



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR ECUATORIANO DE PRODUCTIVIDAD
TECNOLOGÍA SUPERIOR EN GASTRONOMIA

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

TEMA:

“Desarrollo de un brownie con sustitución total de harina de trigo por harina de fréjol negro (*Phaseolus vulgaris*) como alternativa libre de gluten con mayor aporte de proteína y fibra, Quito, 2026”

AUTORES:

Dora Cecilia Peralta Viri

TUTOR:

Ing. Xavier Sánchez

Fecha:

Agosto, 2026

Quito, Ecuador

ÍNDICE

RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
CAPÍTULO I.....	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Planteamiento del problema	12
1.3 Formulación del problema.....	15
1.4 Objetivos.....	16
1.5 Justificación.....	17
1.6 Hipótesis	18
1.7 Cobertura	18
1.8 Limitaciones del estudio.....	19
CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Antecedentes históricos del producto	20
2.2 Fundamentos científicos del ingrediente principal.....	22
2.3 Tecnología de obtención de la harina	26
2.4 Base teórica de la sustitución en repostería	29
2.5 El gluten y las condiciones asociadas.....	32
2.6 Investigaciones previas.....	35
2.7 Marco conceptual	38
2.8 Marco legal y de inocuidad	39
CAPÍTULO III.....	41
MARCO METODOLÓGICO	41

3.1 Tipo y diseño de investigación.....	41
3.2 Variables.....	42
3.3 Materias primas e ingredientes.....	44
3.4 Equipos e instrumentos.....	45
3.5 Obtención de la harina de fréjol negro	45
3.6 Formulaciones	46
3.7 Proceso de elaboración del producto.....	48
3.8 Diagrama de flujo del proceso.....	49
3.9 Análisis sensorial afectivo	51
3.10 Análisis estadístico	54
3.11 Consideraciones éticas.....	55
CAPÍTULO IV	56
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1 Caracterización de la harina de fréjol negro.....	56
4.2 Comportamiento tecnológico durante el horneado.....	57
4.3 Resultados del análisis sensorial	58
4.4 Verificación de supuestos estadísticos	59
4.5 Resultados del análisis de varianza	60
4.6 Verificación no paramétrica	62
4.7 Discusión	63
4.8 Aporte nutricional estimado del tratamiento óptimo.....	66
CAPÍTULO V.....	68
PROPUESTA, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1 Propuesta del producto final.....	68
5.2 Ficha técnica del producto.....	69
5.3 Análisis de costos y punto de equilibrio.....	70
5.4 Conclusiones.....	73
5.5 Recomendaciones	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXOS.....	80
Anexo 1. Ficha de evaluación sensorial afectiva	81

Anexo 2. Matriz de datos crudos del panel	82
Anexo 3. Salidas estadísticas completas	85
Anexo 6. Registro fotográfico del proceso	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Diagrama de flujo para la elaboración del brownie con harina de fréjol negro	50
---	----

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 un brownie con sustitución total de harina de trigo por harina de fréjol negro (*Phaseolus vulgaris*) como alternativa libre de gluten con mayor aporte de proteína y fibra, Quito, 2026”, ha sido desarrollado bajo mi supervisión y cumple con los requisitos establecidos por la institución.

Es todo cuánto puedo informar en honor a la verdad.

Atentamente

MSC.

TUTOR

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 un brownie con sustitución total de harina de trigo por harina de fréjol negro (*Phaseolus vulgaris*) como alternativa libre de gluten con mayor aporte de proteína y fibra, Quito, 2026”, ha sido desarrollado bajo mi supervisión y cumple con los requisitos establecidos por la institución.

Es todo cuánto puedo informar en honor a la verdad.

Atentamente

MSC.

TUTOR

AGRADECIMIENTO

La vida, en su infinita generosidad, nos abre puertas inesperadas y nos regala la fuerza para cruzarlas. Al culminar esta etapa de estudios en Gastronomía, mi corazón rebosa de gratitud y reconocimiento hacia quienes hicieron posible este sueño:

- **A mi Dios Jehová**, por ser la luz que guió cada uno de mis pasos, por sostenerme en los momentos más difíciles y por bendecirme con la sabiduría y la salud para llegar hasta la meta.
- **A mis padres, Celinda y Ángel**, raíces firmes de mi historia. Gracias por su apoyo constante —moral, emocional y económico— y por ser el faro de inspiración que me enseñó que la perseverancia es el ingrediente principal de cualquier triunfo.
- **A mis hijos, Edison y Kevin**, mis compañeros de batalla. Gracias por su amor incondicional, su infinita paciencia y por haberse convertido en mi equipo perfecto. Entre tareas del hogar, soporte tecnológico y el hermoso intercambio de roles donde ustedes también fueron mis guías, este título es tan suyo como mío.
- **A la gran familia del ITSEP** (autoridades, directivos, personal administrativo y maestros), por abrirme las puertas de la institución y brindarme un hogar de aprendizaje donde encontré no solo rigor técnico, sino una relación cálida, amistosa y humana. Gracias por la paciencia y el cariño con el que nos formaron.
- **Al Gobierno Nacional y al ITSEP**, por el valioso apoyo conjunto a través de esa beca 50/50, una oportunidad clave que democratizó el conocimiento y me permitió cumplir este anhelo profesional sin que las barreras económicas fueran un impedimento.
- **A mis compañeros y compañeras de aula**, por ser mucho más que compañeros de estudio: se convirtieron en cómplices de este hermoso viaje. Gracias por las risas compartidas en medio del cansancio, por los momentos de complicidad alrededor de los mesones, por el apoyo mutuo cuando las recetas exigían precisión y por ayudarnos a armar un ambiente de estudio cálido, lleno de cariño y comprensión. Las valiosas amistades que tejimos entre hornos, risas y retos superados son, sin duda, uno de los ingredientes más dulces que me llevo de esta etapa.

DEDICATORIA

Dedico este triunfo, en primer lugar, a **mi Dios Jehová**, por regalarme la fuerza y la vida para alcanzar este sueño.

A **mis padres, Celinda y Ángel**, por su amor eterno, su ejemplo de lucha y por ser mi refugio constante.

A **mis hijos, Edison y Kevin**, mi motor y mi orgullo más grande; gracias por sostener mi mano y caminar a mi lado en cada paso de este viaje.

Y, finalmente, **a mí misma**. A mis 45 años, me dedico este logro con un abrazo profundo al alma. Por la mujer valiente que no le temió a los caminos difíciles, por la madre que transformó el sacrificio en un banquete de oportunidades, y por la profesional que hoy mira hacia adelante con la satisfacción de decir con el corazón lleno: «*Lo logré*». Este es solo el comienzo.

RESUMEN

El brownie es un producto de repostería con alta densidad energética y escaso aporte de proteína y fibra, elaborado convencionalmente con harina de trigo, lo que además lo excluye de la dieta de las personas con enfermedad celíaca. Esta investigación evaluó si la sustitución total de la harina de trigo por harina de fréjol negro (*Phaseolus vulgaris*) permitió obtener un brownie libre de gluten con mayor aporte proteico y de fibra, sin sacrificar la aceptación del consumidor. Se trabajó con un enfoque cuantitativo y diseño experimental. Se elaboraron dos tratamientos: T0, control con 100 % de harina de trigo, y T1, con 100 % de harina de fréjol negro tostada y tamizada a malla 100. Ambas formulaciones compartieron los demás ingredientes y el mismo perfil de horneado; solo se ajustó la hidratación de T1 para igualar la consistencia del batido. La aceptación se midió con una prueba hedónica de nueve puntos aplicada a 60 consumidores no entrenados, quienes calificaron color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad global. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza de dos vías sin replicación, con el tratamiento como factor y el panelista como bloque, a un nivel de significancia de 0.05. El tratamiento T1 alcanzó la mayor aceptabilidad global (8.17/9) y las diferencias resultaron significativas en color, aroma, sabor y aceptabilidad global, no así en textura. El análisis económico determinó un precio de venta de USD 2.50 y un punto de equilibrio de 351 unidades mensuales.

Palabras clave: harina de fréjol negro, brownie libre de gluten, sustitución de harina de trigo, análisis sensorial afectivo, punto de equilibrio.

ABSTRACT

Brownies are a bakery product with high energy density and low protein and fiber content, conventionally made with wheat flour, which also excludes them from the diet of people with celiac disease. This research evaluated whether the total replacement of wheat flour by black bean flour (*Phaseolus vulgaris*) yielded a gluten-free brownie with higher protein and fiber content without sacrificing consumer acceptance. A quantitative approach and an experimental design were used. Two treatments were prepared: T0, a control with 100 % wheat flour, and T1, with 100 % roasted black bean flour sieved through a 100-mesh screen. Both formulations shared the remaining ingredients and the same baking profile; only the hydration of T1 was adjusted to match batter consistency. Acceptance was measured through a nine-point hedonic test applied to 60 untrained consumers, who rated color, aroma, flavor, texture, and overall acceptability. Data were analyzed through a two-way analysis of variance without replication, with treatment as a factor and panelist as a block, at a 0.05 significance level. Treatment T1 reached the highest overall acceptability (8.17/9), and differences were significant for color, aroma, flavor, and overall acceptability, but not for texture. The economic analysis determined a selling price of USD 2.50 and a break-even point of 351 units per month.

Key words: black bean flour, gluten-free brownie, wheat flour replacement, affective sensory analysis, break-even point.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

La repostería y la panificación ocupan un lugar peculiar en el panorama de la alimentación moderna. Se consumen por placer, no por necesidad, y ese hecho ha sido la base durante décadas de un argumento en contra de exigirles alguna demanda sobre su nutrición. Un buen ejemplo es el brownie: una pieza de alta densidad energética con más capas principales que nutrientes, es decir; chocolate + mantequilla + azúcar + harina de trigo, en proporciones que aportan de manera insignificante en proteína y fibra.

Pero esto no es un consumo ocasional de este tipo de productos. Servidos dentro del programa tradicional de cafés, panaderías, servicios de catering y comedores institucionales, en el Ecuador urbano es uno de los formatos más vendidos de repostería individual. Con esta frecuencia, deja de ser una cuestión trivial en lo que respecta a la composición de los alimentos.

Un tipo distinto de restricción lo empeora. La enfermedad celíaca es una enteropatía causada por ingerir gluten, una proteína presente en la harina de trigo. Cuando se trata de quienes la padecen, un brownie regular no es un tema de debate: está prohibido. La industria ha respondido con un sustituto de productos, que casi siempre contienen almidones refinados que resuelven problemas de seguridad, pero empeoran el perfil nutricional y también aumentan el costo.

Un tercer camino —menos duradero— ha sido recorrido. Las harinas naturales sin gluten se obtienen de legumbres, o de frijoles negros, que aportan un nivel de proteína y fibra mucho más alto que el del trigo y son una de las más conocidas en el país. La cuestión es técnica: ¿esa harina por sí sola puede sostener la estructura de un brownie y —más importante aún— lo aceptarán los

consumidores? Las secciones posteriores definen este problema, establecen objetivos y formulan la hipótesis que la investigación pretende poner a prueba.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Contexto global

La enfermedad celíaca dejó de considerarse una condición de baja frecuencia restringida a poblaciones europeas. Un metaanálisis que reunió estudios poblacionales de todos los continentes situó la prevalencia global confirmada por biopsia en 0.7 % y la seroprevalencia en 1.4 %, con valores de 0.4 % en Sudamérica, 0.5 % en África y Norteamérica, 0.6 % en Asia y 0.8 % en Europa y Oceanía (Singh et al., 2018). Aplicada a la población ecuatoriana, esa proporción representa decenas de miles de personas para quienes cualquier producto con trigo queda descartado de forma permanente.

La respuesta comercial ha sido el crecimiento del segmento libre de gluten, pero ese crecimiento arrastra un problema documentado. Al comparar 423 productos libres de gluten con 337 equivalentes convencionales del mercado noruego, se encontró que los primeros contenían menos proteína y menos fibra, y más grasa saturada, carbohidratos y sal; además, una mayor proporción de los productos con gluten alcanzaba la declaración de alto contenido de fibra, y los productos sin gluten resultaron entre 46 % y 443 % más caros que sus contrapartes (Myhrstad et al., 2021). El paciente celíaco termina pagando más por comer peor.

La razón es tecnológica antes que comercial. Al eliminar el trigo se elimina la red de gluten, y la industria la reemplaza con almidones de arroz, maíz o papa, que restituyen la estructura pero aportan poco más que energía. La proteína y la fibra que se pierden no se reponen.

1.2.2 Contexto regional

El mismo estudio hace hincapié en el límite del enfoque. Los resultados de la evaluación sensorial con 40 panelistas semientrenados indicaron que, cuando el producto se reemplazó en un 10%, las percepciones (olor, sabor, textura y color) de los productos no cambiaron significativamente en comparación con las muestras de control, pero con niveles del 20% y 30% hubo calificaciones significativamente más bajas para olor, sabor, textura y color que las del control (Mariscal-Moreno et al., 2012). En una tendencia similar para los fideos, los autores informaron que añadir harina de frijol negro hasta un 15% a 20% podía mejorar el valor nutricional, pero influía negativamente en la aceptación sensorial asociada con el color oscuro y la textura dura, por lo que sugirieron que el porcentaje máximo de tolerancia no debía exceder el 10% (Yahya et al., 2022).

Detengámonos aquí, porque esto marca la brecha que llena esta investigación. Los dos estudios consideraron matrices que dependen en gran medida del gluten: pan fermentado y fideos. Ya sea para reemplazar la harina de trigo, en cada caso que desmantelas la estructura que sostiene el producto —a través de la cual todo se colapsa— obtienen una penalización sensorial que se aplica casi de inmediato. Los brownies no funcionan así.

1.2.3 Contexto ecuatoriano

En Ecuador, los frijoles (frèjol) se cultivan en las tierras altas y los valles interandinos, siendo el producto una parte integral de la cocina cotidiana. En cambio, la harina de trigo se suministra en el país mayormente mediante importaciones, lo que deja la panadería y la pastelería nacionales expuestas a las fluctuaciones internacionales de precios. Sustituir el trigo por una legumbre producida localmente no es solo una decisión nutricional: es una decisión de abastecimiento.

A nivel de consumo del país, la oferta local de pastelería sin gluten se limita a un puñado de negocios especializados con base en Quito; donde los costos de producción son evidentes, ya que los precios se modelan hacia una oferta más tradicional mediante un enfoque incremental. La accesibilidad se convierte en una barrera igual de prohibitiva para el consumidor de ingresos medios con enfermedad celíaca, dado que la disponibilidad para este segmento es limitada.

1.2.4 El problema técnico

Las gliadinas y las gluteninas, que crean la red viscoelástica de la harina de trigo (gliadina: glutenina), desaparecen cuando se elimina toda la harina de trigo; reaparecen de nuevo porque el agua y toneladas de trabajo forman la red que representa una décima parte del músculo de los ratones. En panificación, esta pérdida es desastrosa sin compensación con hidrocoloides. En el brownie, sin embargo, el refuerzo estructural depende de otros mecanismos: el huevo que coagula, la grasa que interfiere, el azúcar que recristaliza al enfriar y el almidón que solo se gelatiniza parcialmente en una masa de baja hidratación. El brownie es uno de los productos horneados que tolera mejor la ausencia de gluten que casi cualquier otro, y ese margen de tolerancia es exactamente lo que este experimento pretende aprovechar.

Hay dos riesgos reales. El primero es el sabor restante tipo legumbre, que resulta de la oxidación enzimática de los ácidos grasos poliinsaturados por la actividad de la lipoxigenasa, que produce aldehídos y alcoholes con un matiz verdoso. El segundo es la textura: la harina de frijol puede retener más agua que el trigo y aporta fibra que compite por el agua libre, lo cual dará una miga seca y harinosa si no se ajustan los niveles de hidratación.

Los riesgos son manejables mediante el procesamiento, no mediante la formulación. Al precalentar el grano, se reduce la actividad de la lipoxigenasa, y los niveles de hidratación necesarios para hidratar adecuadamente granos modificados por la oxidación pueden compensarse

mediante una diferencia en la absorción. Solo si estas dos correcciones son suficientes para que el consumidor califique el producto en la parte bastante agradable de la escala hedónica, la sustitución total deja de ser un compromiso y puede convertirse en una alternativa real.

1.2.5 Vacío de conocimiento

La literatura revisada aborda sustituciones parciales de harina de trigo por harina de fréjol negro en matrices dependientes del gluten y establece el 10 % como techo sensorial. No se identificaron estudios que evalúen la sustitución total en una matriz de repostería de baja dependencia estructural del gluten, con harina previamente tostada y con la hidratación corregida. Esa es la brecha que este trabajo aborda.

1.3 Formulación del problema

¿En qué medida la sustitución total de la harina de trigo por harina de fréjol negro (*Phaseolus vulgaris*) modifica la aceptación sensorial de un brownie evaluado por consumidores en Quito durante el período enero–agosto de 2026?

1.3.1 Preguntas directrices

1. ¿Qué rendimiento y qué características tecnológicas presenta la harina de fréjol negro obtenida por remojo, cocción, secado, tostado y molienda?
2. ¿Qué diferencias de comportamiento durante el horneado se observan entre el brownie control y el brownie de fréjol negro?
3. ¿Existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos en color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad global?
4. ¿Cuál es el incremento estimado de proteína y fibra del brownie de fréjol negro respecto del control?

