

|    |      |    |      |   |
|----|------|----|------|---|
| T2 | 7,08 | 60 | 0,09 | A |
| T1 | 7,15 | 60 | 0,09 | A |
| T3 | 7,30 | 60 | 0,09 | A |
| Tc | 7,85 | 60 | 0,09 | B |

Medias con una letra comun no son significativamente diferentes (p > 0,05)

# GLOBAL

| Variable | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|-----|----------------|-------------------|-------|
| GLOBAL   | 240 | 0,56           | 0,41              | 10,08 |

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC     | gl  | CM   | F     | p-valor |
|--------|--------|-----|------|-------|---------|
| Modelo | 124,93 | 62  | 2,02 | 3,63  | <0,0001 |
| JUEZ   | 105,18 | 59  | 1,78 | 3,21  | <0,0001 |
| TRAT   | 19,75  | 3   | 6,58 | 11,86 | <0,0001 |
| Error  | 98,25  | 177 | 0,56 |       |         |
| Total  | 223,18 | 239 |      |       |         |

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,15476

Error: 0,5551 gl: 177  
 JUEZ Medias n E.E.

|     |      |   |      |         |
|-----|------|---|------|---------|
| J03 | 6,00 | 4 | 0,37 | A       |
| J50 | 6,00 | 4 | 0,37 | A       |
| J55 | 6,25 | 4 | 0,37 | A B     |
| J04 | 6,25 | 4 | 0,37 | A B     |
| J10 | 6,50 | 4 | 0,37 | A B C   |
| J31 | 6,50 | 4 | 0,37 | A B C   |
| J40 | 6,50 | 4 | 0,37 | A B C   |
| J58 | 6,50 | 4 | 0,37 | A B C   |
| J21 | 6,50 | 4 | 0,37 | A B C   |
| J29 | 6,75 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J01 | 6,75 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J35 | 6,75 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J09 | 6,75 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J51 | 6,75 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J20 | 7,00 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J19 | 7,00 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J42 | 7,00 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J53 | 7,00 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J08 | 7,00 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J45 | 7,00 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J17 | 7,00 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J37 | 7,25 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J02 | 7,25 | 4 | 0,37 | A B C D |
| J18 | 7,25 | 4 | 0,37 | A B C D |

|     |      |   |      |   |   |   |   |
|-----|------|---|------|---|---|---|---|
| J06 | 7,25 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J56 | 7,25 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J46 | 7,25 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J24 | 7,25 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J25 | 7,25 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J33 | 7,50 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J49 | 7,50 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J05 | 7,50 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J22 | 7,50 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J14 | 7,50 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J11 | 7,50 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J41 | 7,50 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J60 | 7,50 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J44 | 7,75 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J26 | 7,75 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J23 | 7,75 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J59 | 7,75 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J32 | 7,75 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J52 | 7,75 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J48 | 8,00 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J57 | 8,00 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J30 | 8,00 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J28 | 8,00 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J16 | 8,00 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J12 | 8,00 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J07 | 8,00 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J39 | 8,00 | 4 | 0,37 | A | B | C | D |
| J27 | 8,25 | 4 | 0,37 |   | B | C | D |
| J47 | 8,25 | 4 | 0,37 |   | B | C | D |
| J43 | 8,25 | 4 | 0,37 |   | B | C | D |
| J36 | 8,25 | 4 | 0,37 |   | B | C | D |
| J34 | 8,25 | 4 | 0,37 |   | B | C | D |
| J38 | 8,25 | 4 | 0,37 |   | B | C | D |
| J54 | 8,50 | 4 | 0,37 |   |   | C | D |
| J13 | 8,50 | 4 | 0,37 |   |   | C | D |
| J15 | 8,75 | 4 | 0,37 |   |   |   | D |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,35004**  
 Error: 0,5551 gl: 177  
 TRAT Medias n E.E.

|    |      |    |      |     |
|----|------|----|------|-----|
| T2 | 6,98 | 60 | 0,10 | A   |
| T1 | 7,33 | 60 | 0,10 | A B |
| T3 | 7,47 | 60 | 0,10 | B C |
| Tc | 7,78 | 60 | 0,10 | C   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

#### Anexo 4. Receta estándar costeable del tratamiento óptimo

| Componente | Ingrediente                       | Cantidad   | Precio unitario (USD) | Costo (USD) |
|------------|-----------------------------------|------------|-----------------------|-------------|
| Masa       | Harina de avena fina              | 120 g      | 4,50 /kg              | 0,540       |
|            | Harina de almendra                | 80 g       | 22,00 /kg             | 1,760       |
|            | Fécula de maíz                    | 30 g       | 3,20 /kg              | 0,096       |
|            | D-alulosa                         | 35 g       | 38,00 /kg             | 1,330       |
|            | Eritritol pulverizado             | 15 g       | 14,00 /kg             | 0,210       |
|            | Aceite de coco                    | 40 g       | 12,00 /kg             | 0,480       |
|            | Yogur griego natural              | 40 g       | 6,50 /kg              | 0,260       |
|            | Huevo                             | 1 u (55 g) | 0,22 /u               | 0,220       |
|            | Polvo de hornear                  | 3 g        | 8,00 /kg              | 0,024       |
|            | Sal                               | 1 g        | 0,80 /kg              | 0,001       |
|            | Esencia de vainilla               | 5 ml       | 9,00 /L               | 0,045       |
|            | Subtotal masa                     |            |                       | 4,966       |
| Crema      | Harina de almendra                | 100 g      | 22,00 /kg             | 2,200       |
|            | Huevo                             | 1 u (55 g) | 0,22 /u               | 0,220       |
|            | Yogur griego natural              | 50 g       | 6,50 /kg              | 0,325       |
|            | D-alulosa                         | 25 g       | 38,00 /kg             | 0,950       |
|            | Esencia de vainilla               | 3 ml       | 9,00 /L               | 0,027       |
|            | Canela en polvo                   | 1 g        | 18,00 /kg             | 0,018       |
|            | Subtotal crema                    |            |                       | 3,740       |
| Cobertura  | Manzana roja                      | 180 g      | 2,20 /kg              | 0,396       |
|            | Manzana verde                     | 90 g       | 2,60 /kg              | 0,234       |
|            | Jugo de limón                     | 10 ml      | 6,00 /L               | 0,060       |
|            | Canela en polvo                   | 1 g        | 18,00 /kg             | 0,018       |
|            | Subtotal cobertura                |            |                       | 0,708       |
| Brillo     | Jugo natural de manzana           | 100 ml     | 2,80 /L               | 0,280       |
|            | Agar-agar                         | 1 g        | 60,00 /kg             | 0,060       |
|            | Subtotal brillo                   |            |                       | 0,340       |
| TOTAL      | Materia prima por lote            |            |                       | 9,754       |
|            | Costo de materia prima por unidad |            |                       | 0,813       |

## Anexo 5. Materias primas e insumos de producción



**Nota:** Elaboración propia

## Anexo 6. Proceso de elaboración



**Nota:** *Elaboración propia*

### **Anexo 7. Moldeo**



***Nota:** Elaboración propia*

### **Anexo 8. Listo para hornear**



***Nota:** Elaboración propia*

**Anexo 9.** Producto final



***Nota:** Elaboración propia*