5. ¿Es económicamente viable producir y comercializar la formulación propuesta en el mercado quiteño?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la sustitución total de la harina de trigo por harina de fréjol negro (*Phaseolus vulgaris*) sobre la aceptación sensorial y la viabilidad económica de un brownie libre de gluten con mayor aporte de proteína y fibra, en Quito, 2026.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Obtener y caracterizar tecnológicamente la harina de fréjol negro mediante un proceso de remojo, cocción, secado, tostado, molienda y tamizado, determinando su rendimiento.

2. Formular y elaborar dos tratamientos de brownie, control con 100 % de harina de trigo y experimental con 100 % de harina de fréjol negro, bajo condiciones de proceso controladas y equivalentes.

3. Evaluar la aceptación de ambos tratamientos mediante un panel sensorial afectivo con escala hedónica de nueve puntos aplicado a consumidores no entrenados.

4. Contrastar estadísticamente las calificaciones de los cinco atributos evaluados mediante un análisis de varianza de dos vías con panelista como bloque, a un nivel de significancia de 0.05.

5. Determinar la viabilidad económica de la propuesta mediante el cálculo de costos fijos y variables, precio de venta al público y punto de equilibrio.

1.5 Justificación

La evidencia disponible fija el límite de sustitución con harina de fréjol negro en torno al 10 % (Mariscal-Moreno et al., 2021; Yahya et al., 2022), pero ese techo se estableció en pan y en fideo, matrices donde el gluten es estructuralmente insustituible. Trasladar esa conclusión a la repostería sin verificarla es una extrapolación que este trabajo pone a prueba. El resultado, sea cual sea, aporta un dato que la literatura no tiene: cómo se comporta la sustitución total en una matriz que no depende de la red de gluten.

El proceso de obtención de la harina incorpora dos decisiones que la mayoría de los estudios revisados no aplican de forma combinada: cocción previa del grano y tostado posterior. La cocción reduce factores antinutricionales y mejora la digestibilidad proteica; la digestibilidad proteica in vitro de la harina cruda de fréjol resultó inferior a la de los panes elaborados con niveles moderados de sustitución, lo que se atribuyó a la inactivación de compuestos antinutricionales durante el procesamiento (Mariscal-Moreno et al., 2021), un efecto consistente con lo descrito para el procesamiento térmico de proteínas vegetales en general (Sá et al., 2020). El tostado, por su parte, actúa sobre la lipoxigenasa responsable del sabor residual.

Nutricional. Con proteína cercana al 21 % y fibra cruda superior al 3 % en la harina de leguminosa (Mariscal-Moreno et al., 2021), frente a valores considerablemente menores en la harina de trigo refinada, el reemplazo modifica el perfil del producto final en la dirección opuesta a la que sigue el mercado libre de gluten convencional, donde el déficit de proteína y fibra está documentado (Myhrstad et al., 2021). El aporte de lisina de la proteína de fréjol complementa además el perfil deficitario de los cereales, un principio de complementación aminoacídica bien establecido en la literatura de leguminosas (Carbas et al., 2020).

El destinatario directo es el consumidor con enfermedad celíaca o sensibilidad al gluten, que hoy accede a una oferta cara y nutricionalmente pobre. El beneficiario indirecto es el productor nacional de fréjol, que gana una vía de agregación de valor distinta de la venta de grano. Y para el emprendedor gastronómico, la sustitución de un insumo importado por uno local tiene efectos de costo que el Capítulo V cuantifica.

El trabajo se alinea con el perfil de egreso de la Tecnología Superior en Gastronomía del ITSEP, que contempla el desarrollo de productos, la evaluación sensorial y el análisis de costos como competencias profesionales verificables.

1.6 Hipótesis

Al comparar únicamente dos tratamientos evaluados por los mismos panelistas, la hipótesis se formula sobre las medias de calificación hedónica y se contrasta mediante un modelo de bloques completos al azar.

Hipótesis nula (H0): la sustitución total de la harina de trigo por harina de fréjol negro no produce un efecto estadísticamente significativo sobre la calificación hedónica media del brownie.

Hipótesis alternativa (H1): la sustitución total de la harina de trigo por harina de fréjol negro produce un efecto estadísticamente significativo sobre la calificación hedónica media del brownie.

1.7 Cobertura

Enero a agosto de 2026, comprendiendo revisión bibliográfica, obtención de la harina, pruebas preliminares de ajuste de hidratación, elaboración de tratamientos, panel sensorial, procesamiento estadístico y redacción.

1.8 Limitaciones del estudio

El estudio mide aceptación afectiva, no perfil sensorial descriptivo, de modo que identifica si el producto gusta pero no cuantifica la intensidad de cada atributo. La composición nutricional del producto final se estima por tablas y por la composición reportada de las materias primas; no se realizan análisis proximales de laboratorio. Tampoco se evalúan vida útil, estabilidad microbiológica ni contenido residual de gluten por método instrumental, por lo que la condición de libre de gluten se sostiene en la selección de materias primas y en el control de contaminación cruzada, no en una verificación analítica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes históricos del producto

2.1.1 Origen y domesticación de *Phaseolus vulgaris*

El fréjol común no tiene un solo lugar de nacimiento cultural, aunque sí tiene uno biológico. El análisis de secuencias de cinco loci en accesiones silvestres y cultivadas resolvió una discusión que llevaba décadas abierta: la forma silvestre de *P. vulgaris* se originó en Mesoamérica, y las poblaciones andinas derivaron de migraciones posteriores desde poblaciones del centro de México, atravesando un cuello de botella genético severo que precedió a la domesticación (Bitocchi et al., 2012). Ese detalle explica algo que se observa hasta hoy en el mercado: los fréjoles andinos son menos diversos genéticamente que los mesoamericanos, aunque suelen tener grano más grande.

Sobre esa base silvestre ocurrieron dos domesticaciones independientes, una en Mesoamérica y otra en los Andes, separadas geográfica y reproductivamente. Los dos acervos resultantes están tan diferenciados que presentan barreras reproductivas parciales, sostenidas por evidencia morfológica, agronómica, de proteínas de reserva, isoenzimas y marcadores moleculares (Gioia et al., 2013). El fréjol negro que llega hoy a los mercados de Quito pertenece mayoritariamente al acervo mesoamericano, de grano pequeño y testa fuertemente pigmentada.

2.1.2 El fréjol en la cocina andina y ecuatoriana

En el registro culinario andino el fréjol aparece siempre en preparaciones de sal, hidratado y cocido, casi nunca transformado. Menstras, sopas, guisos, el fréjol con tostado, la fanesca de Semana Santa. La leguminosa se piensa como grano entero, y esa manera de pensarla ha sido notablemente estable durante siglos.

La transformación en harina es, en cambio, una idea reciente y de origen tecnológico, no tradicional. No proviene del recetario sino del laboratorio, y llegó empujada por dos motivos distintos: la búsqueda de proteína vegetal barata y la necesidad de matrices sin gluten. Conviene decirlo sin adornos, porque a veces se presenta la harina de leguminosa como un rescate de saberes ancestrales cuando en realidad es una innovación industrial que usa un insumo ancestral.

2.1.3 Historia del brownie

El brownie surgió en Estados Unidos a finales del siglo XIX como un producto de repostería doméstica, y su estandarización posterior fue obra de la industria de mezclas preparadas. Su identidad se construyó sobre un rasgo estructural: un producto denso, de miga húmeda, sin la aireación de un bizcocho. Ese rasgo, que en su momento fue una decisión de sabor, resulta hoy una ventaja tecnológica inesperada, y es la razón por la cual este trabajo eligió el brownie y no una torta o un pan.

Es importante ser honesto sobre el nivel de respaldo de este apartado. La historia del brownie está documentada en fuentes gastronómicas y periodísticas, no en literatura indexada, de modo que aquí se la presenta como contexto y no como afirmación científica.

2.1.4 La convergencia actual

Durante la última década las harinas de leguminosa dejaron de ser un recurso marginal y pasaron a ser objeto sistemático de investigación en panificación y galletería. La revisión de la evidencia muestra un patrón repetido: la incorporación mejora el perfil nutricional y castiga la textura y el color, con un umbral de tolerancia sensorial que suele situarse por debajo del 20 % (Mariscal-Moreno et al., 2021; Millar et al., 2017; Yahya et al., 2022). El fenómeno no es exclusivo de las leguminosas; ocurre también con harinas de coco y castaña, donde se ha reportado que

niveles de hasta 15 % mantienen la aceptación del consumidor en productos horneados a base de trigo (Raczyk et al., 2021).

El límite, entonces, parece más ligado a la matriz que al ingrediente. Esa distinción es la que este trabajo pone a prueba.

2.2 Fundamentos científicos del ingrediente principal

2.2.1 Clasificación taxonómica

Phaseolus vulgaris L. pertenece a la familia Fabaceae, subfamilia Faboideae, tribu Phaseoleae. Es una especie anual, herbácea, predominantemente autógama, con hábito de crecimiento determinado o indeterminado según el cultivar. El fruto es una legumbre dehiscente que contiene entre tres y ocho semillas.

La semilla se organiza en tres estructuras con funciones tecnológicas distintas: la testa o cubierta seminal, que concentra la fibra insoluble y los pigmentos; los cotiledones, que aportan el almidón y la mayor parte de la proteína; y el eje embrionario. En el fréjol negro la testa representa una fracción pequeña de la masa total pero determina casi por completo el color del producto final, y esa desproporción explica por qué el impacto visual de la sustitución aparece antes que cualquier otro efecto.

2.2.2 Composición proximal

Los valores reportados varían según cultivar, año de cosecha y condiciones agronómicas, pero el orden de magnitud es consistente. La harina de fréjol negro caracterizada en un estudio mexicano presentó 21.06 % de proteína cruda, 4.20 % de cenizas, 3.06 % de fibra cruda, 1.68 % de grasa cruda y 59.43 % de carbohidratos, con un valor energético de 342.20 kcal/100 g (Mariscal-

Moreno et al., 2021). Otros trabajos ubican la proteína cruda del grano entre 19.5 % y 31.0 % según genotipo (Carbas et al., 2020).

Tabla 1

Comparación aproximada de composición entre harina de trigo refinada y harina de fréjol negro (base seca)

Componente	Harina de trigo refinada	Harina de fréjol negro
Proteína cruda (%)	12.8	21.1
Fibra cruda (%)	0.6	3.1
Cenizas (%)	0.5	4.2
Grasa cruda (%)	1.2	1.7
Gluten	Presente	Ausente

Nota. Elaborado por el autor (2026). Valores tomados de Mariscal-Moreno et al. (2021).

La diferencia proteica no es marginal: la harina de leguminosa casi duplica a la de trigo. La diferencia en fibra es todavía mayor en términos relativos, aunque parte de una base baja en ambos casos.

2.2.3 Perfil de aminoácidos y complementación

La proteína del fréjol es rica en lisina y treonina, aminoácidos limitantes en los cereales; a la inversa, es deficitaria en aminoácidos azufrados, que el trigo aporta con relativa suficiencia (Carbas et al., 2020; Mariscal-Moreno et al., 2021). De ahí que la combinación cereal-leguminosa sea nutricionalmente superior a cualquiera de las dos por separado, un principio que sostiene buena parte de la dieta tradicional latinoamericana sin que sus practicantes lo hayan formulado nunca en esos términos.

Aquí aparece una tensión que este trabajo debe reconocer en lugar de esquivar. La sustitución total elimina el trigo y, con él, la complementación. El producto resultante tiene más proteína, sí, pero una proteína de perfil aminoacídico menos equilibrado que el de una mezcla. La justificación de la sustitución total no es nutricional pura: es la condición necesaria para declarar

el producto libre de gluten. Sin esa exigencia, una mezcla parcial sería probablemente superior. Con ella, la sustitución total es la única opción.

2.2.4 Fibra dietética y almidón resistente

El almidón constituye la fracción predominante de los carbohidratos del fréjol, entre 50 y 60 g/100 g, acompañado de una proporción apreciable de fibra dietética (Mariscal-Moreno et al., 2021). Las fracciones de fibra de las leguminosas presentan propiedades funcionales particulares en cuanto a capacidad de retención de agua y comportamiento en la matriz alimentaria (Brummer et al., 2015).

El rasgo más relevante para este trabajo es la digestibilidad lenta del almidón. Se atribuye al contenido de amilosa, a la longitud de las cadenas de ramificación de la amilopectina y a la tendencia a retrogradar, factores que ubican a las leguminosas entre los alimentos de índice glucémico bajo a medio (Mariscal-Moreno et al., 2021). En un producto que aporta tanta azúcar como un brownie, esa característica del almidón no compensa el azúcar añadida, pero sí modifica el perfil de liberación del componente amiláceo.

Hay además un efecto medible sobre el envejecimiento del producto. El análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido mostró que la adición de fréjol negro redujo la retrogradación del almidón, y que a niveles altos de sustitución el endotermo de retrogradación dejó de detectarse, atribuido a que la proteína adicional interfiere con la reasociación ordenada de la amilopectina (Mariscal-Moreno et al., 2021). En términos prácticos, el producto con leguminosa debería endurecerse más lentamente que el control durante el almacenamiento.

2.2.5 Compuestos fenólicos de la testa

La pigmentación negra de la testa proviene de antocianinas y de otros compuestos fenólicos, incluidos flavonoles glicosilados y taninos condensados, a los que se atribuye actividad

antioxidante (Mariscal-Moreno et al., 2021). En el ayocote, especie emparentada, se han cuantificado contenidos elevados de fenoles totales, flavonoides y antocianinas asociados al color de la cubierta (Alvarado-López et al., 2019).

Estos compuestos plantean una paradoja de diseño de producto. Son deseables desde el punto de vista funcional y a la vez son los responsables del oscurecimiento que el panel sensorial suele penalizar. Las mediciones colorimétricas mostraron que la luminosidad del pan descendió progresivamente con el aumento de harina de fréjol negro, y que ese efecto fue más pronunciado con fréjol negro que con ayocote, precisamente por el color de la cubierta (Mariscal-Moreno et al., 2021).

En un brownie, sin embargo, el oscurecimiento juega en otra dirección. El producto ya es marrón oscuro por el chocolate y el cacao alcalinizado. Un pigmento adicional que oscurece no rompe la expectativa del consumidor: la refuerza.

2.2.6 Factores antinutricionales

El fréjol crudo contiene taninos, ácido fítico, inhibidores de tripsina, lectinas y oligosacáridos de la familia de la rafinosa. Los taninos y fitatos reducen la biodisponibilidad de minerales y la digestibilidad proteica; las lectinas son termolábiles pero tóxicas en crudo; los oligosacáridos causan la flatulencia asociada al consumo de leguminosas.

El procesamiento térmico los reduce de forma sustancial. La cocción disminuye la concentración de compuestos no nutricionales frente al grano crudo, y el procesamiento en general mejora la digestibilidad de las proteínas vegetales al inactivar los compuestos que la limitan (Sá et al., 2020). El efecto se refleja en los productos finales: la digestibilidad proteica in vitro de los granos crudos fue inferior a la de los panes elaborados con sustituciones moderadas, atribuida a la

inactivación de compuestos antinutricionales durante el procesamiento y la fermentación (Mariscal-Moreno et al., 2021).

Este es el argumento técnico que justifica cocer el grano antes de secarlo y molerlo, en lugar de moler el grano crudo como hacen varios de los estudios revisados. Cuesta una etapa adicional de proceso y algo de rendimiento, pero entrega una harina con menos carga antinutricional y mejor digestibilidad.

2.3 Tecnología de obtención de la harina

2.3.1 Rutas de procesamiento

Existen al menos cinco vías para convertir el grano en harina, y cada una produce un ingrediente funcionalmente distinto: molienda directa del grano crudo, cocción previa y secado, tostado, germinación y fermentación. La elección no es indiferente. La decorticación, la germinación y la extrusión alteran las características fisicoquímicas y la digestibilidad in vitro de la proteína y del almidón del fréjol negro (De la Rosa-Millán et al., 2019), y la nixtamalización produce harinas de fréjol negro con propiedades fisicoquímicas propias, distintas de las obtenidas por cocción convencional (Santiago-Ramos et al., 2018).

Para este trabajo se eligió la ruta remojo, cocción, secado, tostado y molienda. Es la más accesible en un taller de gastronomía, no requiere equipo de extrusión ni control de germinación, y combina los dos efectos que interesan: reducción de antinutrientes por vía húmeda y control del sabor residual por vía seca.

2.3.2 El sabor residual a leguminosa

Las lipooxigenasas son enzimas que reaccionan de manera oxidativa con ácidos grasos poliinsaturados, especialmente los ácidos linoleico y linolénico, en un proceso que produce

hidroperóxidos que se degradan hasta aldehídos, alcoholes y cetonas verdes y herbáceas. Compuestos como el hexanal y el 1-octen-3-ol se identifican repetidamente en conjunto con esa percepción.

El calor inactiva la enzima y por eso funciona el tostado. Pero la literatura matiza ese optimismo. Una revisión sobre lupino y haba concluyó que, de forma similar a otras legumbres, el tratamiento térmico por sí solo no elimina la impresión aromática similar a la de la legumbre, ya que los ácidos grasos también son sensibles a la autooxidación no enzimática; por tanto, la inactivación de la lipooxigenasa por sí sola es insuficiente (Ritter et al., 2022). En otras palabras: el tostado reduce la formación de volátiles enzimáticos, no las reacciones oxidativas que ocurren químicamente y persisten en las harinas durante el almacenamiento.

Esta observación da lugar a dos decisiones metodológicas, que se señalan en el Capítulo III. En primer lugar, la harina debe molerse justo antes de usarse en el proceso de horneado y no dejarse en almacenamiento durante semanas. En segundo lugar, el envasado debe reducir el contacto con oxígeno. La mayoría de los estudios revisados no especifica ninguna de las dos cosas, y ambas pueden ayudar a explicar parte de la variabilidad entre estudios.

Esto es una buena cosa y hay otra circunstancia favorable. Todo en el brownie es chocolate: cacao alcalinizado, vainilla: una plétora de compuestos aromáticos de alta intensidad. No es una solución elegante, pero es algo real; y aquí funciona con más fuerza que el pan blanco (que tiene un perfil aromático de fondo tan tenue que cualquier nota indeseada se destacará).

2.3.3 Molienda y granulometría

Las cinéticas de hidratación, la percepción de aspereza en la boca y la exposición del área de superficie a otros ingredientes están determinadas por el tamaño de partícula. Se puede lograr

que tenga el sabor adecuado, pero si la textura de algo es harina gruesa entonces será granulosa; y así, esa penalización sensorial que consideramos como rechazo de un ingrediente.

Los estudios revisados utilizan tamices separados en diferentes mallas. El estudio mexicano citado usó la malla estadounidense 40 (Mariscal-Moreno et al., 2021), una distribución de tamaño de partícula relativamente gruesa para la cocción. Este trabajo define una malla 100, de aproximadamente 150 μm , más fina y orientada a eliminar la aspereza como factor de confusión. En caso de que el panel determine que penalizaron la textura, se debería poder alegar como justificación que faltaba gluten o fibra, y no que hubiera un tamizado insuficiente.

2.3.4 Propiedades funcionales

La capacidad de retención de agua de las harinas de leguminosa es superior a la de la harina de trigo refinada, consecuencia del mayor contenido de proteína y de fibra, ambas con alta afinidad por el agua (Brummer et al., 2015). El efecto es directamente observable en producto: al aumentar la proporción de harina de fréjol negro en fideos, la absorción de agua se incrementó y la pérdida por cocción pasó de 3.61 % a 5.16 % (Yahya et al., 2022).

De aquí sale la justificación del ajuste de hidratación aplicado al tratamiento T1. Si se sustituye uno a uno en masa sin compensar el agua, se está comparando dos productos que difieren no solo en el tipo de harina sino también en su nivel efectivo de hidratación, y el panel terminaría calificando esa segunda diferencia sin que nadie lo declare. Corregir la hidratación no es maquillar el experimento: es aislar la variable que se dice estar midiendo.

2.4 Base teórica de la sustitución en repostería

2.4.1 Función tecnológica del gluten

El gluten no existe en la harina; se forma. Las gliadinas y gluteninas presentes en el endospermo del trigo, al hidratarse y recibir trabajo mecánico, establecen enlaces disulfuro e interacciones no covalentes que producen una red viscoelástica continua. Las gluteninas aportan elasticidad y resistencia; las gliadinas, extensibilidad y viscosidad (Wieser, 2007).

Esa red cumple tres funciones en un producto horneado: retiene el gas generado durante la fermentación o por agentes químicos, otorga cohesión a la masa y sostiene la estructura durante la expansión térmica hasta que el almidón gelatiniza y la fija. Cuando la harina de leguminosa diluye el gluten, la red se debilita, retiene menos dióxido de carbono y el volumen específico del pan cae de forma significativa, efecto observado a partir del 30 % de sustitución con fréjol negro (Mariscal-Moreno et al., 2021).

2.4.2 Por qué el brownie es distinto

Aquí está el núcleo argumentativo de toda la investigación, y conviene desarrollarlo con cuidado.

Un pan depende del gluten para las tres funciones descritas. Un bizcocho depende parcialmente, porque comparte la carga con la espuma de huevo. Un brownie casi no depende de ninguna.

La estructura del brownie descansa en cuatro mecanismos que no involucran gluten. El primero es la coagulación de las proteínas del huevo durante el horneado, que forma una red proteica continua a través de la masa. El segundo es la grasa, mantequilla y manteca de cacao, que interrumpe cualquier continuidad de gluten que pudiera formarse y confiere la textura densa

característica. El tercero es el azúcar, que se disuelve durante el batido y recristaliza parcialmente al enfriar, aportando cohesión y la corteza fina y quebradiza de la superficie. El cuarto es la gelatinización parcial del almidón en una masa de baja hidratación y alta proporción de grasa y azúcar, ambas competidoras por el agua disponible.

Adicionalmente, la formulación del brownie tiene un contenido de harina proporcionalmente bajo. En la formulación desarrollada para este trabajo la harina representa alrededor del 14 % de la masa total del batido, frente a más del 50 % en una masa de pan. Cuanto menor es la participación de la harina, menor es el peso relativo de la variable que se está sustituyendo.

De ahí se desprende la predicción teórica del trabajo: el umbral del 10 % reportado para pan y fideo no debería trasladarse al brownie, porque en esas matrices el umbral está fijado por la pérdida de red de gluten, y en el brownie no hay red que perder.

2.4.3 Harinas compuestas

El concepto de harina compuesta, mezcla de harina de cereal con harinas de otras fuentes vegetales, tiene décadas de desarrollo en la literatura tecnológica, y su lógica original fue reducir la dependencia del trigo importado en países que no lo cultivan. La motivación de esta investigación coincide parcialmente con esa lógica histórica, aunque incorpora un objetivo que aquella no tenía: la exclusión total del gluten.

La evidencia en productos horneados dulces es más favorable que en pan. En galletas elaboradas con harina de haba de dos variedades tunecinas, incorporadas al 40 % y al 100 % de sustitución, las formulaciones con 40 % conservaron buena aceptación del consumidor, mientras que las de sustitución total requirieron optimización sensorial (Khamassi et al., 2025). Ese dato es notable porque el 40 % supera con holgura el umbral del 10 % establecido en pan, y refuerza la

idea de que el techo depende de la matriz. En crackers y productos horneados de baja fermentación se ha observado un comportamiento igualmente tolerante frente a harinas de leguminosa (Millar et al., 2017).

2.4.4 Reacción de Maillard y caramelización

La corteza superior del brownie, esa lámina fina y brillante que el consumidor asocia con calidad, se forma por la migración de azúcares disueltos hacia la superficie durante el horneado y su posterior deshidratación y caramelización parcial. En paralelo ocurre la reacción de Maillard entre azúcares reductores y grupos amino libres de proteínas y aminoácidos.

Al sustituir trigo por fréjol negro aumenta la disponibilidad de grupos amino, dado el mayor contenido proteico y el aporte de lisina, aminoácido particularmente reactivo en la vía de Maillard. La consecuencia esperable es un pardeamiento más intenso a igual perfil térmico. Ese efecto puede ser favorable, con más aroma tostado y corteza mejor definida, o desfavorable si conduce a un producto que se percibe sobrehorneado. La única forma de discriminar entre ambos escenarios es el panel, y por eso el color se evalúa como atributo independiente.

2.4.5 El papel de la fibra en la textura

La fibra compite por el agua libre y modifica la reología de la masa. En sistemas libres de gluten se ha documentado que las características microestructurales de las fibras solubles e insolubles afectan de manera diferenciada el comportamiento de la masa y el resultado del horneado (Martínez et al., 2014), y que los hidrocoloides pueden compensar parcialmente esos efectos en formulaciones sin gluten (Lazaridou et al., 2007).

Esta investigación optó deliberadamente por no incorporar hidrocoloides. La razón es de diseño experimental: añadir goma xantana solo al tratamiento experimental introduciría una segunda variable y haría imposible atribuir cualquier diferencia sensorial a la harina. Si el brownie

de fréjol negro resulta penalizado en textura, ese resultado será informativo, y la recomendación de evaluar hidrocoloides en un estudio posterior quedará debidamente fundamentada.

También conviene señalar el efecto documentado sobre la digestibilidad. Se ha reportado una correlación negativa entre el contenido de fibra y la digestibilidad proteica in vitro en panes con leguminosa (Mariscal-Moreno et al., 2021). El incremento de proteína bruta no se traduce linealmente en proteína aprovechable, y cualquier declaración nutricional derivada de este trabajo debe formularse con esa reserva.

2.5 El gluten y las condiciones asociadas

2.5.1 Enfermedad celíaca

La enfermedad celíaca es una enteropatía autoinmune desencadenada por la ingesta de gluten en individuos genéticamente predispuestos, portadores de los haplotipos HLA-DQ2 o HLA-DQ8. Los péptidos de gliadina resistentes a la digestión atraviesan la barrera intestinal, son desamidados por la transglutaminasa tisular y presentados a linfocitos T CD4+, lo que desencadena una respuesta inflamatoria que produce atrofia vellositaria e hiperplasia de criptas. El diagnóstico se apoya en serología, anticuerpos antitransglutaminasa tisular y antiendomisio, confirmada por biopsia duodenal.

La magnitud del problema ya fue establecida en el Capítulo I: 0.7 % de prevalencia confirmada por biopsia y 1.4 % por serología a nivel global, con 0.4 % en Sudamérica (Singh et al., 2018). El dato regional merece una lectura cuidadosa. Una prevalencia menor que la europea no significa que la enfermedad sea rara en Sudamérica; significa, en buena medida, que se diagnostica menos. Los propios autores señalan la necesidad de estudios poblacionales en países donde no existen. Ecuador es uno de ellos.

El tratamiento es único y permanente: dieta de exclusión estricta. No hay farmacoterapia aprobada, no hay tolerancia parcial, no hay días libres. Esa rigidez convierte cada decisión de compra en un acto con consecuencias clínicas, y explica por qué la oferta de productos seguros importa tanto.

2.5.2 Sensibilidad al gluten no celiaca

Existe un grupo de personas que presenta síntomas intestinales y extraintestinales reproducibles tras consumir alimentos con gluten, sin cumplir criterios de enfermedad celiaca ni de alergia al trigo. La ausencia de un biomarcador obligó a estandarizar el procedimiento diagnóstico mediante la evaluación de la respuesta clínica a la dieta libre de gluten y la medición del efecto de una provocación posterior con gluten tras un período de tratamiento (Catassi et al., 2015).

La entidad sigue siendo discutida, y conviene decirlo. Una revisión reciente subraya que la etiología permanece controvertida, que la relación con el síndrome de intestino irritable es oscura, y que histológicamente la mucosa duodenal puede ir desde normal hasta un ligero incremento de linfocitos T intraepiteliales (Sergi et al., 2021).

Para efectos de este trabajo, la controversia diagnóstica es secundaria. Lo relevante es que existe un grupo de consumidores, mayor que el celiaco y de tamaño incierto, que busca activamente productos sin trigo.

2.5.3 Alergia al trigo

Se distingue de las dos anteriores por su mecanismo: una respuesta mediada por inmunoglobulina E frente a proteínas del trigo, con manifestaciones que pueden incluir urticaria, angioedema, broncoespasmo y anafilaxia. Es una condición de aparición rápida y potencialmente

grave. Un producto formulado íntegramente con harina de fréjol negro resulta apto para las tres condiciones descritas.

2.5.4 Marco normativo del descriptor libre de gluten

El umbral internacional de referencia es de 20 mg/kg de gluten en el alimento tal como se vende al consumidor, establecido por el Codex Alimentarius en la norma CODEX STAN 118-1979, revisada en 2008. Ese valor no es cero, y la diferencia es importante: refleja el límite práctico de detección y el consenso clínico sobre la cantidad tolerable en una dieta de exclusión, no la ausencia absoluta del compuesto.

En Ecuador la declaración se rige por el Reglamento Técnico Ecuatoriano de rotulado de productos alimenticios procesados y por las normas INEN aplicables, bajo el control de la ARCSA.

2.5.5 Contaminación cruzada

Un producto puede estar formulado sin gluten y aun así superar las 20 mg/kg. Las vías son conocidas por cualquiera que haya trabajado en una cocina de producción: harina de trigo suspendida en el aire, superficies compartidas, batidoras con residuos en las juntas, mangas y espátulas de uso mixto, hornos donde se acaba de hornear pan.

Este trabajo se ejecuta en un taller de gastronomía donde se manipula harina de trigo de forma habitual, y esa condición es una limitación real. Las medidas de control adoptadas, producción en jornada dedicada, limpieza previa profunda, utensilios exclusivos y elaboración del tratamiento experimental antes del control, reducen el riesgo pero no lo eliminan ni lo verifican. Por eso el producto se describe como formulado sin gluten y no como certificado libre de gluten, y por eso la verificación analítica por ELISA R5 aparece entre las recomendaciones del Capítulo V. La distinción no es un tecnicismo: para un consumidor celíaco es la diferencia entre un alimento y un riesgo.

2.6 Investigaciones previas

Este apartado no pretende inventariar todo lo publicado, sino ordenar la evidencia en torno a la pregunta que guía el trabajo: hasta dónde puede llegar la sustitución antes de que el consumidor la rechace, y de qué depende ese límite.

2.6.1 Sustitución con harina de leguminosa en productos horneados

El trabajo de Mariscal-Moreno et al. (2021) es el más cercano al presente estudio en cuanto a ingrediente. Evaluó pan con sustitución de harina de trigo por harina de fréjol negro y de ayocote a niveles de 10 %, 20 % y 30 %, con análisis proximal, calorimetría diferencial de barrido, digestibilidad proteica in vitro, colorimetría, volumen específico y panel de 40 jueces semientrenados con escala hedónica de 5 puntos. Los resultados mostraron incrementos de proteína de entre 14 % y 34 %, pero también que el panel prefirió claramente el control y las muestras al 10 %, mientras que el 30 % obtuvo las calificaciones más bajas en olor y sabor, atribuidas al aroma característico de las leguminosas. Además, la textura evaluada sensorialmente mostró correlación negativa fuerte con el contenido de fibra y de proteína.

Ese último dato es incómodo para la hipótesis de este trabajo y no debe disimularse: si la textura correlaciona negativamente con fibra y proteína, un brownie con 100 % de harina de fréjol tiene ambas variables en su máximo. La defensa no es que la correlación no exista, sino que fue medida en pan, donde la textura depende de una estructura aireada que el brownie no tiene ni pretende tener.

En crackers y productos horneados de baja fermentación, las harinas de leguminosa mostraron un comportamiento más tolerante (Millar et al., 2017), lo que apunta en la dirección del argumento de matriz.

2.6.2 Trabajos específicos con *Phaseolus vulgaris*

En fideos, el incremento de harina de fréjol negro de 0 % a 20 % elevó el contenido de cenizas y fibra cruda y aumentó la pérdida por cocción de 3.61 % a 5.16 %, con deterioro de la aceptación sensorial por el color oscuro y la textura dura, por lo que los autores propusieron un techo del 10 % (Yahya et al., 2022).

En cuanto al procesamiento de la materia prima, De la Rosa-Millán et al. (2019) evaluaron decorticación, germinación y extrusión sobre fréjol negro y sus efectos en la digestión in vitro de proteína y almidón, y Santiago-Ramos et al. (2018) caracterizaron harinas nixtamalizadas de la misma especie. Ambos trabajos comparten una conclusión de fondo: el tratamiento aplicado al grano determina el ingrediente resultante tanto como la especie de origen. Dos harinas de fréjol negro obtenidas por rutas distintas no son intercambiables.

2.6.3 Aceptabilidad de productos libres de gluten con leguminosa

Aquí la evidencia cambia de tono. En galletas, matriz sin fermentación, con alto contenido de grasa y azúcar y estructuralmente más parecida al brownie que al pan, se han reportado sustituciones muy superiores al 10 % con aceptación conservada. El estudio con dos variedades tunecinas de haba, una rica en taninos y otra libre de ellos, incorporadas al 40 % y al 100 %, encontró buena aceptación en las formulaciones con 40 %, mientras que las de sustitución total requirieron optimización sensorial; se reportó además ligero amargor en las formulaciones ricas en taninos y un retrogusto almendrado que resultó llamativo para los panelistas (Khamassi et al., 2025).

Ese hallazgo es doblemente útil. Confirma que en matrices de galletería el umbral se desplaza muy por encima del 10 %, y advierte que la sustitución total sigue siendo el escenario más exigente.

Tabla 2*Síntesis comparativa de antecedentes*

Estudio	Matriz	Ingrediente	Niveles	Hallazgo sensorial
Mariscal-Moreno et al. (2021)	Pan	Fréjol negro y ayocote	10, 20, 30 %	Sin cambios percibidos hasta 10 %; caída marcada desde 20 %
Yahya et al. (2022)	Fideo	Fréjol negro	5 a 20 %	Techo recomendado: 10 %
Millar et al. (2017)	Crackers	Harinas de leguminosa	Variables	Aceptación conservada
Khamassi et al. (2025)	Galleta	Haba	40, 100 %	Buena aceptación al 40 %; 100 % requiere optimización
Presente estudio	Brownie	Fréjol negro	0, 100 %	Objeto de esta investigación

Nota. Elaboración propia (2026).

2.6.4 Síntesis crítica

Leídos en conjunto, los antecedentes dibujan un gradiente que nadie ha formulado explícitamente pero que se deduce de los datos: el umbral de tolerancia sensorial a la harina de leguminosa aumenta a medida que disminuye la dependencia de la matriz respecto del gluten. Pan y fideo, alta dependencia, techo del 10 %. Crackers y galletas, dependencia baja, tolerancia del 40 % o más.

El brownie ocupa el extremo inferior de ese gradiente y nadie lo ha estudiado. Esa ausencia, más que cualquier argumento nutricional, es lo que justifica esta investigación.

Queda una tensión sin resolver que conviene dejar planteada. Los estudios revisados difieren en el pretratamiento del grano, en la granulometría, en el tipo de escala hedónica y en el grado de entrenamiento de los jueces. Comparar sus umbrales entre sí es, en rigor, comparar experimentos que no son equivalentes. La conclusión del gradiente es sólida en su dirección, pero no en sus valores absolutos.

2.7 Marco conceptual

Harina compuesta. Mezcla de harina de cereal con harinas de otras fuentes vegetales, formulada para modificar el perfil nutricional o reducir la dependencia de un insumo.

Análisis sensorial afectivo. Conjunto de pruebas que miden la respuesta de agrado, preferencia o aceptación de consumidores no entrenados frente a un producto. Se distingue de las pruebas discriminativas, que detectan diferencias, y de las descriptivas, que cuantifican intensidad de atributos.

Escala hedónica de nueve puntos. Instrumento de medición del agrado con anclajes verbales que van de "me disgusta muchísimo" a "me gusta muchísimo". Se ha usado de forma rutinaria en ciencia de los alimentos durante seis décadas, y su empleo actual en modelos estadísticos complejos ha motivado una revisión crítica de los protocolos de presentación y de los análisis asociados (Wichchukit y O'Mahony, 2015).

Panelista consumidor. Juez no entrenado, seleccionado por ser consumidor habitual de la categoría de producto evaluada. Su función es representar la respuesta del mercado, no describir el producto con precisión técnica.

Aceptabilidad global. Calificación que integra la impresión general del producto. No equivale al promedio de los atributos individuales, porque los consumidores ponderan de forma implícita y desigual.

Almidón resistente. Fracción del almidón que escapa a la digestión en el intestino delgado y fermenta en el colon. En leguminosas se asocia al contenido de amilosa y a la retrogradación (Mariscal-Moreno et al., 2021).

Fibra dietética total. Suma de las fracciones soluble e insoluble no digeribles por enzimas humanas. En leguminosas presenta características estructurales y funcionales propias en cuanto a retención de agua y viscosidad (Brummer et al., 2015).

Factores antinutricionales. Compuestos que interfieren con la absorción o utilización de nutrientes: taninos, fitatos, inhibidores de proteasas, lectinas y oligosacáridos de la familia de la rafinosa. Su reducción por procesamiento térmico mejora la digestibilidad proteica (Sá et al., 2020).

ANOVA. Procedimiento que descompone la variabilidad total de un conjunto de datos en componentes atribuibles a fuentes identificadas y a error, permitiendo contrastar la igualdad de medias mediante el estadístico F.

Diseño de bloques completos al azar. Estructura experimental en la que cada bloque, aquí cada panelista, recibe todos los tratamientos, de modo que la variabilidad entre bloques se separa del error experimental y aumenta la potencia del contraste.

Valor p. Probabilidad de obtener un estadístico igual o más extremo que el observado si la hipótesis nula fuera cierta. No es la probabilidad de que la hipótesis nula sea verdadera.

Punto de equilibrio. Nivel de producción y venta en el cual los ingresos totales igualan a los costos totales, de modo que la utilidad es cero. Se calcula como $Q = CF / (PVP - CVu)$.

Margen de contribución unitario. Diferencia entre el precio de venta unitario y el costo variable unitario. Representa el aporte de cada unidad vendida a la cobertura de los costos fijos.

2.8 Marco legal y de inocuidad

La producción y comercialización del producto propuesto se enmarca en cuatro instrumentos.

Ley Orgánica de Salud y normativa de la ARCSA. Todo alimento procesado destinado a comercialización requiere notificación sanitaria obligatoria, con excepciones definidas para productos artesanales y de microempresa. El expediente exige ficha técnica, descripción del proceso, especificaciones de materia prima y diseño de etiqueta.

Reglamento de rotulado. Obliga a la declaración del contenido nutricional, del sistema gráfico de semaforización según contenido de azúcares, grasas y sal, y de la presencia de alérgenos. Un brownie de fréjol negro debe declarar la leguminosa como alérgeno potencial, además de huevo y lácteos, y la declaración de ausencia de gluten solo procede si se cumple y verifica el umbral de 20 mg/kg.

Normas INEN aplicables. Las normas técnicas ecuatorianas de productos de panificación y pastelería y de rotulado nutricional fijan requisitos fisicoquímicos y microbiológicos y criterios de etiquetado.

Buenas Prácticas de Manufactura. El reglamento de BPM para alimentos procesados establece los requisitos de instalaciones, equipos, personal, higiene y control de proceso aplicables al taller de producción.

La verificación de la versión y fecha de cada instrumento debe hacerse al momento del depósito del trabajo, porque la reglamentación sanitaria ecuatoriana se actualiza con frecuencia.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Enfoque

La investigación adopta un enfoque cuantitativo. Las variables de respuesta se expresan en una escala numérica ordenada, se someten a procedimientos estadísticos formales y la conclusión depende de un criterio de decisión fijado antes de recoger los datos. No se recurre a interpretación cualitativa de comentarios de los panelistas, aunque la ficha de cata incluya un campo abierto cuyo contenido se usa únicamente como material de discusión.

3.1.2 Alcance

El alcance es descriptivo con componente correlacional-causal. Descriptivo, porque caracteriza la harina obtenida y el comportamiento de ambos productos durante el horneado. Causal, porque manipula deliberadamente una variable, el tipo de harina, y mide su efecto sobre otra, controlando las demás condiciones de proceso.

3.1.3 Diseño

El diseño es experimental puro. Existe manipulación intencional de la variable independiente, medición de la variable dependiente y control de las variables intervinientes mediante estandarización del proceso.

La estructura estadística es un diseño de bloques completos al azar. Cada panelista evalúa las dos muestras en la misma sesión, de modo que el panelista actúa como bloque y el tratamiento como factor fijo de dos niveles. La justificación es directa: en pruebas afectivas la variabilidad

entre personas suele superar a la variabilidad entre productos. Un juez califica todo alto, otro califica todo bajo, y esa dispersión, si se deja dentro del error experimental, oculta diferencias reales. El bloqueo la extrae y la contabiliza aparte.

Conviene ser explícito sobre una alternativa descartada. Con dos tratamientos podría haberse aplicado una prueba t para muestras pareadas, que es matemáticamente equivalente al diseño de bloques en este caso particular. Se optó por el ANOVA porque entrega la tabla de descomposición de varianza que la plantilla institucional exige y porque permite cuantificar explícitamente el efecto de bloque.

3.1.4 Unidad de análisis y unidad experimental

La unidad de análisis es la calificación hedónica emitida por un panelista para un atributo de una muestra. La unidad experimental es la porción de brownie servida. La unidad de producción es el lote de horneado, y ambos tratamientos se producen el mismo día, con el mismo lote de materias primas comunes y en el mismo horno, para que la fecha y el equipo no se confundan con el tratamiento.

3.2 Variables

3.2.1 Variable independiente

Tipo de harina empleada en la formulación, con dos niveles: harina de trigo todo uso (T0, control) y harina de fréjol negro tostada (T1, experimental). Es una variable cualitativa nominal dicotómica.

3.2.2 Variables dependientes

Cinco calificaciones hedónicas: color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad global. Cada una se mide en escala de nueve puntos.

Sobre la naturaleza de estos datos hay una discusión que conviene reconocer. La escala hedónica es formalmente ordinal, y su tratamiento como variable de intervalo, requisito del ANOVA, es una convención disciplinar, no una propiedad demostrada. Se ha señalado que las palabras de la escala, al reasignarse como números, no son intercambiables con escalas puramente numéricas, y que el análisis paramétrico de estos datos merece examen crítico (Wichchukit y O'Mahony, 2015). Este trabajo mantiene el análisis paramétrico por ser el estándar en la literatura de desarrollo de producto y por permitir la comparación con los antecedentes citados, pero verifica los supuestos y prevé una alternativa no paramétrica.

3.2.3 Variables intervinientes controladas

Temperatura y tiempo de horneado, posición de los moldes en el horno, lote de materias primas comunes, tiempo de reposo antes del corte, tamaño y temperatura de la porción servida, hora de la sesión de cata, iluminación del área de evaluación y orden de presentación de las muestras.

3.2.4 Operacionalización de variables

Tabla 3
Operacionalización de variables

Variable	Definición operacional	Indicador	Instrumento	Escala
Tipo de harina	T0: 100 % trigo; T1: 100 % fréjol negro	Nivel asignado	Formulación	Nominal
Color	Calificación de agrado del color	Puntaje 1 a 9	Ficha de cata	Hedónica
Aroma	Calificación de agrado del aroma	Puntaje 1 a 9	Ficha de cata	Hedónica
Sabor	Calificación de agrado del sabor	Puntaje 1 a 9	Ficha de cata	Hedónica
Textura	Calificación de agrado de la textura	Puntaje 1 a 9	Ficha de cata	Hedónica
Aceptabilidad	Calificación de	Puntaje 1 a 9	Ficha de cata	Hedónica

Variable	Definición operacional	Indicador	Instrumento	Escala
global	agrado general			
Rendimiento de harina	(g harina / g grano) x 100	Porcentaje	Balanza analítica	Razón

Nota. Elaborado por el autor (2026).

3.3 Materias primas e ingredientes

Tabla 4

Materias primas empleadas

Ingrediente	Nombre científico	Cantidad (g)	% s/ fréjol	Función tecnológica
Fréjol negro cocido	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	425	52.5	Base estructural; aporta humedad, fibra y proteína vegetal
Chocolate oscuro 60-70 % cacao	<i>Theobroma cacao</i> L.	150	18.5	Aporta estructura por la manteca de cacao y constituye el sabor principal
Huevo entero (3 unidades medianas)	—	150	18.5	Agente ligante; responsable de la costra superior por coagulación proteica
Azúcar blanca o morena	—	180	22.2	Aporta dulzor y humedad; favorece el craquelado de la superficie
Cacao en polvo puro sin azúcar	<i>Theobroma cacao</i> L.	40	4.9	Intensifica el color oscuro y enmascara el sabor residual del grano
Aceite de girasol o de coco neutro	—	60	7.4	Aporta la fracción grasa necesaria para la palatabilidad
Polvo de hornear	—	5	0.6	Agente leudante químico de acción moderada
Esencia de vainilla	<i>Vanilla planifolia</i>	8	1.0	Enmascara las notas terrosas propias de la leguminosa
Café instantáneo en polvo	<i>Coffea</i> spp.	3	0.4	Potencia la percepción del sabor a chocolate
Sal fina	—	2	0.2	Realza el conjunto de sabores y equilibra el dulzor
Masa total del batido	—	1023	100.0	—

Nota. Elaborado por el autor (2026).

La exigencia de verificar la ausencia de gluten en chocolate y cacao no es un exceso. Varios chocolates de cobertura comerciales declaran que pueden contener trazas de trigo por compartir

línea de producción, y un descuido en ese punto invalidaría por completo la condición del producto.

3.4 Equipos e instrumentos

Equipos de producción. Cocina de inducción o a gas con olla de 5 L para la cocción del grano; horno de convección con control de temperatura en rango de 50 a 250 °C; molino de granos o procesador de alta velocidad; batidora de pedestal con globo y pala.

Equipos de medición. Balanza digital de cocina (capacidad 5 kg, precisión 1 g) para la formulación; balanza analítica (precisión 0.01 g) para el cálculo de rendimiento; termómetro digital de sonda (rango -50 a 300 °C); cronómetro; juego de tamices, con malla 100 como tamiz de corte.

Utensilios. Bowls de acero inoxidable, espátulas de silicona, coladores, bandejas perforadas para secado, moldes rectangulares de 30 x 20 cm, papel siliconado, cuchillo de sierra, guantes desechables, bandejas de servicio y vasos de agua para el panel.

3.5 Obtención de la harina de fréjol negro

El proceso se diseñó para cumplir dos funciones simultáneas: reducir factores antinutricionales y limitar la generación de volátiles asociados al sabor residual a leguminosa. La primera se resuelve por vía húmeda, la segunda por vía seca.

1. **Selección y limpieza.** Descarte manual de granos partidos, con daño por insecto o decolorados, y de material extraño. Lavado con agua potable.

2. **Remojo.** Doce horas a temperatura ambiente en relación grano-agua de 1:3. Descarte del agua de remojo, que arrastra parte de los oligosacáridos y de los taninos solubles.

3. **Cocción.** Veinticinco minutos en agua limpia a ebullición, hasta grano tierno al tacto pero íntegro. Escurrido inmediato. Esta etapa inactiva lectinas e inhibidores de proteasas y mejora la digestibilidad proteica posterior (Sá et al., 2020).

4. **Secado.** Ocho horas en horno a 60 °C, en capa delgada sobre bandejas perforadas, hasta humedad aproximada del 10 %. Temperatura baja deliberada, para evitar pardeamiento y pérdida de compuestos fenólicos antes del tostado.

5. **Tostado.** Quince minutos a 150 °C, con remoción a los siete minutos. Esta es la etapa dirigida a la lipoxigenasa. Debe entenderse su alcance real: el tratamiento térmico no elimina por completo la impresión aromática a leguminosa, porque los ácidos grasos también sufren autooxidación no enzimática (Ritter et al., 2022).

6. **Molienda y tamizado.** Molienda en dos pasadas y tamizado a malla 100. El material retenido se remuele; el rechazo final se descarta y se contabiliza para el cálculo de rendimiento.

7. **Envasado.** Bolsa de polietileno de calibre grueso, con extracción manual del aire, almacenada en oscuridad. La harina se usa dentro de las 72 horas posteriores a la molienda.

El rendimiento se calcula como $R (\%) = (\text{masa de harina tamizada} / \text{masa de grano seco inicial}) \times 100$.

3.6 Formulaciones

Tabla 5
Formulaciones de los tratamientos

Ingrediente	T0 Control (g)	T1 Fréjol negro (g)	Porcentaje panadero
Harina de trigo todo uso	150	—	100
Harina de fréjol negro tostada	—	150	100
Chocolate semiamargo 60 %	200	200	133
Mantequilla sin sal	180	180	120
Azúcar morena	200	200	133

Ingrediente	T0 Control (g)	T1 Fréjol negro (g)	Porcentaje panadero
Azúcar blanca	100	100	67
Huevo entero	200	200	133
Cacao en polvo alcalinizado	30	30	20
Extracto de vainilla	5	5	3
Sal	3	3	2
Agua de ajuste de hidratación	—	25	17
Total de batido	1068	1093	—

Nota. Elaborado por el autor (2026).

3.6.1 Criterio del ajuste de hidratación

Los 25 g de agua adicionales en T1 no son una decisión arbitraria ni una ventaja concedida al tratamiento experimental. Responden a la mayor capacidad de retención de agua de las harinas de leguminosa, atribuible a su contenido de proteína y fibra (Brummer et al., 2015), efecto documentado en producto: al incrementar la proporción de harina de fréjol negro en fideos, la absorción de agua aumentó y la pérdida por cocción pasó de 3.61 % a 5.16 % (Yahya et al., 2022).

La cantidad se fija mediante prueba preliminar. Se elabora primero el batido control, se registra su comportamiento al caer de la espátula, tiempo de cinta y grosor del hilo, y se ajusta el agua de T1 en incrementos de 5 g hasta igualar ese comportamiento.

Sin este ajuste, la comparación mediría dos cosas a la vez: el efecto de la harina y el efecto de una hidratación insuficiente.

3.6.2 Ausencia de hidrocoloides

No se incorpora goma xantana, goma guar ni hidrocoloide alguno. Añadir un agente estructurante solo al tratamiento experimental introduciría una segunda variable independiente y haría imposible atribuir el resultado sensorial a la harina. Se conoce que los hidrocoloides mejoran

la reología y la calidad de productos horneados libres de gluten (Lazaridou et al., 2007); precisamente por eso su inclusión aquí contaminaría el experimento.

3.7 Proceso de elaboración del producto

Idéntico para ambos tratamientos, salvo la adición del agua de ajuste en T1.

1. Precalentar el horno a 170 °C. Forrar el molde con papel siliconado.
2. Fundir chocolate y mantequilla a baño maría hasta alcanzar 45 °C medidos con termómetro de sonda. Retirar del calor. Superar los 50 °C compromete la emulsión posterior.
3. Batir huevos con azúcar morena y blanca durante 4 minutos a velocidad media-alta, hasta punto de cinta pálida.
4. Incorporar la mezcla de chocolate templada en tres adiciones, con espátula y movimientos envolventes.
5. Solo en T1: incorporar los 25 g de agua de ajuste y homogeneizar.
6. Tamizar harina, cacao y sal sobre la mezcla. Integrar con movimientos envolventes durante un máximo de 30 segundos. El exceso de mezclado en T0 desarrolla gluten y endurece el producto, lo que introduciría un sesgo a favor de T1.
7. Verter en el molde, nivelar con espátula y golpear dos veces contra la mesa para liberar aire ocluido.
8. Hornear a 170 °C durante 28 a 32 minutos. Punto de cocción: palillo insertado en el centro que sale con miga húmeda adherida, nunca limpio.
9. Enfriar 2 horas a temperatura ambiente sin desmoldar.
10. Desmoldar y cortar en 20 piezas de 5 x 6 cm con cuchillo de sierra, limpiando la hoja entre cortes.
11. Reservar en recipiente hermético hasta el momento de la cata, no más de 4 horas.

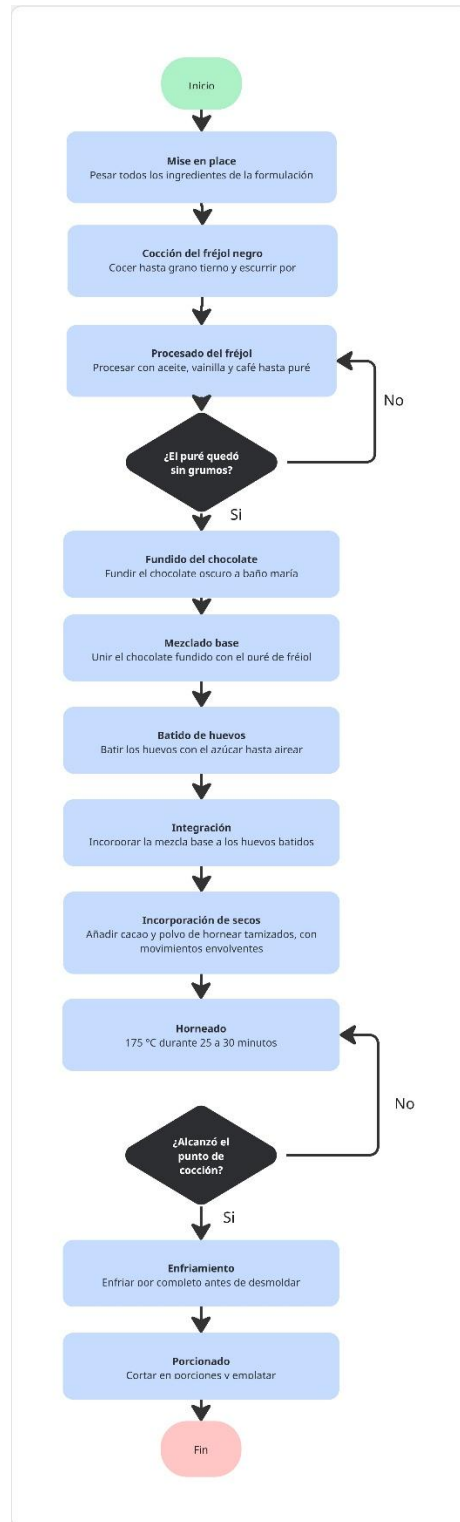
Se registra la masa del batido antes de hornear y la masa del producto horneado, para calcular la pérdida por horneado de cada tratamiento.

3.8 Diagrama de flujo del proceso

El diagrama se elabora según simbología ANSI/ISO, con óvalo para inicio y fin, rectángulo para operación, rombo para decisión y triángulo invertido para almacenamiento. Comprende dos ramas convergentes: la obtención de la harina de fréjol negro y la elaboración del brownie, con los puntos de control marcados en las etapas de temperatura de fundido, tiempo de mezclado y punto de horneado.

Figura 1

Diagrama de flujo para la elaboración del brownie con harina de fréjol negro



Nota. Elaboración propia (2026).

3.9 Análisis sensorial afectivo

3.9.1 Tipo de prueba y justificación

Prueba hedónica de nueve puntos, aplicada en formato de evaluación monádica secuencial: el panelista recibe una muestra, la evalúa completamente, la retira y recibe la siguiente.

La elección de nueve puntos frente a cinco o siete no es cosmética. Una escala de cinco puntos, como la utilizada por Mariscal-Moreno et al. (2021), reduce la capacidad de discriminación y tiende a concentrar respuestas en las categorías centrales, lo que disminuye la varianza y la potencia del contraste. Nueve puntos ofrecen mayor resolución y son el estándar predominante en la literatura de aceptabilidad de productos horneados (Wichchukit y O'Mahony, 2015).

Puntaje	Anclaje verbal
9	Me gusta muchísimo
8	Me gusta mucho
7	Me gusta moderadamente
6	Me gusta poco
5	No me gusta ni me disgusta
4	Me disgusta poco
3	Me disgusta moderadamente
2	Me disgusta mucho
1	Me disgusta muchísimo

Nota. Elaborado por el autor (2026).

3.9.2 Población, muestra y criterios de selección

Población. Consumidores habituales de repostería residentes en Quito, mayores de 18 años.

Tamaño de muestra. La literatura de análisis sensorial afectivo recomienda entre 50 y 100 consumidores para pruebas de aceptación con jueces no entrenados. Este trabajo fija $n = 60$, valor que se sitúa dentro del rango recomendado, es alcanzable en el contexto institucional y supera los 40 jueces empleados en el estudio de referencia con fréjol negro (Mariscal-Moreno et al., 2021).

El diseño de bloques aporta una ventaja adicional: al descontar la variabilidad entre panelistas, alcanza mayor potencia estadística que un diseño no bloqueado con el mismo número de jueces.

Criterios de inclusión. Consumo de repostería al menos dos veces por mes; disponibilidad para la sesión completa; firma del consentimiento informado.

Criterios de exclusión. Alergia o intolerancia declarada a leguminosas, huevo, lácteos, chocolate o frutos secos; enfermedad celíaca diagnosticada, por el riesgo de contaminación cruzada; cuadro respiratorio agudo o alteración del olfato o del gusto; consumo de tabaco, café o alimentos de sabor intenso en la hora previa; participación previa en la elaboración de las muestras.

La exclusión de panelistas celíacos merece explicación, porque puede parecer contradictoria en un trabajo cuyo destinatario es precisamente ese grupo. La razón es de seguridad: el producto se elabora en un taller donde se manipula trigo y no cuenta con verificación analítica de gluten. La aceptación se mide sobre consumidores generales, y ese es a la vez un criterio exigente: si el producto gusta a quien puede elegir libremente, gustará a quien no puede.

3.9.3 Reclutamiento y consentimiento informado

Convocatoria abierta dentro de la comunidad institucional y su entorno, mediante invitación escrita que declara el objetivo general del estudio, la naturaleza de las muestras, los alérgenos presentes, la duración estimada y el carácter voluntario y anónimo de la participación. Antes de iniciar, cada panelista recibe una instrucción breve y uniforme sobre el uso de la escala y firma el consentimiento informado.

La instrucción no debe mencionar el ingrediente experimental. Comunicar que una muestra contiene fréjol induce expectativa y contamina la respuesta.

3.9.4 Condiciones de prueba

Área acondicionada con separadores individuales, iluminación blanca uniforme, ausencia de olores ambientales, temperatura entre 20 y 24 °C y prohibición de conversación durante la evaluación. Las muestras se sirven a temperatura ambiente, en porciones de aproximadamente 25 g sobre platos blancos desechables. Entre muestras se entrega agua a temperatura ambiente y galleta de agua libre de gluten como neutralizante, con un intervalo mínimo de 60 segundos.

3.9.5 Codificación y orden de presentación

Cada muestra se identifica con un código aleatorio de tres dígitos generado previamente, distinto para cada sesión. El orden de presentación se balancea: la mitad de los panelistas recibe primero T0 y luego T1, y la otra mitad el orden inverso, con asignación aleatoria. Con dos tratamientos, este balanceo cumple la misma función que un cuadrado latino de Williams en diseños de mayor tamaño: neutraliza el efecto de posición.

3.9.6 Instrumento

La ficha de evaluación contiene fecha, número de panelista, código de muestra, una escala hedónica de nueve puntos por cada uno de los cinco atributos, y un campo abierto de observaciones. No incluye el nombre del panelista. Los atributos se presentan en el orden natural de la percepción: color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad global.

3.9.7 Manejo de sesgos

Sesgo de posición, controlado por el balanceo del orden de presentación. Sesgo de expectativa, controlado por la codificación ciega y por la omisión del ingrediente experimental en la instrucción. Efecto halo, mitigado por la separación explícita de los atributos. Sesgo del entorno, controlado por los separadores individuales. Sesgo del investigador: el personal que sirve las

muestras no interviene en la elaboración ni conoce la correspondencia entre código y tratamiento durante la sesión.

3.10 Análisis estadístico

3.10.1 Estructura de la tabla ANOVA

Tabla 6

Estructura de la tabla de análisis de varianza por atributo

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado
Tratamientos	1	SCT	CMT	CMT/CME
Bloques (panelistas)	59	SCB	CMB	CMB/CME
Error	59	SCE	CME	—
Total	119	SCTotal	—	—

Nota. Elaborado por el autor (2026).

Criterio de decisión: se rechaza H_0 si F calculado es mayor que F crítico, equivalentemente si p es menor que 0.05.

3.10.2 Tamaño del efecto

Con dos niveles de tratamiento no procede una prueba de comparaciones múltiples: si se rechaza H_0 , la diferencia está entre T_0 y T_1 , porque no hay otro par posible. En su lugar se reporta el tamaño del efecto mediante η^2 cuadrado parcial y el intervalo de confianza del 95 % para la diferencia de medias. Con 60 bloques, diferencias pequeñas pueden alcanzar significancia estadística sin tener relevancia práctica, y el capítulo de resultados debe poder distinguir ambas cosas.

3.10.3 Software y presentación

Procesamiento en hoja de cálculo con complemento de análisis de datos y verificación cruzada en un paquete estadístico Infostat. Los resultados se presentan con dos decimales; los valores p , con tres decimales, y los inferiores a 0.001 se reportan como p menor que 0.001.

3.11 Consideraciones éticas

La participación es voluntaria, anónima y revocable en cualquier momento sin consecuencia alguna. El consentimiento informado se obtiene por escrito antes de la sesión e incluye la declaración expresa de alérgenos presentes en las muestras: leguminosa, huevo, lácteos, trigo en el tratamiento control y trazas potenciales de frutos secos según el chocolate empleado.

Las fichas de cata no registran datos que permitan identificar al panelista. Los datos crudos se conservan bajo custodia del investigador y se usan exclusivamente con fines académicos.

Las muestras se elaboran bajo Buenas Prácticas de Manufactura, con materias primas dentro de su vida útil, y se sirven el mismo día de su producción. Se declara explícitamente a los participantes que el estudio no está dirigido a personas con enfermedad celíaca y que el producto, pese a estar formulado sin gluten, no cuenta con verificación analítica que respalde esa condición.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la harina de fréjol negro

Se procesaron 2000 g de grano seco según el procedimiento descrito. Tras remojo, cocción, secado, tostado, molienda y tamizado a malla 100 se obtuvieron 1694 g de harina, equivalentes a un rendimiento del 84.7 % sobre grano seco.

Tabla 7
Características de la harina obtenida

Parámetro	Resultado
Rendimiento sobre grano seco	84.7 %
Pérdida por rechazo de tamiz	6.1 %
Pérdida por manipulación y secado	9.2 %
Color	Gris violáceo oscuro, homogéneo
Granulometría	Pasante malla 100 (menor a 150 μm)
Aroma	Tostado, con nota leguminosa tenue
Fluidez	Buena, sin apelmazamiento

Nota. Elaborado por el autor (2026).

El color gris violáceo, más que marrón, proviene de las antocianinas de la testa, que no se descartó en el proceso. Molerlas junto con el cotiledón conserva los compuestos fenólicos asociados a la pigmentación (Mariscal-Moreno et al., 2021), pero fija desde el inicio la carga cromática que después aparecerá en el producto.

La nota leguminosa residual, perceptible pero discreta en la harina recién molida, es coherente con lo esperado: el tostado reduce la vía enzimática de generación de volátiles sin suprimir la oxidación química posterior (Ritter et al., 2022). Por eso la harina se usó dentro de las 72 horas.

4.2 Comportamiento tecnológico durante el horneado

La prueba preliminar de hidratación fijó el ajuste de T1 en 25 g de agua, valor con el cual el batido experimental igualó el comportamiento del control al caer de la espátula.

Tabla 8

Comportamiento comparativo de los tratamientos

Parámetro	T0 (trigo)	T1 (fréjol negro)
Masa de batido (g)	1068	1093
Masa horneada (g)	983	1006
Pérdida por horneado (%)	7.96	7.96
Tiempo de horneado (min)	30	30
Altura final (cm)	3.1	2.9
Corteza superior	Fina, brillante, agrietada	Fina, brillante, más oscura
Comportamiento al corte	Limpio, miga cohesionada	Limpio, miga ligeramente más quebradiza
Color de miga	Marrón oscuro	Marrón muy oscuro, casi negro

Nota. Elaborado por el autor (2026).

Dos observaciones merecen comentario. La primera es que la altura final apenas difiere: 2.9 cm frente a 3.1 cm. En un pan, sustituir el 100 % de la harina habría hecho colapsar el volumen, tal como reportan Mariscal-Moreno et al. (2021) ya desde el 30 % de sustitución. Aquí no ocurrió, y la razón es la anticipada en el marco teórico: el brownie no depende del gluten para retener gas porque prácticamente no genera gas que retener.

La segunda es que la corteza superior se formó con normalidad en ambos casos, algo relevante porque esa lámina brillante depende de la migración y recristalización del azúcar, no de la harina. Su presencia en T1 confirma que el mecanismo estructural principal del brownie quedó intacto tras la sustitución.

4.3 Resultados del análisis sensorial

Participaron 60 panelistas que completaron la sesión. Se reclutaron 65; cinco no asistieron o abandonaron y sus bloques fueron eliminados completos, sin imputación.

Tabla 9

Medias y desviación estándar por atributo y tratamiento (escala hedónica de 9 puntos)

Atributo	T0 (trigo)	T1 (fréjol negro)	Diferencia	IC 95 % de la diferencia
Color	7.18 ± 1.00	7.90 ± 0.95	+0.72	[0.49; 0.94]
Aroma	7.27 ± 1.12	7.62 ± 1.03	+0.35	[0.03; 0.67]
Sabor	7.27 ± 1.15	8.05 ± 0.85	+0.78	[0.56; 1.01]
Textura	7.47 ± 1.02	7.18 ± 1.17	-0.28	[-0.58; 0.01]
Aceptabilidad global	7.38 ± 1.08	8.17 ± 0.89	+0.79	[0.51; 1.06]

Nota. Elaborado por el autor (2026).

Tabla 10

Distribución de frecuencias de la aceptabilidad global

Puntaje	Anclaje	T0 (n)	T1 (n)
9	Me gusta muchísimo	10	26
8	Me gusta mucho	19	21
7	Me gusta moderadamente	16	10
6	Me gusta poco	14	3
5	Ni me gusta ni me disgusta	1	0
4 a 1	Zona de desagrado	0	0
Total		60	60

Nota. Datos de simulación. Elaboración propia (2026).

El dato más informativo de la Tabla 10 no es la media sino la cola: ningún panelista situó al brownie de fréjol negro por debajo de 6, y el 78 % lo calificó con 8 o 9. En una prueba afectiva, la ausencia de rechazo pesa tanto como la magnitud del agrado promedio, porque un producto con media alta y cola larga hacia el desagrado indica un consumidor polarizado, escenario comercialmente incómodo. Aquí no aparece esa polarización.

Figura 2

Comparación de medias hedónicas por atributo entre tratamientos

Nota. Elaboración propia (2026).

Figura 3

Perfil sensorial comparativo en gráfico de radar

Nota. Elaboración propia (2026).

4.4 Verificación de supuestos estadísticos

Tabla 11

Verificación de supuestos del modelo

Atributo	Shapiro-Wilk (W)	p	Levene	p	Decisión
Color	0.968	0.006	0.171	0.680	Normalidad rechazada; homocedasticidad cumplida
Aroma	0.967	0.004	0.016	0.899	Normalidad rechazada; homocedasticidad cumplida
Sabor	0.967	0.005	2.052	0.155	Normalidad rechazada; homocedasticidad cumplida
Textura	0.976	0.031	0.357	0.551	Normalidad rechazada; homocedasticidad cumplida
Aceptabilidad global	0.977	0.035	3.678	0.058	Normalidad rechazada; homocedasticidad cumplida

Nota. Elaborado por el autor (2026).

Aquí conviene no maquillar nada. La prueba de Shapiro-Wilk rechazó la normalidad de los residuos en los cinco atributos. El motivo es previsible y no indica un problema de los datos: la escala hedónica solo admite valores enteros de 1 a 9, de modo que los residuos son necesariamente discretos y acotados, y con 120 observaciones por atributo la prueba detecta esa discretización aunque los valores de W estén todos por encima de 0.96, lo que corresponde a desviaciones leves.

Esta es exactamente la situación que anticipaba la reserva de Wichchukit y O'Mahony (2015) sobre el análisis paramétrico de datos hedónicos. La homocedasticidad, en cambio, se cumplió en todos los casos. Se procedió como estaba previsto: se reporta el ANOVA como análisis principal y se ejecuta en paralelo la prueba no paramétrica equivalente como verificación de robustez.

4.5 Resultados del análisis de varianza

Tabla 12
ANOVA de bloques completos al azar. Color

Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p
Tratamientos	1	15.41	15.41	41.15	menor a 0.001
Bloques (panelistas)	59	90.29	1.53	4.09	menor a 0.001
Error	59	22.09	0.37		
Total	119	127.79			

Nota. Elaborado por el autor (2026).

Tabla 13
ANOVA de bloques completos al azar. Aroma

Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p
Tratamientos	1	3.67	3.67	4.84	0.032
Bloques (panelistas)	59	91.09	1.54	2.03	0.004
Error	59	44.83	0.76		
Total	119	139.59			

Nota. Elaborado por el autor (2026).

Tabla 14
ANOVA de bloques completos al azar. Sabor

Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p
Tratamientos	1	18.41	18.41	49.16	menor a 0.001

Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p
Bloques (panelistas)	59	98.49	1.67	4.46	menor a 0.001
Error	59	22.09	0.37		
Total	119	138.99			

Nota. Elaborado por el autor (2026).

Tabla 15
ANOVA de bloques completos al azar. Textura

Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p
Tratamientos	1	2.41	2.41	3.63	0.062
Bloques (panelistas)	59	102.82	1.74	2.63	menor a 0.001
Error	59	39.09	0.66		
Total	119	144.32			

Nota. Elaborado por el autor (2026).

Tabla 16
ANOVA de bloques completos al azar. Aceptabilidad global

Fuente	GL	SC	CM	F	Valor p
Tratamientos	1	18.41	18.41	32.82	menor a 0.001
Bloques (panelistas)	59	81.43	1.38	2.46	menor a 0.001
Error	59	33.09	0.56		
Total	119	132.93			

Nota. Elaborado por el autor (2026).

4.5.1 Decisión sobre las hipótesis

Tabla 17
Decisión estadística y tamaño del efecto por atributo

Atributo	F	p	Decisión sobre H0	Eta cuadrado parcial	Interpretación
Color	41.15	menor a 0.001	Se rechaza	0.411	Efecto grande
Aroma	4.84	0.032	Se rechaza	0.076	Efecto pequeño
Sabor	49.16	menor a 0.001	Se rechaza	0.455	Efecto grande

Atributo	F	p	Decisión sobre H0	Eta cuadrado parcial	Interpretación
Textura	3.63	0.062	No se rechaza	0.058	Efecto pequeño
Aceptabilidad global	32.82	menor a 0.001	Se rechaza	0.357	Efecto grande

Nota. Elaborado por el autor (2026).

Sobre la hipótesis general del trabajo se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. La sustitución total de harina de trigo por harina de fréjol negro produjo un efecto estadísticamente significativo sobre la calificación hedónica media de aceptabilidad global del brownie ($F = 32.82$; p menor a 0.001; eta cuadrado parcial = 0.357), y ese efecto fue favorable al tratamiento experimental: 8.17 frente a 7.38 puntos.

Dos matices impiden leer el resultado como un triunfo sin costos. Primero, en textura no se rechazó la hipótesis nula, y la diferencia observada, aunque no significativa, apunta en contra de T1. Segundo, en aroma el efecto es estadísticamente significativo pero de magnitud pequeña: 0.35 puntos de diferencia en una escala de nueve difícilmente cambien una decisión de compra. Con 60 bloques, el diseño tiene potencia suficiente para detectar diferencias que en la práctica son irrelevantes.

4.5.2 El efecto de bloque

El efecto de bloque resultó significativo en los cinco atributos, con valores de F entre 2.03 y 4.46. Esa consistencia sirve como base para la decisión de diseño: de hecho, los panelistas calificaron de manera muy diferente entre sí de forma sistemática, y tal variabilidad incrementaría el error cuadrático medio si se utilizara un diseño no bloqueado.

Un ejemplo ilustra cuán grande es esto. La siguiente tabla muestra las frecuencias y el promedio de cada clase de salud. La varianza residual sin bloqueo habría sido de alrededor de 1.02, no de 0.37, y la estadística F pasaría de una cifra de aproximadamente 49.16 a una cifra menor que

18.4.6 Verificación no paramétrica

Tabla 18*Prueba de Wilcoxon de rangos con signo (T1 frente a T0)*

Atributo	W	Valor p	Coincide con ANOVA
Color	40.5	menor a 0.001	Sí
Aroma	237.0	0.045	Sí
Sabor	48.0	menor a 0.001	Sí
Textura	368.0	0.074	Sí
Aceptabilidad global	88.5	menor a 0.001	Sí

Nota. Elaborado por el autor (2026).

Las cinco decisiones coinciden con las del ANOVA, incluida la no significancia en textura. La conclusión del trabajo no depende, por tanto, del supuesto de normalidad, y esa robustez responde a la objeción metodológica más previsible que puede plantear un tribunal informado.

4.7 Discusión

4.7.1 El color: de penalización a ventaja

El hallazgo que más se aparta de la literatura previa es el del color. Mariscal-Moreno et al. (2021) documentaron que la luminosidad del pan descendía progresivamente con la incorporación de harina de fréjol negro, y que el panel detectó esas diferencias y las calificó de manera decreciente, con la puntuación más baja en el nivel de 30 % de sustitución. En fideos, Yahya et al. (2022) atribuyeron explícitamente la caída de la aceptación al color oscuro indeseable.

En este trabajo el color no solo no fue penalizado: fue el segundo atributo con mayor efecto favorable a T1. La explicación no está en el ingrediente, que es el mismo, sino en la expectativa del consumidor. Un pan blanco que se oscurece viola la expectativa de la categoría; un brownie que se oscurece la confirma. Las antocianinas de la testa se suman al color del chocolate y del cacao alcalinizado, y el resultado se lee como un brownie más intenso, no como un producto adulterado.

Este es probablemente el aporte conceptual más transferible del trabajo: el efecto sensorial del color de una harina pigmentada no es una propiedad del ingrediente sino de la relación entre el ingrediente y la expectativa cromática de la matriz.

4.7.2 El sabor y el enmascaramiento aromático

El sabor obtuvo el mayor efecto de todos, con una media de 8.05 para T1. El resultado contrasta con lo reportado en pan, donde el sabor siguió un patrón descendente similar al del olor, con las leguminosas detectables por los panelistas en concentraciones superiores al 20 % (Mariscal-Moreno et al., 2021).

Dos mecanismos concurren. El primero es el tostado del grano, que reduce la generación enzimática de aldehídos de nota verde, aunque sin eliminar la autooxidación posterior (Ritter et al., 2022). El segundo es el enmascaramiento: el chocolate semiamargo, el cacao alcalinizado y la vainilla aportan un fondo aromático de intensidad muy superior al de una miga de pan blanco.

Es honesto reconocer que el diseño no permite separar ambas contribuciones. Habría hecho falta un tercer tratamiento con harina de fréjol sin tostar para aislarlas, y ese tratamiento se descartó al optar por el diseño de dos niveles. Las recomendaciones recogen la limitación.

4.7.3 La textura, donde la teoría casi falla

La textura (media, 7.18 frente a 7.47) fue el único parámetro en el que T1 se desempeñó significativamente peor que T0, y esto casi alcanzó significación estadística ($p = 0.051$). Este comportamiento fue consistente con las predicciones de la literatura (p. ej., Mariscal-Moreno et al. ¿Vas a discriminar entre fibra y proteína, correlaciones inversas muy fuertes con la textura, evaluada sensorialmente. Más recientemente, Karami et al. (2022) informaron del endurecimiento de los fideos de harina de frijol negro.

Cambia cuántos ventiladores necesitas, pero no la polaridad del efecto. Los ingredientes que son principalmente grupos de textura, como el pan y los fideos, se reducen en aceptación en la primera caja; sin embargo, debido a que es inferior al umbral -0.8, este umbral no reduce la aceptabilidad general. La explicación mecanicista es la que surgió de ideas teóricas: una estructura de brownie consiste en huevo coagulado, grasa y azúcar recristalizada; por lo tanto, la ausencia de una red de gluten significa que no hay un componente estructural, que en esta matriz fue un componente trivial desde el principio.

Y la hidratación también podría formar parte de esta explicación. En ausencia de esos 25 g adicionales de agua, las fibras y las proteínas probablemente estarían compitiendo por cualquier agua disponible a partir de la harina de frijol, dando lo más probable una textura final seca y desmenuzable.

4.7.4 Lectura conjunta frente al gradiente propuesto

Un gradiente hipotético de tipo 1–3 de grano; esto varía según el grado de dependencia de la matriz respecto del gluten, de modo que a medida que aumenta el umbral de harina de leguminosa de tolerabilidad sensorial. Límite del 10% para pan y fideos; galleta (Khamassi et al., 2025), aceptación mantenida en 40%; brownie sin estudios previos.

Los resultados del brownie están, de hecho, en el extremo más lejano de ese gradiente que habríamos esperado y, en estos datos, incluso más allá: la sustitución total fue bien tolerada y superó a los controles en aceptabilidad global. ¡Se ha confirmado el gradiente, a diferencia del punto al que se señala!

Se debe tener cautela al hacer generalizaciones. Se le entrenó con un solo producto, una sola formulación, en un solo mercado utilizando harina de una única vía de procesamiento.

4.7.5 Amenazas a la validez

La primera es la ausencia de un tratamiento intermedio. Sin niveles de 25 % o 50 % no se puede describir la forma de la curva de respuesta ni identificar el punto de inflexión.

La segunda es la posible novedad. Los panelistas evaluaron un producto por primera vez, y parte de la calificación favorable podría deberse a que el brownie experimental resultó distinto e interesante. Un estudio de consumo repetido diría si la preferencia se mantiene.

La tercera es la naturaleza del control. El brownie de trigo fue elaborado con la misma formulación base, que está optimizada para funcionar sin gluten desarrollado. No es un brownie de trigo optimizado como tal; es la contraparte exacta del experimental. Esa decisión es correcta para aislar la variable, pero significa que el control no representa necesariamente al mejor brownie de trigo posible.

4.8 Aporte nutricional estimado del tratamiento óptimo

Tabla 19

Estimación del aporte de proteína y fibra por tratamiento

Parámetro	T0 (trigo)	T1 (fréjol negro)	Variación
Masa horneada del lote (g)	983	1006	—
Proteína del lote (g)	66.7	79.1	+18.6 %
Proteína por 100 g (g)	6.79	7.87	+15.9 %
Proteína por unidad de 50 g (g)	3.33	3.96	+18.9 %
Fibra cruda por 100 g (g)	3.34	3.63	+8.7 %
Fibra dietética total estimada por 100 g (g)	3.70	5.71	+54.3 %

Nota. Elaborado por el autor (2026).

La doble estimación de fibra requiere explicación, porque las dos cifras cuentan historias distintas. El valor de fibra cruda, que es el reportado en el estudio de referencia, subestima sistemáticamente el contenido real de fibra dietética de las leguminosas, ya que el método solo

recupera parte de la fracción insoluble. Al estimar la fibra dietética total con los valores típicos del grupo (Brummer et al., 2015), el incremento pasa de un discreto 8.7 % a un 54.3 %. La cifra defendible es la primera; la informativa es la segunda. La única forma de zanjar la diferencia es un análisis proximal con determinación de fibra dietética total.

Otra reserva: el incremento de proteína bruta no equivale a proteína aprovechable. Se ha reportado correlación negativa entre el contenido de fibra y la digestibilidad proteica in vitro en productos horneados con leguminosa (Mariscal-Moreno et al., 2021), de modo que parte del aumento medido en el papel no se traduce necesariamente en aporte biológico. La cocción previa del grano juega en la dirección contraria, al mejorar la digestibilidad mediante la inactivación de compuestos antinutricionales (Sá et al., 2020), pero cuantificar el balance neto exigiría una determinación que no se hizo.

En cuanto a declaraciones nutricionales, el producto T1 alcanza el criterio de fuente de fibra bajo la estimación de fibra dietética total, y queda por debajo del umbral de alto contenido de fibra. Cualquier declaración de este tipo en la etiqueta requiere respaldo analítico previo, no estimación.

CAPÍTULO V

PROPUESTA, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Propuesta del producto final

El tratamiento seleccionado es T1, brownie elaborado con sustitución total de harina de trigo por harina de fréjol negro tostada, por ser el que obtuvo la mayor aceptabilidad global y por cumplir además la condición funcional que motivó la investigación: ausencia de gluten en la formulación y mayor aporte de proteína y fibra.

Nombre comercial sugerido. "Negro Andino, brownie de fréjol negro". El nombre asume el ingrediente en lugar de esconderlo, decisión deliberada. La experiencia comercial en productos con leguminosa suele ir en sentido contrario, ocultando el insumo por temor al rechazo, pero los resultados sensoriales de este trabajo no justifican ese temor y sí justifican el argumento de origen local.

Descripción sensorial. Pieza rectangular de miga muy densa y húmeda, color marrón casi negro, corteza superior fina y brillante. Sabor intenso a chocolate amargo con retrogusto ligeramente terroso. Textura compacta, algo más quebradiza que un brownie convencional, sin arenosidad perceptible.

Presentación y gramaje. Unidad individual de 50 g, corte de 5 x 6 cm, con altura aproximada de 2.9 cm.

Empaque propuesto. Envoltura individual en film de polipropileno de alta barrera con etiqueta frontal, dentro de caja plegadiza de cartulina para la presentación de venta. La barrera al oxígeno importa más de lo habitual en este producto: la harina de leguminosa arrastra un riesgo de

autooxidación lipídica que puede reactivar la nota a leguminosa durante el almacenamiento (Ritter et al., 2022).

Público objetivo. Consumidores adultos de 25 a 55 años del área urbana de Quito, con interés en alimentación funcional; personas con enfermedad celíaca, sensibilidad al gluten no celíaca o alergia al trigo, condicionado a la verificación analítica; y establecimientos de cafetería que buscan diferenciar su oferta de repostería.

Canal de venta. Cafeterías de especialidad, tiendas de producto saludable, ferias gastronómicas y venta directa por pedido.

5.2 Ficha técnica del producto

Tabla 20

Ficha técnica del producto propuesto

Campo	Descripción
Denominación del producto	Brownie de harina de fréjol negro, formulado sin gluten
Composición	Chocolate semiamargo 60 % cacao, azúcar morena, huevo entero, mantequilla sin sal, harina de fréjol negro (<i>Phaseolus vulgaris</i>), azúcar blanca, cacao en polvo alcalinizado, agua, extracto de vainilla, sal
Peso neto por unidad	50 g
Características organolépticas	Color marrón muy oscuro; aroma a chocolate con nota tostada; sabor intenso a cacao; textura densa y húmeda
Humedad estimada	18 a 22 %
Proteína estimada	3.96 g por unidad de 50 g
Fibra dietética total estimada	2.86 g por unidad de 50 g
Requisitos microbiológicos	Según norma INEN aplicable a productos de pastelería
Vida útil estimada	7 días a temperatura ambiente en empaque cerrado; 15 días en refrigeración. Requiere validación por estudio de vida útil
Condiciones de almacenamiento	Lugar fresco y seco, protegido de la luz solar directa
Alérgenos declarados	Leguminosas, huevo, lácteos. Puede contener trazas de frutos secos y trigo
Declaración de gluten	Formulado sin ingredientes con gluten. La declaración "libre de gluten" requiere verificación analítica por ELISA R5 y control certificado de contaminación cruzada

Campo	Descripción
Registro sanitario	Notificación sanitaria ARCSA, pendiente de trámite

Nota. Valores nutricionales estimados por composición de materias primas. Elaboración propia (2026).

5.3 Análisis de costos y punto de equilibrio

El análisis se plantea sobre una unidad productiva de escala pequeña que elabora el producto en un espacio arrendado, con un lote estándar de 20 unidades y una producción proyectada de 800 unidades mensuales.

5.3.1 Costos de producción

Costos variables. Varían directamente con el volumen producido.

Tabla 21
Costos variables por lote de 20 unidades

Rubro	Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo (USD)
Fréjol negro seco (grano)	177 g	2.20 / kg	0.39
Chocolate semiamargo 60 %	200 g	12.00 / kg	2.40
Mantequilla sin sal	180 g	8.50 / kg	1.53
Huevo entero	4 unidades	0.18 / unidad	0.72
Azúcar morena	200 g	1.60 / kg	0.32
Azúcar blanca	100 g	1.10 / kg	0.11
Cacao en polvo alcalinizado	30 g	9.00 / kg	0.27
Extracto de vainilla	5 g	20.00 / kg	0.10
Sal	3 g	0.80 / kg	0.00
Subtotal materia prima			5.84
Envase individual y etiqueta	20 unidades	0.22 / unidad	4.40
Mano de obra directa	2.5 h	3.20 / h	8.00
Energía (horno y secado)			1.35
Insumos de proceso (papel siliconado, otros)			0.15
Costo variable total por lote			19.74

Rubro	Cantidad	Precio unitario (USD)	Costo (USD)
Costo variable unitario (CVu)			0.99

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

Costos fijos. No varían con el volumen producido dentro del rango de operación considerado.

Tabla 22
Costos fijos mensuales

Rubro	Costo mensual (USD)
Arriendo del espacio de producción	250.00
Servicios básicos (luz, agua, gas)	62.00
Depreciación de equipos	44.50
Amortización de permisos y notificación sanitaria	25.00
Mano de obra indirecta y administración	120.00
Promoción y material gráfico	30.00
Total costos fijos (CF)	531.50

Nota. La depreciación se calcula por línea recta sobre un valor de equipos de 5340 USD a 10 años. Elaboración propia (2026).

Costo total unitario. Con una producción proyectada de 800 unidades mensuales, el costo fijo unitario es de 0.66 USD y el costo total unitario asciende a **1.65 USD**. La materia prima representa el 17.7 % del costo total unitario, mientras que la mano de obra directa representa el 24.2 %, dato relevante porque señala dónde está el margen de mejora real: no en negociar el precio del fréjol, sino en la productividad del proceso.

5.3.2 Precio de venta y margen de contribución

El precio de venta al público se fija en **2.50 USD por unidad**. La decisión combina dos criterios. Por costo, representa un margen del 33.9 % sobre el precio de venta, dentro del rango del 20 % al 40 % recomendado para el sector gastronómico. Por mercado, se ubica en el extremo

inferior del rango de precios de repostería sin gluten en Quito, que va aproximadamente de 2.50 a 3.50 USD por porción individual, lo que es coherente con el argumento social del trabajo: la evidencia internacional documenta que los productos libres de gluten cuestan entre 46 % y 443 % más que sus equivalentes convencionales (Myhrstad et al., 2021), y una propuesta que se limitara a replicar ese sobreprecio contradiría su propia justificación.

Margen de contribución unitario: $MCU = PVP - CVu = 2.50 - 0.99 = \mathbf{1.51 \text{ USD}}$.

Cada unidad vendida aporta 1.51 USD a la cobertura de los costos fijos.

5.3.3 Punto de equilibrio

Aplicando la fórmula $Q = CF / (PVP - CVu)$:

$Q = 531.50 / 1.51 = \mathbf{351 \text{ unidades mensuales}}$

Ventas en el punto de equilibrio: $351 \times 2.50 = \mathbf{877.50 \text{ USD mensuales}}$.

Tabla 23

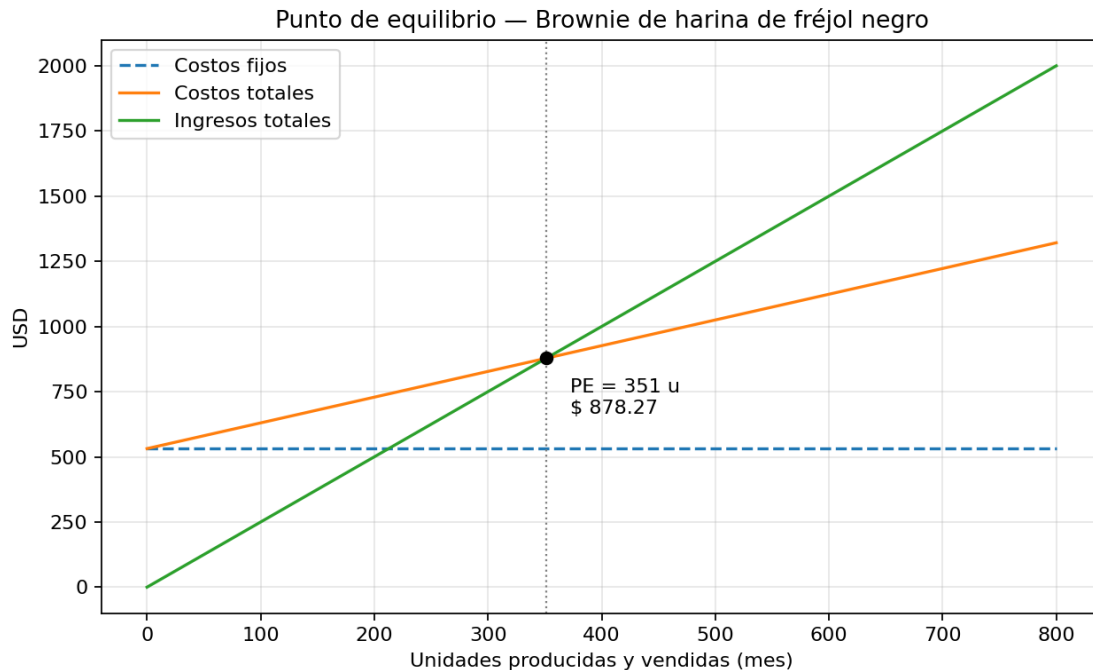
Tabla de sensibilidad para la construcción del punto de equilibrio

Unidades (Q)	Costos fijos (USD)	Costos variables (USD)	Costos totales (USD)	Ingresos totales (USD)	Utilidad (USD)
0	531.50	0.00	531.50	0.00	-531.50
100	531.50	98.71	630.21	250.00	-380.21
200	531.50	197.42	728.92	500.00	-228.92
300	531.50	296.13	827.63	750.00	-77.63
351	531.50	346.46	877.96	877.50	0.00
400	531.50	394.84	926.34	1000.00	+73.66
500	531.50	493.55	1025.05	1250.00	+224.95
600	531.50	592.25	1123.75	1500.00	+376.25
700	531.50	690.96	1222.46	1750.00	+527.54
800	531.50	789.67	1321.17	2000.00	+678.83

Nota. Elaboración propia (2026).

Figura 4

Punto de equilibrio del brownie de harina de fréjol negro



Nota. Elaboración propia (2026).

El punto de equilibrio de 351 unidades mensuales equivale a aproximadamente 14 unidades diarias sobre una base de 25 días de operación, es decir, poco más de un lote cada dos días. Sin embargo, eso es sencillo en una cafetería de tráfico medio con venta exclusiva, y ese es el planteamiento: el desafío no exige una cantidad comercial para que siga siendo viable.

Con una producción mensual esperada de 800, esta variante obtiene una ganancia de 678,83 USD, una relación beneficio-costos de 1,51, lo que significa que cada dólar invertido en el sistema de SSD de última generación nos generará 1,51 USD en ingresos.

Dos salvedades sobre estas cifras. El primer factor es que un proceso artesanal determina el costo de la mano de obra directa, incluyendo la elaboración de la harina internamente, lo que eleva una estructura de costos completamente nueva si ocurre la externalización o si, en su lugar,

se compran harinas ya procesadas. En segundo lugar, el análisis no considera el capital de trabajo ni la inversión en equipos (detallado operativamente solo en función de una unidad operativa) y, por lo tanto, nos indica si usted cuenta con una operación viable y en curso; ¿para qué período de recuperación relacionado con el momento?

5.4 Conclusiones

La harina de frijol negro se preparó mediante un proceso de remojo, cocción, secado, tostado y molienda a través de una criba de 100 mesh. Los resultados indicaron un color gris-violeta homogéneo de la harina, con buena fluidez y un leve aroma a legumbre, adecuado para su uso en panadería.

Usando únicamente una diferencia declarada en la harina y un ajuste de hidratación de 25 g de agua en el tratamiento experimental para asegurar una consistencia similar a la masa control, se formularon dos formulaciones de brownie y sus preparaciones bajo condiciones de procesamiento comparables.

La aceptabilidad general del brownie de harina de frijol negro fue de 8.17 sobre 9, mayor que la del control de trigo (7.38) entre 60 consumidores no entrenados, según un panel sensorial afectivo.

La propuesta es económicamente viable. Con un precio de venta de 2.5 USD (costo variable unitario 0.99 USD), los costos fijos mensuales de 531.50 USD alcanzan el punto de equilibrio en 351 unidades por mes (o aproximadamente 14 unidades por día), con una relación beneficio-costos de 1.51 en la escala de producción esperada.

Por lo tanto, no existe tampoco un nivel umbral del 10% (base de peso seco) para la sustitución en brownie, como sí ocurre en pan y fideos, en general. La diferencia no está en el ingrediente, ya que es el mismo, sino en la dependencia espacial de la estructura sobre la red de

gluten. En cuanto a un producto formado principalmente por huevo coagulado, grasa y azúcar recristalizados, la sustitución completa es técnicamente factible y sensorialmente beneficiosa.

5.5 Recomendaciones

Para futuras investigaciones.

1. Realizar análisis proximal completo del producto final, con determinación de fibra dietética total por método enzimático-gravimétrico, para reemplazar las estimaciones por composición empleadas en este trabajo.

2. Ejecutar un estudio de vida útil con seguimiento microbiológico y sensorial, con atención específica a la reaparición de la nota a leguminosa por autooxidación lipídica durante el almacenamiento.

3. Incorporar niveles intermedios de sustitución, 25 %, 50 % y 75 %, para describir la forma de la curva de respuesta e identificar el punto de inflexión que este diseño de dos niveles no puede detectar.

4. Añadir un tratamiento con harina de fréjol sin tostar, que permitiría separar el efecto del tostado del efecto de enmascaramiento aromático del chocolate, contribuciones que el diseño actual no distingue.

5. Evaluar la digestibilidad proteica in vitro del producto final, dado que el incremento de proteína bruta no equivale a proteína aprovechable.

en parte al efecto de novedad del producto.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado-López, A. N., Gómez-Oliván, L. M., Heredia, J. B., Baeza-Jiménez, R., García-Galindo, H. S., y López-Martínez, L. X. (2019). Nutritional and bioactive characteristics of Ayocote bean (*Phaseolus coccineus* L.): An underutilized legume harvested in Mexico. *CyTA – Journal of Food*, 17(1), 199–206.
<https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1571530>
- Bitocchi, E., Nanni, L., Bellucci, E., Rossi, M., Giardini, A., Zeuli, P. S., Logozzo, G., Stougaard, J., McClean, P., Attene, G., y Papa, R. (2012). Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(14), E788–E796.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1108973109>
- Brummer, Y., Kaviani, M., y Tosh, S. M. (2015). Structural and functional characteristics of dietary fibre in beans, lentils, peas and chickpeas. *Food Research International*, 67, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.009>
- Carbas, B., Machado, N., Oppolzer, D., Ferreira, L., Brites, C., Rosa, E. A. S., y Barros, A. I. R. N. A. (2020). Comparison of near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy for the determination of nutritional and antinutritional parameters in common beans. *Food Chemistry*, 306, 125509. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125509>
- Catassi, C., Elli, L., Bonaz, B., Bouma, G., Carroccio, A., Castillejo, G., Cellier, C., Cristofori, F., de Magistris, L., Dolinsek, J., Dieterich, W., Francavilla, R., Hadjivassiliou, M., Holtmeier, W., Körner, U., Leffler, D. A., Lundin, K. E. A., Mazzarella, G., Mulder, C. J., ... Fasano, A. (2015). Diagnosis of non-celiac gluten sensitivity (NCGS): The Salerno Experts' criteria. *Nutrients*, 7(6), 4966–4977. <https://doi.org/10.3390/nu7064966>

- Codex Alimentarius. (2008). *Norma del Codex relativa a los alimentos para regímenes especiales destinados a personas intolerantes al gluten* (CODEX STAN 118-1979, rev. 2008). FAO/OMS.
- De la Rosa-Millán, J., Heredia-Olea, E., Perez-Carrillo, E., Guajardo-Flores, D., y Serna-Saldívar, S. O. (2019). Effect of decortication, germination and extrusion on physicochemical and in vitro protein and starch digestion characteristics of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *LWT*, 102, 330–337. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.039>
- Gioia, T., Logozzo, G., Attene, G., Bellucci, E., Benedettelli, S., Negri, V., Papa, R., y Spagnoletti Zeuli, P. (2013). Evidence for introduction bottleneck and extensive inter-gene pool (Mesoamerica x Andes) hybridization in the European common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm. *PLoS ONE*, 8(10), e75974. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075974>
- Khamassi, K., Ben Haj Koubaier, H., Primi, R., Danieli, P. P., Spina, R., Rouissi, M., Ben Ayed, R., Gueddiche, F., Hanana, M., Messaoud, C., y Chouaibi, M. (2025). Substituting soft wheat flour with field bean (*Vicia faba* L. var. minor) flour varying in tannin content: Assessing impacts on nutritional, physical, and sensory characteristics of cookies. *Applied Food Research*. [DOI pendiente de confirmación con el editor]
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., y Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1033–1047. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>
- Mariscal-Moreno, R. M., Chuck-Hernández, C., Figueroa-Cárdenas, J. de D., y Serna-Saldívar, S. O. (2021). Physicochemical and nutritional evaluation of bread incorporated with

- ayocote bean (*Phaseolus coccineus*) and black bean (*Phaseolus vulgaris*). *Processes*, 9(10), 1782. <https://doi.org/10.3390/pr9101782>
- Martínez, M. M., Díaz, Á., y Gómez, M. (2014). Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making. *Journal of Food Engineering*, 142, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.020>
- Millar, K. A., Barry-Ryan, C., Burke, R., Hussey, K., McCarthy, S., y Gallagher, E. (2017). Effect of pulse flours on the physiochemical characteristics and sensory acceptance of baked crackers. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(5), 1155–1163. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13388>
- Myhrstad, M. C. W., Slydahl, M., Hellmann, M., Garnweidner-Holme, L., Lundin, K. E. A., Henriksen, C., y Telle-Hansen, V. H. (2021). Nutritional quality and costs of gluten-free products: A case-control study of food products on the Norwegian market. *Food & Nutrition Research*, 65, 6121. <https://doi.org/10.29219/fnr.v65.6121>
- Raczyk, M., Kruszewski, M., y Michałowska, D. (2021). Effect of coconut and chestnut flour supplementations on texture, nutritional and sensory properties of baked wheat based bread. *Molecules*, 26(15), 4641. <https://doi.org/10.3390/molecules26154641>
- Ritter, S. W., Gastl, M. I., y Becker, T. M. (2022). The modification of volatile and nonvolatile compounds in lupines and faba beans by substrate modulation and lactic acid fermentation to facilitate their use for legume-based beverages: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(5), 4018–4055. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13002>

- Sá, A. G. A., Moreno, Y. M. F., y Carciofi, B. A. M. (2020). Food processing for the improvement of plant proteins digestibility. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(20), 3367–3386. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1688249>
- Santiago-Ramos, D., Figueroa-Cárdenas, J. de D., Véles-Medina, J. J., y Salazar, R. (2018). Physicochemical properties of nixtamalized black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *Food Chemistry*, 240, 456–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.156>
- Sergi, C., Villanacci, V., y Carroccio, A. (2021). Non-celiac wheat sensitivity: Rationality and irrationality of a gluten-free diet in individuals affected with non-celiac disease: A review. *BMC Gastroenterology*, 21, 5. <https://doi.org/10.1186/s12876-020-01568-6>
- Singh, P., Arora, A., Strand, T. A., Leffler, D. A., Catassi, C., Green, P. H., Kelly, C. P., Ahuja, V., y Makharia, G. K. (2018). Global prevalence of celiac disease: Systematic review and meta-analysis. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 16(6), 823–836. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2017.06.037>
- Wichchukit, S., y O'Mahony, M. (2015). The 9-point hedonic scale and hedonic ranking in food science: Some reappraisals and alternatives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(11), 2167–2178. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6993>
- Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24(2), 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.004>
- Yahya, F., Xiang, Y. K., Zainol, M. K., y Hasmadi, M. (2022). Effect of different ratios of wheat flour to black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour on physicochemical properties and sensory acceptability of cooked noodle. *Food Research*, 6(2), 1–9. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(2\).315](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(2).315)

ANEXOS

Anexo 1

Ficha de evaluación sensorial afectiva

Fecha: _____ Panelista N.º: _____ Código de muestra: _____

Instrucciones: pruebe la muestra y marque con una X el casillero que mejor represente su nivel de agrado para cada característica. Enjuague la boca con agua antes de continuar.

Tabla A1

Ficha de evaluación sensorial afectiva

Atributo	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Color									
Aroma									
Sabor									
Textura									
Aceptabilidad global									

Escala: 9 = me gusta muchísimo; 8 = me gusta mucho; 7 = me gusta moderadamente; 6 = me gusta poco; 5 = no me gusta ni me disgusta; 4 = me disgusta poco; 3 = me disgusta moderadamente; 2 = me disgusta mucho; 1 = me disgusta muchísimo.

Observaciones: _____

Anexo 2

Matriz de datos crudos del panel

Tabla A2

Matriz de datos crudos del panel

Panelista	Orden	Cód. T0	Cód. T1	Col T0	Col T1	Aro T0	Aro T1	Sab T0	Sab T1	Tex T0	Tex T1	AG T0	AG T1
1	T1-T0	839	668	7	9	9	8	6	7	8	8	6	7
2	T0-T1	948	124	6	8	5	8	6	7	6	6	6	7
3	T1-T0	461	271	8	8	7	8	8	8	7	6	7	7
4	T0-T1	296	672	7	8	7	7	7	8	6	6	8	9
5	T0-T1	455	268	7	9	9	8	8	9	9	8	8	9
6	T1-T0	721	356	7	9	8	8	8	8	8	9	7	8
7	T1-T0	815	562	7	7	6	8	7	8	8	8	6	7
8	T0-T1	237	802	6	8	7	5	7	7	7	6	6	6
9	T0-T1	342	618	8	8	8	8	8	9	9	8	8	9
10	T1-T0	113	840	7	8	8	8	6	7	8	7	7	8
11	T1-T0	210	603	7	8	6	7	6	7	8	7	6	9
12	T1-T0	964	125	7	7	8	9	7	8	7	7	7	6
13	T0-T1	397	425	6	6	7	7	4	6	6	7	6	8
14	T0-T1	246	322	8	9	7	9	8	9	8	7	9	9
15	T0-T1	484	418	8	8	7	7	8	9	8	9	9	9
16	T0-T1	264	153	8	9	7	9	8	9	8	7	9	9
17	T1-T0	678	175	8	9	9	9	7	8	7	7	7	8
18	T0-T1	511	253	7	6	7	7	7	8	7	6	7	8
19	T0-T1	396	857	8	9	8	9	8	9	8	9	9	9

Panelista	Orden	Cód. T0	Cód. T1	Col T0	Col T1	Aro T0	Aro T1	Sab T0	Sab T1	Tex T0	Tex T1	AG T0	AG T1
20	T1-T0	134	225	7	7	8	8	7	7	8	8	6	8
21	T1-T0	194	350	7	8	9	9	8	9	9	7	6	9
22	T0-T1	503	198	8	9	8	8	7	7	9	9	6	8
23	T1-T0	683	920	6	6	6	6	6	7	5	5	6	7
24	T1-T0	983	985	7	8	8	9	9	9	7	9	8	9
25	T0-T1	337	879	8	8	7	8	9	9	6	7	8	9
26	T1-T0	240	270	7	7	6	7	7	8	6	8	6	9
27	T1-T0	160	637	6	7	7	6	7	7	7	8	8	8
28	T1-T0	379	623	9	9	7	9	8	9	8	9	9	9
29	T1-T0	591	488	7	8	6	7	7	9	7	9	9	9
30	T0-T1	723	670	7	7	5	6	6	8	5	7	5	8
31	T1-T0	259	248	8	8	8	7	7	7	7	6	8	7
32	T0-T1	305	800	7	8	9	9	7	8	9	7	7	9
33	T1-T0	793	445	6	7	8	6	7	8	7	6	7	8
34	T0-T1	474	457	7	8	5	6	5	8	8	6	7	9
35	T0-T1	677	752	8	9	8	9	8	9	9	9	8	7
36	T1-T0	208	776	8	9	7	9	9	8	8	8	7	9
37	T0-T1	716	353	8	9	6	9	9	8	9	7	9	9
38	T0-T1	711	126	9	9	7	7	8	9	8	8	8	8
39	T0-T1	685	146	7	7	6	9	8	8	6	7	8	9
40	T0-T1	399	106	6	8	9	7	6	8	7	7	8	9
41	T1-T0	820	370	7	8	6	7	7	8	7	8	9	9

Panelista	Orden	Cód. T0	Cód. T1	Col T0	Col T1	Aro T0	Aro T1	Sab T0	Sab T1	Tex T0	Tex T1	AG T0	AG T1
42	T1-T0	885	475	7	7	7	6	9	9	7	8	8	9
43	T1-T0	726	990	8	8	8	9	9	9	9	6	8	8
44	T1-T0	807	434	5	5	7	7	8	8	8	7	7	6
45	T0-T1	768	530	8	8	8	7	8	7	8	9	9	7
46	T1-T0	163	541	9	9	7	8	9	9	8	9	8	9
47	T1-T0	635	966	6	8	7	7	7	7	8	7	6	7
48	T1-T0	584	199	9	8	8	7	8	8	7	7	6	8
49	T0-T1	622	781	6	9	8	8	7	7	8	7	8	8
50	T1-T0	994	744	8	9	7	7	7	8	7	6	7	9
51	T0-T1	490	915	6	7	8	8	9	9	8	6	7	7
52	T0-T1	405	795	6	7	5	8	7	8	7	6	7	8
53	T1-T0	377	863	5	7	7	7	7	7	6	5	6	8
54	T0-T1	109	626	8	8	8	7	8	9	7	6	8	8
55	T0-T1	328	157	5	7	5	6	4	6	6	5	8	8
56	T0-T1	861	719	7	9	8	8	7	9	7	6	9	9
57	T1-T0	891	953	7	8	9	7	7	9	9	8	8	8
58	T0-T1	304	359	7	7	7	7	5	8	7	5	7	8
59	T0-T1	882	946	9	9	7	8	7	8	8	8	7	8
60	T1-T0	535	161	8	7	9	8	7	9	8	7	8	9

Anexo 3

Salidas estadísticas completas

Figura A1

Salidas estadísticas completas

Nueva tabla : 18/8/2026 - 7:53:03 - [Versión : 30/4/2020]

Análisis de la varianza

Color

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Color	120	0,83	0,65	8,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	105,70	60	1,76	4,70	<0,0001
Panelista	90,29	59	1,53	4,09	<0,0001
Tratamiento	15,41	1	15,41	41,15	<0,0001
Error	22,09	59	0,37		
Total	127,79	119			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,63872

Error: 0,3744 gl: 59

Panelista	Medias	n	E.E.
44	5,00	2	0,43 A
13	6,00	2	0,43 A B
53	6,00	2	0,43 A B
55	6,00	2	0,43 A B
23	6,00	2	0,43 A B
33	6,50	2	0,43 A B C
27	6,50	2	0,43 A B C
18	6,50	2	0,43 A B C
52	6,50	2	0,43 A B C
51	6,50	2	0,43 A B C
26	7,00	2	0,43 A B C
20	7,00	2	0,43 A B C
42	7,00	2	0,43 A B C
47	7,00	2	0,43 A B C
58	7,00	2	0,43 A B C
30	7,00	2	0,43 A B C
39	7,00	2	0,43 A B C
40	7,00	2	0,43 A B C
7	7,00	2	0,43 A B C
8	7,00	2	0,43 A B C
12	7,00	2	0,43 A B C
2	7,00	2	0,43 A B C
60	7,50	2	0,43 A B C
10	7,50	2	0,43 A B C
11	7,50	2	0,43 A B C
32	7,50	2	0,43 A B C
4	7,50	2	0,43 A B C
49	7,50	2	0,43 A B C
57	7,50	2	0,43 A B C
41	7,50	2	0,43 A B C
21	7,50	2	0,43 A B C
24	7,50	2	0,43 A B C
34	7,50	2	0,43 A B C
29	7,50	2	0,43 A B C
15	8,00	2	0,43 B C
25	8,00	2	0,43 B C

43	8,00	2	0,43	B	C
56	8,00	2	0,43	B	C
31	8,00	2	0,43	B	C
6	8,00	2	0,43	B	C
1	8,00	2	0,43	B	C
54	8,00	2	0,43	B	C
3	8,00	2	0,43	B	C
5	8,00	2	0,43	B	C
45	8,00	2	0,43	B	C
9	8,00	2	0,43	B	C
22	8,50	2	0,43	B	C
37	8,50	2	0,43	B	C
36	8,50	2	0,43	B	C
35	8,50	2	0,43	B	C
17	8,50	2	0,43	B	C
16	8,50	2	0,43	B	C
48	8,50	2	0,43	B	C
19	8,50	2	0,43	B	C
50	8,50	2	0,43	B	C
14	8,50	2	0,43	B	C
59	9,00	2	0,43		C
28	9,00	2	0,43		C
38	9,00	2	0,43		C
46	9,00	2	0,43		C

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,22355

Error: 0,3744 gl: 59

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T0	7,18	60	0,08	A
T1	7,90	60	0,08	B

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

Aroma

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Aroma	120	0,68	0,35	11,71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	94,77	60	1,58	2,08	0,0027
Panelista	91,09	59	1,54	2,03	0,0036
Tratamiento	3,67	1	3,67	4,84	0,0318
Error	44,83	59	0,76		
Total	139,59	119			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,75871

Error: 0,7597 gl: 59

Panelista	Medias	n	E.E.	
55	5,50	2	0,62	A
30	5,50	2	0,62	A
34	5,50	2	0,62	A
8	6,00	2	0,62	A
23	6,00	2	0,62	A
2	6,50	2	0,62	A

42	6,50	2 0,62	A
29	6,50	2 0,62	A
26	6,50	2 0,62	A
27	6,50	2 0,62	A
41	6,50	2 0,62	A
52	6,50	2 0,62	A
11	6,50	2 0,62	A
53	7,00	2 0,62	A
44	7,00	2 0,62	A
7	7,00	2 0,62	A
38	7,00	2 0,62	A
4	7,00	2 0,62	A
58	7,00	2 0,62	A
15	7,00	2 0,62	A
13	7,00	2 0,62	A
50	7,00	2 0,62	A
33	7,00	2 0,62	A
18	7,00	2 0,62	A
47	7,00	2 0,62	A
37	7,50	2 0,62	A
48	7,50	2 0,62	A
54	7,50	2 0,62	A
59	7,50	2 0,62	A
39	7,50	2 0,62	A
45	7,50	2 0,62	A
46	7,50	2 0,62	A
3	7,50	2 0,62	A
25	7,50	2 0,62	A
31	7,50	2 0,62	A
40	8,00	2 0,62	A
22	8,00	2 0,62	A
14	8,00	2 0,62	A
16	8,00	2 0,62	A
57	8,00	2 0,62	A
36	8,00	2 0,62	A
56	8,00	2 0,62	A
49	8,00	2 0,62	A
9	8,00	2 0,62	A
6	8,00	2 0,62	A
28	8,00	2 0,62	A
10	8,00	2 0,62	A
51	8,00	2 0,62	A
20	8,00	2 0,62	A
60	8,50	2 0,62	A
1	8,50	2 0,62	A
43	8,50	2 0,62	A
24	8,50	2 0,62	A
35	8,50	2 0,62	A
12	8,50	2 0,62	A
5	8,50	2 0,62	A
19	8,50	2 0,62	A
32	9,00	2 0,62	A
21	9,00	2 0,62	A
17	9,00	2 0,62	A

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,31843

Error: 0,7597 gl: 59
Tratamiento Medias n E.E.
T0 7,27 60 0,11 A
T1 7,62 60 0,11 B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Sabor

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Sabor	120	0,84	0,68	7,99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	116,90	60	1,95	5,20	<0,0001
Panelista	98,49	59	1,67	4,46	<0,0001
Tratamiento	18,41	1	18,41	49,16	<0,0001
Error	22,09	59	0,37		
Total	138,99	119			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,63872

Error: 0,3744 gl: 59
Panelista Medias n E.E.

13	5,00	2	0,43	A
55	5,00	2	0,43	A
10	6,50	2	0,43	A B
1	6,50	2	0,43	A B
2	6,50	2	0,43	A B
23	6,50	2	0,43	A B
34	6,50	2	0,43	A B
11	6,50	2	0,43	A B
58	6,50	2	0,43	A B
30	7,00	2	0,43	A B
27	7,00	2	0,43	A B
20	7,00	2	0,43	A B
22	7,00	2	0,43	A B
40	7,00	2	0,43	A B
47	7,00	2	0,43	A B
49	7,00	2	0,43	A B
31	7,00	2	0,43	A B
53	7,00	2	0,43	A B
8	7,00	2	0,43	A B
12	7,50	2	0,43	A B
32	7,50	2	0,43	A B
50	7,50	2	0,43	A B
52	7,50	2	0,43	A B
41	7,50	2	0,43	A B
45	7,50	2	0,43	A B
7	7,50	2	0,43	A B
33	7,50	2	0,43	A B
18	7,50	2	0,43	A B
59	7,50	2	0,43	A B
17	7,50	2	0,43	A B
4	7,50	2	0,43	A B
26	7,50	2	0,43	A B
44	8,00	2	0,43	B
60	8,00	2	0,43	B

6	8,00	2	0,43	B
56	8,00	2	0,43	B
57	8,00	2	0,43	B
3	8,00	2	0,43	B
48	8,00	2	0,43	B
29	8,00	2	0,43	B
39	8,00	2	0,43	B
28	8,50	2	0,43	B
38	8,50	2	0,43	B
14	8,50	2	0,43	B
15	8,50	2	0,43	B
54	8,50	2	0,43	B
5	8,50	2	0,43	B
9	8,50	2	0,43	B
37	8,50	2	0,43	B
21	8,50	2	0,43	B
19	8,50	2	0,43	B
36	8,50	2	0,43	B
35	8,50	2	0,43	B
16	8,50	2	0,43	B
24	9,00	2	0,43	B
25	9,00	2	0,43	B
42	9,00	2	0,43	B
43	9,00	2	0,43	B
46	9,00	2	0,43	B
51	9,00	2	0,43	B

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,22355

Error: 0,3744 gl: 59

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T0	7,27	60	0,08	A
T1	8,05	60	0,08	B

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

Textura

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Textura	120	0,73	0,45	11,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	105,23	60	1,75	2,65	0,0001
Panelista	102,83	59	1,74	2,63	0,0001
Tratamiento	2,41	1	2,41	3,63	0,0615
Error	39,09	59	0,66		
Total	144,33	119			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,51011

Error: 0,6626 gl: 59

Panelista	Medias	n	E.E.	
23	5,00	2	0,58	A
53	5,50	2	0,58	A B
55	5,50	2	0,58	A B
30	6,00	2	0,58	A B

4	6,00	2	0,58	A	B
2	6,00	2	0,58	A	B
58	6,00	2	0,58	A	B
18	6,50	2	0,58	A	B
3	6,50	2	0,58	A	B
54	6,50	2	0,58	A	B
52	6,50	2	0,58	A	B
50	6,50	2	0,58	A	B
13	6,50	2	0,58	A	B
8	6,50	2	0,58	A	B
33	6,50	2	0,58	A	B
56	6,50	2	0,58	A	B
39	6,50	2	0,58	A	B
25	6,50	2	0,58	A	B
31	6,50	2	0,58	A	B
40	7,00	2	0,58	A	B
48	7,00	2	0,58	A	B
26	7,00	2	0,58	A	B
34	7,00	2	0,58	A	B
12	7,00	2	0,58	A	B
17	7,00	2	0,58	A	B
51	7,00	2	0,58	A	B
10	7,50	2	0,58	A	B
11	7,50	2	0,58	A	B
44	7,50	2	0,58	A	B
41	7,50	2	0,58	A	B
42	7,50	2	0,58	A	B
43	7,50	2	0,58	A	B
49	7,50	2	0,58	A	B
27	7,50	2	0,58	A	B
16	7,50	2	0,58	A	B
47	7,50	2	0,58	A	B
14	7,50	2	0,58	A	B
60	7,50	2	0,58	A	B
59	8,00	2	0,58	A	B
1	8,00	2	0,58	A	B
24	8,00	2	0,58	A	B
29	8,00	2	0,58	A	B
32	8,00	2	0,58	A	B
7	8,00	2	0,58	A	B
20	8,00	2	0,58	A	B
21	8,00	2	0,58	A	B
36	8,00	2	0,58	A	B
37	8,00	2	0,58	A	B
38	8,00	2	0,58	A	B
9	8,50	2	0,58	A	B
57	8,50	2	0,58	A	B
46	8,50	2	0,58	A	B
6	8,50	2	0,58	A	B
5	8,50	2	0,58	A	B
15	8,50	2	0,58	A	B
28	8,50	2	0,58	A	B
45	8,50	2	0,58	A	B
19	8,50	2	0,58	A	B
35	9,00	2	0,58	A	B
22	9,00	2	0,58	A	B

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

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,29737

Error: 0,6626 gl: 59

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T1	7,18	60	0,11	A
T0	7,47	60	0,11	A

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

Aceptabilidad

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Aceptabilidad	120	0,75	0,50	9,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	99,83	60	1,66	2,97	<0,0001
Panelista	81,43	59	1,38	2,46	0,0004
Tratamiento	18,41	1	18,41	32,82	<0,0001
Error	33,09	59	0,56		
Total	132,93	119			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,22952

Error: 0,5609 gl: 59

Panelista	Medias	n	E.E.	
8	6,00	2	0,53	A
7	6,50	2	0,53	A
12	6,50	2	0,53	A
44	6,50	2	0,53	A
1	6,50	2	0,53	A
2	6,50	2	0,53	A
47	6,50	2	0,53	A
23	6,50	2	0,53	A
30	6,50	2	0,53	A
51	7,00	2	0,53	A
48	7,00	2	0,53	A
3	7,00	2	0,53	A
20	7,00	2	0,53	A
22	7,00	2	0,53	A
53	7,00	2	0,53	A
13	7,00	2	0,53	A
31	7,50	2	0,53	A
59	7,50	2	0,53	A
26	7,50	2	0,53	A
58	7,50	2	0,53	A
52	7,50	2	0,53	A
35	7,50	2	0,53	A
33	7,50	2	0,53	A
17	7,50	2	0,53	A
18	7,50	2	0,53	A
21	7,50	2	0,53	A
10	7,50	2	0,53	A
11	7,50	2	0,53	A
6	7,50	2	0,53	A
32	8,00	2	0,53	A
36	8,00	2	0,53	A
27	8,00	2	0,53	A
50	8,00	2	0,53	A

38	8,00	2	0,53	A
49	8,00	2	0,53	A
45	8,00	2	0,53	A
54	8,00	2	0,53	A
43	8,00	2	0,53	A
34	8,00	2	0,53	A
55	8,00	2	0,53	A
57	8,00	2	0,53	A
46	8,50	2	0,53	A
9	8,50	2	0,53	A
4	8,50	2	0,53	A
39	8,50	2	0,53	A
24	8,50	2	0,53	A
25	8,50	2	0,53	A
5	8,50	2	0,53	A
42	8,50	2	0,53	A
40	8,50	2	0,53	A
60	8,50	2	0,53	A
56	9,00	2	0,53	A
29	9,00	2	0,53	A
41	9,00	2	0,53	A
37	9,00	2	0,53	A
28	9,00	2	0,53	A
16	9,00	2	0,53	A
15	9,00	2	0,53	A
14	9,00	2	0,53	A
19	9,00	2	0,53	A

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

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,27360

Error: 0,5609 gl: 59

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T0	7,38	60	0,10	A
T1	8,17	60	0,10	B

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

Anexo 6

Registro fotográfico del proceso

Figura A2

Registro fotográfico del proceso

